



HAL
open science

Sélection de covariables climatiques impliquées dans la formation du bois de mélèze (*Larix ssp*)

Katia Charicauth

► **To cite this version:**

| Katia Charicauth. Sélection de covariables climatiques impliquées dans la formation du bois de mélèze (Larix ssp). [Stage] France. Université de Poitiers, FRA. 2016, 29 p. hal-02798348

HAL Id: hal-02798348

<https://hal.inrae.fr/hal-02798348v1>

Submitted on 5 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



**SELECTION DE COVARIABLES CLIMATIQUES
IMPLIQUEES DANS LA FORMATION DU BOIS DU
MELEZE (LARIX SSP)**

Rapport de stage



Maîtres de stage :
PÂQUES Luc
SANCHEZ Leopoldo

Encadrant :
MARCHAL Alexandre



Tuteur Université :
BIERMÉ Hermine

Stagiaire :
CHARICAUTH Katia
Période de Mars à Août 2016

Résumé :

Le présent rapport fournit les résultats d'une étude menée à partir d'un jeu de données regroupant des variables climatiques et les largeurs de cernes totale de trois taxons de mélèze localisés à Saint-Appolinaire, Saint-Saud et Peyrat. L'objectif de cette étude est de sélectionner les covariables climatiques impliquées dans la formation du bois du mélèze. Le rôle du climat dans l'évolution de l'hétérosis au cours du temps constitue l'hypothèse de départ. Les méthodes statistiques utilisées pour cette étude sont essentiellement la régression pls et le calcul des coefficients de corrélation de Spearman. L'identification des variables climatiques expliquant la largeur de cerne est réalisée par classement des valeurs absolues des coefficients de corrélation de Spearman et des coefficients de corrélation des variables climatiques avec l'axe 1 de la pls. Les résultats sont différents de ceux attendus dans le sens qu'ils ne nous permettent pas de conclure et même de confirmer l'hypothèse.

Abstract :

This report provides the results of a study from a data set consisting of climatic variables and widths of total rings of three taxa larch located in St. Appolinaire, Saint-Saud and Peyrat. The objective of this study is to select climate covariates involved in wood formation of larch. The role of climate in the evolution of heterosis over time is the hypothesis. The statistical methods used for this study are essentially pls regression and calculation of Spearman correlation coefficients. Identification of climate variables explaining ring width is achieved by ranking the absolute values of correlation coefficients and Spearman correlation coefficients of climate variables with the axis 1 of the pls. The results weren't like we were expected to be. We didn't find the same hypothesis we should do that is why we couldn't confirm the hypothesis.

REMERCIEMENTS

J'adresse mes remerciements aux personnes qui m'ont aidé dans la réalisation de ce mémoire.

En premier lieu, je remercie mes maîtres de stage Luc Pâques et Leopoldo Sanchez pour cette opportunité. J'ai pu bénéficier ainsi de leur expertise dans le domaine de la recherche lors des différentes réunions.

Je tiens également à remercier mon encadrant Alexandre Marchal pour sa disponibilité, ses conseils tant pour le stage que pour mon projet professionnel.

Côtoyer le personnel de l'INRA pendant ces six mois a vraiment été enrichissant. Ainsi, mes remerciements vont à toutes les personnes qui ont participé d'une manière ou d'une autre au bon déroulement du stage.

Table des matières

I.	Structure d'accueil.....	6
A.	INRA.....	6
1.	Origine, Constitution et Organisation	6
2.	Présentation de l'Unité	6
B.	Le mélèze.....	7
II.	Introduction.....	8
A.	Contexte général de l'étude.....	8
B.	Constitution du tronc d'arbre.....	8
C.	Objectifs et Hypothèses	10
III.	Matériels et méthodes.....	10
A.	Description des sites d'étude	10
B.	Données météorologiques	11
1.	Descriptions des données	11
2.	Imputation des données manquantes	12
3.	Diagramme ombrothermique	13
C.	Données du cerne.....	13
1.	Récoltes des données.....	13
2.	Obtention des données.....	13
3.	Prise en compte de l'autocorrélation.....	14
D.	Relation climat-croissance.....	14
1.	Création des jeux de données	14
2.	Régression linéaire multiple	15
3.	Partial least square	15
IV.	Résultats et discussion	16
A.	Repérer les données manquantes présentes dans chaque site.....	16
B.	Diagramme ombrothermique	18
C.	Autocorrélation et modélisation des séries	19
D.	Identification des variables par VarImp appliqué à la pls	23
E.	Coefficient de corrélation.....	24
F.	Récapitulatif des résultats : huit variables à titre illustratives	25
G.	Coefficient de détermination	26
V.	Discussion et conclusion.....	26
VI.	Conclusion	27

VII.	Bibliographie.....	28
VIII.	ANNEXE	30
A.	Annexe 1 : Diagrammes ombrothermiques	30
B.	Annexe 2 : Classement des variables climatiques par ordre décroissant à partir de la corrélation des variables avec la largeur de cerne.....	33
C.	Annexe 3 : Classement des variables climatiques (par ordre décroissant) fourni par la commande VarImp appliqué à la pls.....	36
D.	Annexe 4 : Classement des variables climatiques selon le coefficient de corrélation avec l'axe 1 de la pls.....	39

I. Structure d'accueil

A. INRA

1. Origine, Constitution et Organisation

L'Institut National de recherche en agronomie (INRA) trouve son origine en 1946 dans le processus de mise en place de solutions face à la pénurie alimentaire de l'après-guerre. Son action s'étend principalement dans l'Alimentation, l'Agriculture et l'Environnement dont les enjeux sont :

- D'assurer une alimentation saine et durable,
- Conserver la biodiversité et innover en sélection animale et végétale,
- D'anticiper et lutter contre le changement climatique.

L'INRA regroupe en son sein, un ensemble de personnel (8 300 agents titulaires) dont le travail consiste à explorer, comprendre, expérimenter et anticiper.

Parmi les dispositifs et infrastructures de l'INRA, on dénombre :

- 49 unités expérimentales réparties au sein des sites INRA de France dont sept unités sur le site d'Orléans ;
- 2 filiales de transfert vers les professionnels ;
- 1 maison d'édition ;
- 4 laboratoires conjoints internationaux.

2. Présentation de l'Unité

Durant le stage, j'ai intégré l'unité de recherche amélioration, génétique et physiologie forestières (UR 0588) sous la tutelle de Luc Pâques, Leopoldo Sanchez et Alexandre Marchal. Cette unité du site d'Orléans est spécialisée dans les études sur les arbres forestiers. Ces études font appels à des compétences en génétique, génomique, physiologie, biométrie et bio-informatique. L'objectif des recherches ainsi entreprises est de valoriser les ressources génétiques forestières dans le but d'obtenir une production durable de bois d'œuvre et de biomasse en considérant les éléments essentiels que sont :

- Une production soutenue de bois de qualité grâce à la création de variétés améliorées,
- Une adaptation de ces variétés aux facteurs abiotiques et biotiques dans un contexte de changements climatiques
- Un suivi de l'impact écologique des populations domestiquées sur l'écosystème.

L'activité du pôle amélioration consiste à produire des variétés performantes adaptées au milieu. C'est dans cette optique que l'AGPF conduit des programmes d'amélioration génétique sur six essences forestières (douglas, mélèze, pin sylvestre, frêne, merisier, peuplier), en jouant sur les traits de production de bois de qualité et de résilience face aux aléas environnementaux (climatiques, ravageurs, etc..). Elle s'appuie également sur

l'exploration des hybridations entre différentes espèces de mélèze et de peuplier afin d'apporter des complémentations favorables comme la stabilité et la résilience. Il s'agit du phénomène d'hétérosis ou vigueur hybride. Il correspond à un gain de performances chez l'hybride résultant du brassage des lignées d'hétérozygotes.

A ce titre, un programme d'amélioration génétique du mélèze est en cours depuis 1957 avec un focus particulier sur l'hybridation interspécifique entre le mélèze d'Europe et le mélèze du Japon. Les différences entre les deux espèces de mélèze font l'objet d'une thèse (thèse d'Alexandre Marchal) visant à étudier dans quelle mesure l'hybridation interspécifique peut apporter des individus hybrides plus productifs et résilients.

B. Le mélèze

Les mélèzes sont des conifères appartenant au genre *Larix*. Nous nous intéressons en particulier à deux espèces, le mélèze européen *L. decidua* et le mélèze japonais *L. kaempferi*. Ces deux espèces sont interfécondes, et l'hybride produit manifeste un fort hétérosis sur les caractères de croissance.



Figure 1 : Mélèze d'Europe - J.C Vuilleumier

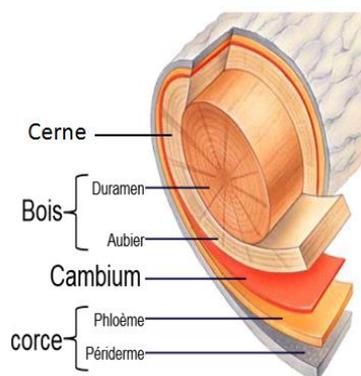
Il appartient à la famille des pinacées au sein de laquelle il se différencie des autres conifères d'Europe par le changement de couleur (jaune, rouge puis brun) de ses aiguilles avant leur chute en automne. Localisé essentiellement en montagne à une fourchette d'altitude allant de 1200 à 2400 m, son existence peut atteindre 600 ans au cours duquel il constitue lentement un bois de qualité réputé pour sa durabilité, sa solidité et son imputrescibilité indispensables pour la fabrication des chalets, des bateaux, des charpentes etc.

II. Introduction

A. Contexte général de l'étude

Depuis une dizaine d'années, on relate aussi bien une augmentation qu'une diminution de l'accroissement annuel des arbres en Europe, avec en outre le mélèze (*Larix decidua* Mill.) en France (Becker *et al.* 1994). Ces variations de croissance résultent d'un ensemble de changements majeurs parmi lesquels figurent les changements climatiques. Des effets tels que la hausse de température, l'augmentation des phénomènes extrêmes (sécheresse, inondation) illustrent les impacts contrastés des changements climatiques : augmentation de l'accroissement chez certains arbres contre un dépérissement chez d'autres. Cette panoplie d'effets positifs et négatifs, hautement imprévisibles, suscite notre intérêt d'autant plus que l'information apportée par les arbres est d'une grande importance. En effet, les arbres sont capables d'enregistrer les impacts de leur environnement dans l'anatomie de leur bois. A ceci s'ajoutent leur longévité et leur immobilité utiles pour le recueil d'informations. Leur immobilité les expose sans arrêt aux aléas de l'environnement tandis que leur longévité, par le biais d'un enregistrement, procure un suivi de ces aléas au cours du temps. Ainsi, trois aspects importants des arbres sont à considérer : longévité, immobilité et mémoire. Ces aspects établissent les arbres comme le siège d'enregistrement de phénomène marquant lorsque ces derniers sont sensibles au changement climatique. Ce processus d'enregistrement fait appel à des notions de biologie des arbres dont l'indispensable est expliqué par la suite.

B. Constitution du tronc d'arbre



De l'extérieur au centre, la structure d'un tronc d'arbre (**Fig.1**) est répartie entre l'écorce, le cambium, le bois et la moelle. Au sein de l'écorce, on distingue l'écorce externe (Périoderme) de celui interne (phloème ou liber). Ils diffèrent l'un de l'autre par leur rôle : l'écorce externe protège contre les attaques (températures extrêmes, intempéries, insectes et champignons) tandis que le Phloème conduit la sève élaborée des feuilles au cambium et aux racines. Le cambium regroupe un ensemble de cellules produisant le phloème

Figure 2 : Schéma structurelle (vers l'écorce) et l'aubier (vers le cœur de l'arbre). L'aubier permet l'acheminement de la sève brute des racines jusqu'aux feuilles. Le cœur, formé de vieilles cellules, correspond au bois inactif et joue un rôle de support.

Une fois cette notion acquise, il est plus facile d'appréhender la relation climat-croissance des arbres. Tout le long de l'année, l'alternance climatique saisonnière engendre une disposition récurrente des cernes. Ainsi, la formation du cerne témoigne de l'accroissement annuel de bois sous l'influence de nombreux facteurs dont ceux climatiques. De ceci émerge une relation entre le climat et les cernes : les variations annuelles des cernes reflètent assez étroitement les variations climatiques, pédologiques et de compétition avec le voisinage.

(Rathgeber) Toutefois, l'intervention du caractère génétique héréditaire de chaque arbre joue aussi sur cette sensibilité. Certains arbres peuvent développer une tolérance aux contraintes climatiques, d'autres pas du tout induisant de cette manière une production de cernes qui diffère d'un arbre à l'autre malgré les mêmes conditions micro-environnementales, pédologiques et de compétition. En effet, parmi les sources de variabilité des cernes figurent le micro-environnement, la pédologie, la compétition l'âge cambial (perte de vigueur avec le temps) et l'effet d'éclaircies qui jouent en fait sur la compétition), sans oublier que le rayon du tronc augmentant, l'accroissement d'une même unité de longueur implique un accroissement surfacique de plus en plus important.

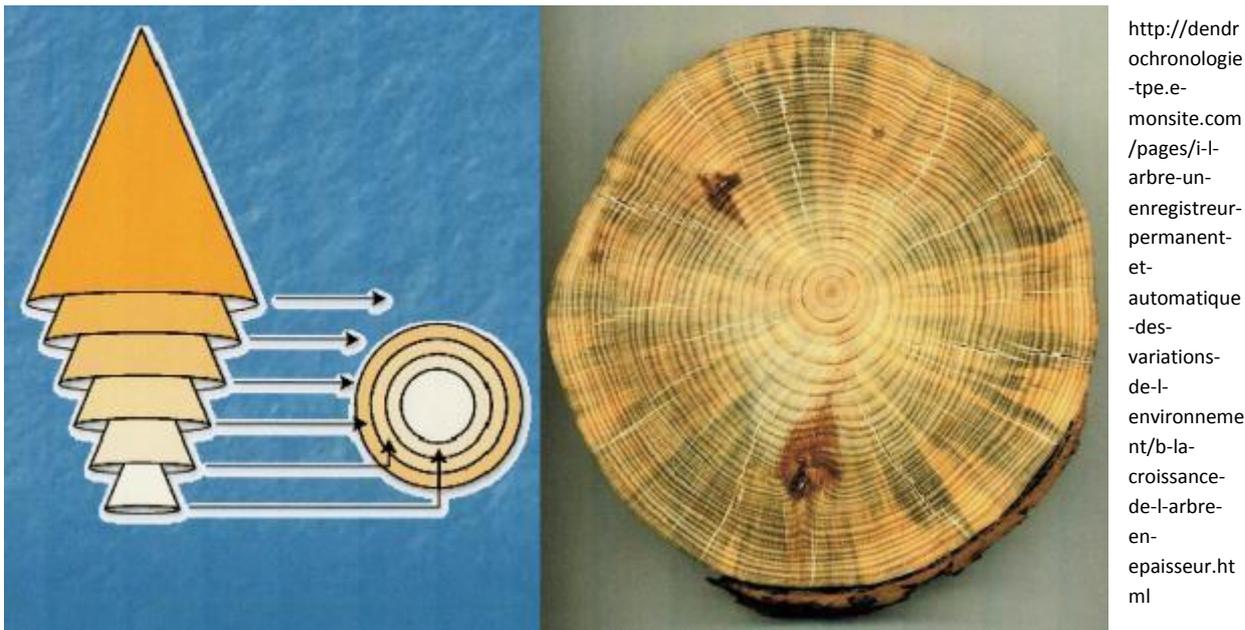


Figure 3 : Croissance de l'arbre annuel et concentrique

L'anatomie des cernes ainsi produites peut être étudiée suite au prélèvement de bois sous forme de carottes. La caractérisation du bois des carottes est le support de l'étude des adaptations favorables et ayant comme objectif une meilleure prédiction de la réaction des arbres aux changements climatiques.

L'approximation du tronc par un cône met en exergue le rôle de deux composantes de rendement intermédiaires : la hauteur et le rayon. La collecte de données de hauteur demande des observations régulières, ce qui entraîne un coût important. Les accroissements radiaux peuvent être récupérés en 1 seule fois en prélevant un rayon dans le tronc à l'aide d'une tarière. La prise de mesure de la hauteur s'avère difficile (réalisant des mesures sur le terrain tous les ans ou tous les 2-3 ans) en plus d'un rendu discontinu des informations récoltées. Ce qui n'est pas le cas de la croissance radiale reconstituée grâce à l'analyse des carottes. Bien que ces dernières soient coûteuses à obtenir en temps et en main d'œuvre, elles permettent d'avoir accès à une série riche d'informations séquentielles (en continues) sur l'accroissement de l'individu et les caractéristiques du bois produit à chaque cerne. Cette

série temporelle « bois » peut être ensuite mise en relation avec la série parallèle des variables climatiques pendant les années de formation des cernes.

C. Objectifs et Hypothèses

En tenant compte de l'historique fourni par les carottes de bois, il est possible d'aborder la notion de relation climat-croissance de l'arbre et même d'en étudier la relation. Cette relation, relevant des exigences de l'arbre vis-à-vis du climat, se matérialise à travers des besoins climatiques telles que :

- Les besoins en rayonnement solaire intercepté par le feuillage,
- Les besoins thermiques pour les mécanismes de développement,
- Surtout les besoins en eau essentiellement pour sa croissance.

Il en résulte que des éléments du climat peuvent constituer des facteurs limitants chez l'arbre soit par excès, soit par défaut. Le rayonnement solaire, la température et l'eau sont des exemples de facteurs climatiques limitants.

Notre hypothèse de départ est donc basée sur le rôle important du climat dans l'expression de la croissance apicale et radiale des arbres et notre objectif est d'étudier et de comparer cette relation chez 3 taxa de mélèze (le mélèze japonais, le mélèze européen et le mélèze hybride) en vue de mettre en évidence de l'hétérosis (supériorité hybride) au niveau des caractères de croissance. Chacun des trois taxa manifeste une variabilité pour la réaction des individus dans leur production de bois face au climat. Par conséquent, une étude comparative des réactions des espèces face au climat s'impose. Dans les bases de données climatiques accessibles pour l'étude, un nombre très important de variables est disponible, un traitement de cette masse de données pour compléter, simplifier et sélectionner les variables les plus pertinentes est nécessaire.

Mes travaux s'insèrent en appui de la thèse d'Alexandre Marchal. Le travail se concentre autour de deux axes de recherches qui sont :

- Repérer les différentes sources d'autocorrélation affectant les séries des données de formation de bois
- Identifier puis sélectionner les co-variables climatiques les plus explicatives pour chacun des traits de croissance.

III. Matériels et méthodes

A. Description des sites d'étude

Trois sites forestiers ont été mobilisés pour cette étude. Un partenariat a été établi avec des sylviculteurs privés, qui ont chacun mis leurs sites à disposition de l'essai (SA et SS). Ces sites ont été plantés en 1997 avec des plants de 2 ans résultants d'un diallèle 9 *L. decidua* x 9 *L. kaempferi*. Le troisième site est un site INRA, sur lequel une copie clonale de SS a été plantée à Peyrat en 2004 (greffons de 2002). Trois ramets (clones) ont été prélevés sur chaque ortet

(pied-mère) de SS pour réaliser cette copie clonale. A SS, les ramets d'un même ortet ont été rassemblés sous forme de micro-parcelles unitaires.

Tableau 1 : Caractéristiques des sites d'études

SITE	Plantation	Nombre d'Individu	Climat	Sol
Saint-Appolinaire	1997	6209	Montagneux	Fertile pierreux
Saint-Saud	1997	3436	Océanique	Fertile
Peyrat	2004	3930	Océanique	Pauvre

Tous les arbres ont été échantillonnés à Saint-Saud et Saint-Appolinaire. Pour le site de Peyrat, uniquement un arbre par parcelle unitaire de trois plants fut sélectionné. Le site Saint-Saud présente une particularité : des éclaircies furent effectuées en 2004 et en 2006. Les éclaircies consistent à éliminer une partie d'un peuplement afin de permettre le bon développement des meilleurs arbres restant sur pied. Une perte de deux tiers de l'effectif initial est observée. Toutefois, l'information concernant les effectifs en fonction de l'année a pu être conservée.

B. Données météorologiques

1. Descriptions des données

Les données météorologiques proviennent des stations météo proches de chaque site. Ces données ont été fournies par Météo-France. Il s'agit de données quotidiennes s'étalant sur une période définie (Peyrat : 2004 à 2014 ; Saint-Saud : 1997 à 2011 ; Saint-Appolinaire : 1997 à 2013) selon le site, et correspondant à la période pour laquelle les données dendrologiques sont disponibles. Les différentes variables sont listées dans le tableau 2.

Tableau 2 : Variables climatiques

Paramètres	Libellé	Unité	Pas de temps
FFM	MOYENNE DES VITESSES DU VENT A 10M QUOTIDIENNE	M/S ET 1/10	quotidien
UM	HUMIDITE RELATIVE MOYENNE	%	quotidien
ETPMON	EVAPOTRANSPIRATION MONTEITH QUOTIDIENNE	MILLIMETRES ET 1/10	quotidien
ETPGRILLE	ETP CALCULEE AU POINT DE GRILLE LE PLUS PROCHE	MILLIMETRES ET 1/10	quotidien
GLOT	RAYONNEMENT GLOBAL QUOTIDIEN	JOULES/CM2	quotidien
INST	DUREE D'INSOLATION QUOTIDIENNE	MINUTES	quotidien
TN	TEMPERATURE MINIMALE SOUS AB1RI QUOTIDIENNE	DEG C ET 1/10	quotidien
TX	TEMPERATURE MAXIMALE SOUS AB1RI QUOTIDIENNE	DEG C ET 1/10	quotidien
RR	HAUTEUR DE PRECIPITATIONS QUOTIDIENNE	MILLIMETRES ET 1/10	quotidien

La disponibilité en eau est généralement reconnue comme le facteur limitant de la productivité forestière. Les précipitations rechargent la réserve en eau du sol, la rendant disponible pour le peuplement forestier. L'ensoleillement et la température augmentent l'évapotranspiration, et l'ETP représente l'évapotranspiration potentielle calculée pour un modèle végétal (un carré de gazon irrigué). Le vent peut également jouer un rôle en asséchant la canopée.

2. Imputation des données manquantes

Une première démarche concernant le jeu de données fut de répertorier les données manquantes. Ainsi, il fut proposé de les interpoler afin d'avoir un jeu de données complet pour une utilisation ultérieure lors de l'étude croissance/climat. L'interpolation se fit en trois étapes :

- ❖ Repérer les données manquantes (« NAs » pour « non available ») ;
- ❖ Estimer les NAs par régression individuellement ou en regroupant sous forme de groupe les na présentant moins de 15 jours d'écart ou encore en ne considérant que les extrémités des groupes ;
- ❖ Remplacer les NAs par leurs estimations au sein du jeu de données de chaque site.

Données manquantes (na)

Notre jeu de données est constitué des valeurs couvrant la période 1997-2013 pour le site Saint-Apollinaire, 1997 à 2011 pour le site de Saint-Saud, de 2004 à 2014 pour le site de Peyrat. La figure 4 décrit la procédure suivie pour l'interpolation des NA.

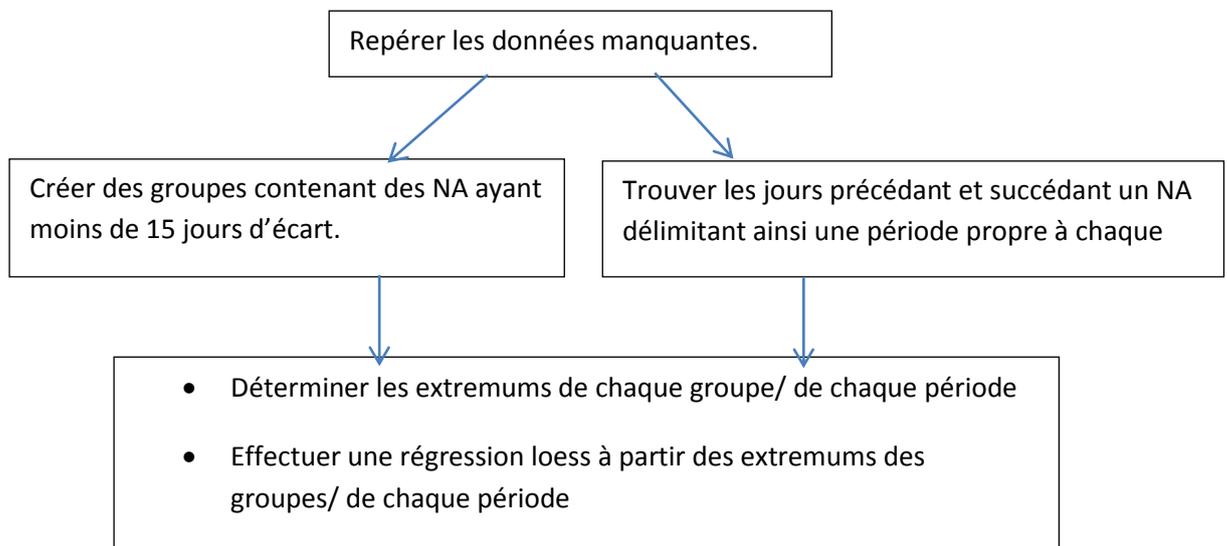


Figure 4 : Interpolation des NA

L'estimation des données manquantes s'est faite par régression « loess » de préférence afin de maintenir la tendance. La régression loess exerce une régression locale en se basant sur les proches voisins auxquels elle affecte un poids plus important que ceux éloignés lors de l'ajustement au nuage de points.

3. Diagramme ombrothermique

Des diagrammes ombrothermiques ont été tracés afin de caractériser chaque année dans chaque site.

Un diagramme ombrothermique représente les variations sur une année des températures mensuelles (T) et des sommes de précipitations mensuelles (P), en arrangeant les axes tels que la précipitation (en mm) soit au même niveau que le double de la température (en °C).

Le diagramme ombrothermique sert à détecter les périodes de sécheresse. Ces dernières sont lues sur le diagramme lorsque la courbe des températures dépasse les valeurs de précipitations, c'est-à-dire lorsque $P \text{ (mm)} > 2 * T \text{ (°C)}$.

C. Données du cerne

1. Récoltes des données

La dendrochronologie est « la science qui repose sur la mesure de largeurs de cernes annuels de croissance et leur datation précise ». Elle permet la détection des facteurs environnementaux (comme les variations climatiques dans notre cas) sur la croissance de l'arbre. Dernièrement, la dendrochronologie a été un outil pour la reconstruction du climat passé en regardant la réaction moyenne d'un grand nombre d'arbres contemporains et sur des séries temporelles d'arbres de différentes époques. Cependant, dans cette étude, l'enregistrement bois est utilisé d'une façon alternative afin de regarder la variabilité de la réaction bois entre les arbres et nullement celle d'une réaction moyenne. L'enregistrement bois englobe également des effets de compétition et de sylviculture.

La récolte des données débute sur le terrain par des prélèvements d'une carotte diamétrale de 4 mm par arbre sélectionné. Ces prélèvements sont réalisés à l'aide d'une tarière mécanique à moteur thermique Cette dernière présente deux avantages. Elle est plus rapide lors des prélèvements et procure des échantillons de meilleure qualité contrairement à une tarière manuelle. Les prélèvements s'effectuent en partant de l'écorce pour atteindre l'écorce de l'autre côté en passant par le cœur, le cœur à 1m30 de hauteur..

2. Obtention des données

La procédure d'exploitation des carottes de bois se décline en quatre phases essentielles : séchage, sciage en planchettes de 2 mm d'épaisseur, le passage au Rayon-X, puis la délimitation des cernes et l'interdatation. Les premières phases, de nature technique, ne seront pas abordées dans le rapport. L'interdatation est la procédure de mise en correspondance de deux ou plusieurs séries issues des profils de micro-densité mesurés sur des arbres différents pour évaluer leurs millésimes. Il est important de savoir que l'interdatation s'appuie sur les années caractéristiques présentant des conditions de croissances remarquables et communes à tous les arbres. Les résultats de ces premières analyses donnent des séries dendrochronologiques reflétant l'accroissement annuel de chaque échantillon de bois soumis à un ensemble de facteurs dont l'influence agit à différentes fréquences.

3. Prise en compte de l'autocorrélation

L'analyse statistique fut réalisée sur les largeurs de cernes annuels d'un jeu de données. Dans un premier temps, ces dernières sont considérées afin d'étudier et de définir l'existence de sources d'autocorrélation par le biais d'une fonction d'autocorrélation (ACF) appliquée à chaque profil. L'autocorrélation d'une série est définie comme la corrélation d'une série avec elle-même décalée de k périodes. Ainsi, l'analyse statistique débute par la recherche d'autocorrélation au sein des séries avant de poursuivre par une modélisation de ces dernières en utilisant la méthode ARIMA. A ce titre, une analyse autorégressive est entreprise avec le logiciel R à l'aide de la commande `auto.arima` du package `forecast`. Cette commande trouve son utilité suite au jeu de donnée considérable. La méthode ARIMA, acronyme d'autoregressive integrated moving average, détermine chaque valeur de la série (ici chaque série correspond à un individu) en fonction des valeurs qui la précède. Elle permet de mettre en relief l'existence d'un lien entre les valeurs de l'instant ($n-1$) et celles de l'instant (n). De manière plus précise, le processus autorégressif (AR) extrait l'influence des valeurs de la période précédente sur les valeurs de la période actuelle. Le processus d'intégration (I) suppose que chaque point présente une différence constante avec le point précédent. Le processus de moyenne mobile (MA) considère que chaque point est fonction des erreurs entachant les points précédents, plus sa propre erreur. Les écritures formelles de ces trois processus, chacun pour un ordre 1 sont :

$$I \rightarrow y_t = y_{t-1} + \mu + \varepsilon_t$$

$$AR \rightarrow y_t = y_{t-1}\varphi_1 + \mu + \varepsilon_t$$

$$MA \rightarrow y_t = \mu - \theta_1\varepsilon_{t-1} + \varepsilon_t,$$

Où ε_t correspond à la composante d'erreur aléatoire, μ est la constante du modèle, φ pour coefficient d'auto-régression, θ coefficient de la moyenne mobile et y_t l'observation à l'instant t .

L'objectif principal est de déterminer un modèle ARIMA(p,d,q) dont les trois paramètres p (nombre de termes auto-régressifs), d (nombre de différenciation) et q (nombre de moyenne mobile) sont représentatives des sites.

D. Relation climat-croissance

1. Création des jeux de données

L'analyse dendroécologique admet que la largeur du cerne est le résultat du climat de l'année, voire de l'année précédente, et peut servir particulièrement comme marqueur des épisodes météorologiques extrêmes. (Latte et al. 2012)

Par conséquent, l'intérêt se porte sur la création de jeux de données joignant aussi bien les données météorologiques que densitométriques en tenant compte des années précédentes. Trois jeux de données furent créés par le biais d'un ensemble de commandes dont les plus fréquentes sont `merge`, `tapply` et `aggregate`. Le premier jeu de donnée obtenu permet de

rechercher une relation entre les variables climatiques de la période végétative (de mars à octobre de l'année n et n-1) et la largeur de cerne totale annuelle. Mais ce jeu de données ne fut pas très informatif. D'où le second jeu de données qui considère la largeur de cerne totale annuelle et les variables climatiques mensuelles de l'année n et n-1. Le troisième jeu de données regroupe la largeur de cerne et les saisons (automne, hiver, printemps, été) de l'année n et de l'année n-1.

Durant l'identification des variables climatiques expliquant la relation cerne-climat, l'approche statistique utilisée en dendroécologie se décline en trois phases : recherche de fonctions de réponses, reconstruction et simulation. Ce procédé fait appel à des modèles statistiques dont l'efficacité est connue pour l'étude de variations de croissance interannuelles en lien avec les variables climatiques. (Cook, E. (et al.))

2. Régression linéaire multiple

Parmi les méthodes statistiques utilisées figurait la régression linéaire multiple. Mais cette dernière sans modification préalable fut abandonnée au profit de la Partial Least Square (PLS) car les conditions permettant d'effectuer une régression linéaire multiple efficace et appropriée n'étaient point respectées. En effet, la régression linéaire multiple exige un nombre limité de variables explicatives (facteurs) non redondantes (excluant toute colinéarité entre elles) décrivant au mieux la variable à expliquer (variable réponse). Les jeux de données utilisés présentent un nombre important de variables climatiques pouvant être redondantes. Ainsi, deux choix s'imposent soit une régression linéaire multiple sur des variables non redondantes, soit une PLS.

3. Partial least square

La PLS permet de contourner les obstacles de la régression linéaire multiple en ramenant l'espace vectoriel des variables climatiques (n observation décrites par p variables) à un espace vectoriel où les observations sont décrites par h composantes. La PLS s'avère intéressante pour l'identification de variables climatiques importantes. A cet effet, la PLS fut réalisée à partir de la commande `pls` du package PLS. La commande `VarImp` permet d'obtenir un classement des variables importantes à partir des valeurs absolues des coefficients de régression de chaque variable avec chaque composante de la PLS. Le coefficient de détermination R^2 indique la proportion de variance de la largeur de cerne pouvant être prédite par les variables climatiques. Les valeurs absolues des coefficients de corrélations des variables climatiques avec les axes choisis sont les critères de sélection des variables importantes. Le problème de colinéarité des variables fut contourné par le biais de la commande `redun` du package `Hmisc` qui énumère les variables redondantes pouvant être expliquées par d'autres. Les variables non redondantes sont ensuite insérées dans le code pour effectuer une régression linéaire multiple fonctionnelle cette fois-ci.

De même, la méthode des forêts aléatoires (Random Forest) génère un classement des variables importantes. Cette méthode combine classification et régression. Elle construit une forêt d'arbres de décision où chaque arbre provient d'un tirage bootstrap avec remise.

L'arbre contient ainsi une partie des individus et une partie des variables. Dans la méthode des forêts aléatoires, l'importance des variables est essentiellement calculée par une méthode de permutation prenant en compte le taux d'erreur de classement des variables au sein des arbres.

$$vi = [\text{taux d'erreur avec permutation}] - [\text{taux d'erreur sans permutation}]$$

Pour chaque variable, le score final d'importance (VI) est la moyenne de ses v_i pour tous les arbres. Le classement des variables est réalisé selon deux critères essentiels. Le terme « mean decrease accuracy » définit l'importance d'une variable par la dégradation engendrée dans le modèle de prévision lorsque le processus de permutation des valeurs de cette variable est lancé. En d'autre terme, comment l'élimination d'une variable affecte l'exactitude/ la précision du modèle. Le second critère propose un classement se référant à l'indice de Gini. Cet indice mesure l'hétérogénéité d'une série de mesures, accordant ainsi plus d'importance aux variables contribuant à faire des nœuds homogènes au sein des arbres.

IV. Résultats et discussion

A. Repérer les données manquantes présentes dans chaque site

Une première démarche consiste à repérer les données manquantes dans chaque site. Le tableau 3 présente ainsi les valeurs manquantes des variables climatiques pour chaque site.

Tableau 3: Proportion des na par variable et par site

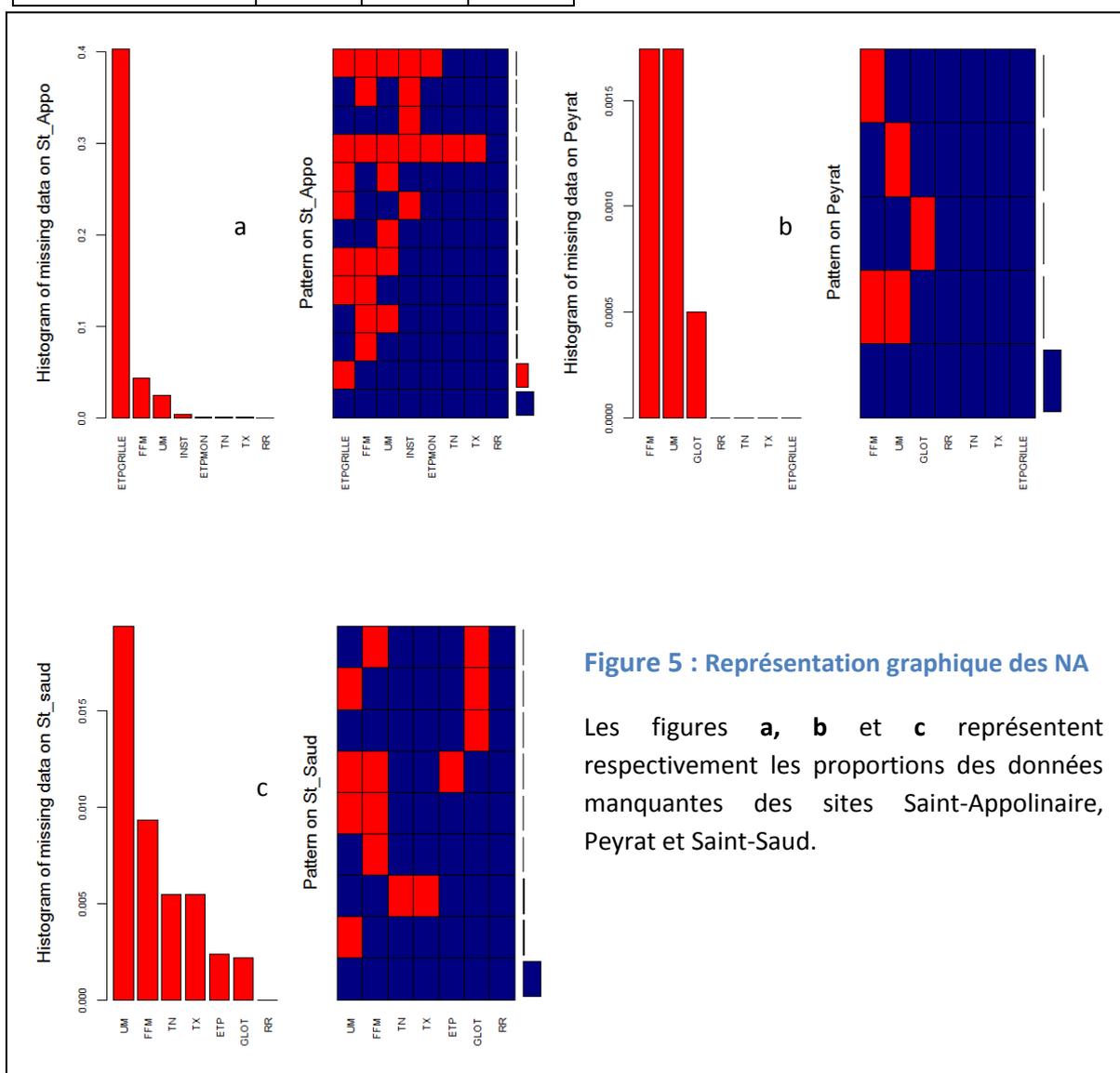
Saint-Appolinaire			Saint-Saud			Peyrat		
Variable	Coun t	Pourcentag e	Variabl e	Coun t	Pourcentag e	Variabl e	Coun t	Pourcentag e
TN	5	0,082	TN	30	0,55	FFFM	7	0.17
TX	5	0,082	TX	30	0,55	UM	7	0.17
ETPMON	6	0,098	FFM	51	0,93	GLOT	2	0.050
ETPGRILLE	2466	40,30	UM	106	1,94			
FFM	263	4,29	ETP	13	0,24			
UM	147	2,40	GLOT	12	0,22			
INST	20	0,33						

Une première impression serait de dire, au vue du tableau (Tab.3), que la faible proportion des données manquantes, toutes variables confondues (sauf pour ETPGRILLE), n'affecterait point la poursuite des analyses. Effectivement, après calcul, le site Peyrat ne présenterait que 0.04% de valeurs manquantes à cause de l'ETPGRILLE qui correspond à une autre manière de calculer l'évapotranspiration. Celui de Saint-Saud revient à 0.3% de valeurs manquantes. Le site de Saint-Appolinaire contient 4.08% de valeurs manquantes. Toutefois, cette impression peut être remise en question par l'existence de liens entre variables

climatiques. C'est le cas du rayonnement (INST ou GLOT), du vent (FFM), de l'humidité (UM) et de l'évapotranspiration (ETPMON/ETPGRILLE). Les trois dernières variables sont étroitement liées (Tab.4) mais leur liaison n'est pas l'objet de cette étude.

Tableau 4 : Corrélation entre l'humidité, le vent, l'ETP et GLOT

	Vent	ETP	Glott
Peyrat	0.40	-0.92	-0.79
Saint-Saud	0.06	-0.92	-0.80
Saint-Appolinaire	0.56	-0.95	-0.63



L'ensemble des figures (Fig.a, b, c) présente, dans la partie gauche, la proportion des valeurs manquantes pour chaque variable climatique de chacun des sites. La partie droite montre en

rouge le profil des valeurs manquantes. Le partitionnement fait référence à la localisation d'une ou d'un bloc de données manquantes présent également dans les autres variables.

B. Diagramme ombrothermique

Les diagrammes ombrothermiques sont présentés en Annexe 1. Ils mettent en relief les déficits hydriques observés durant l'année. L'année est caractérisée par un déficit hydrique dans les sites.

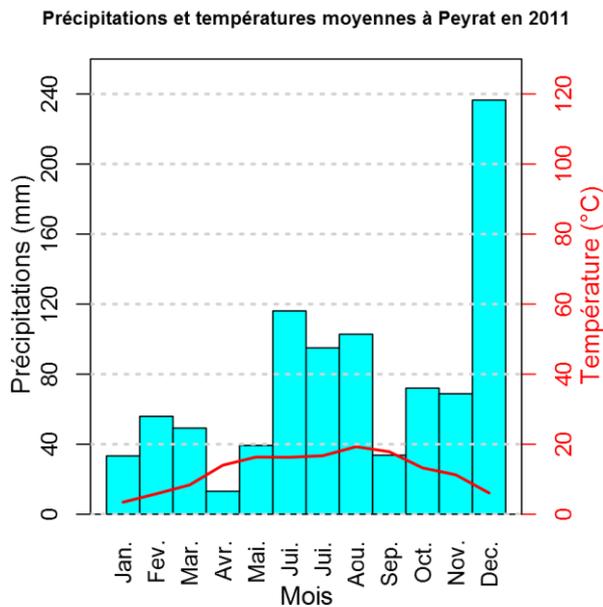


Figure 6 : Diagramme ombrothermique de l'année 2011 du site Peyrat

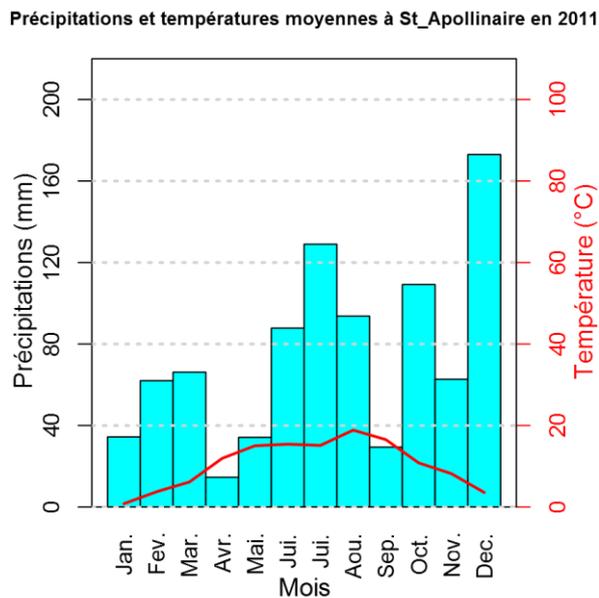


Figure 7 : Diagramme ombrothermique de l'année 2011 du site Saint-Apollinaire

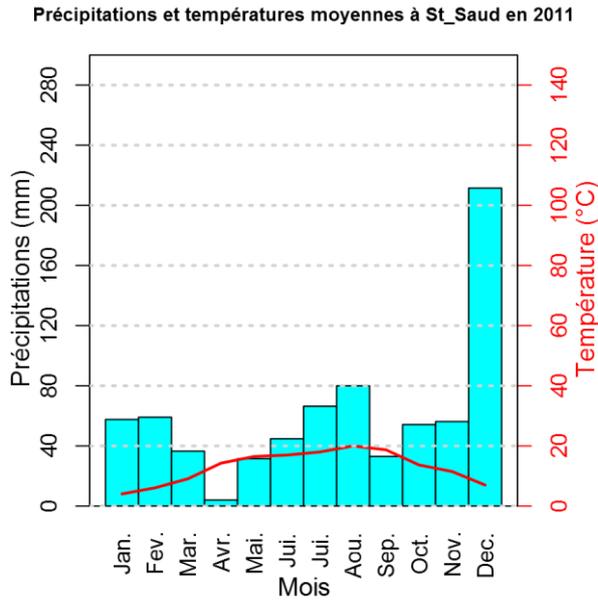


Figure 8 : Diagramme ombrothermique de l'année 2011 du site Saint-Saud

C. Autocorrélation et modélisation des séries

La fonction d'autocorrélation (ACF) est utilisée grâce à la commande `acf` du logiciel R. Elle permet de mettre en évidence l'existence d'autocorrélation au sein de chaque série. Pour cela, les périodes d'étude considérées correspondent au nombre d'année propre à chaque série. Le terme retard ou lag définit la période de décalage k .

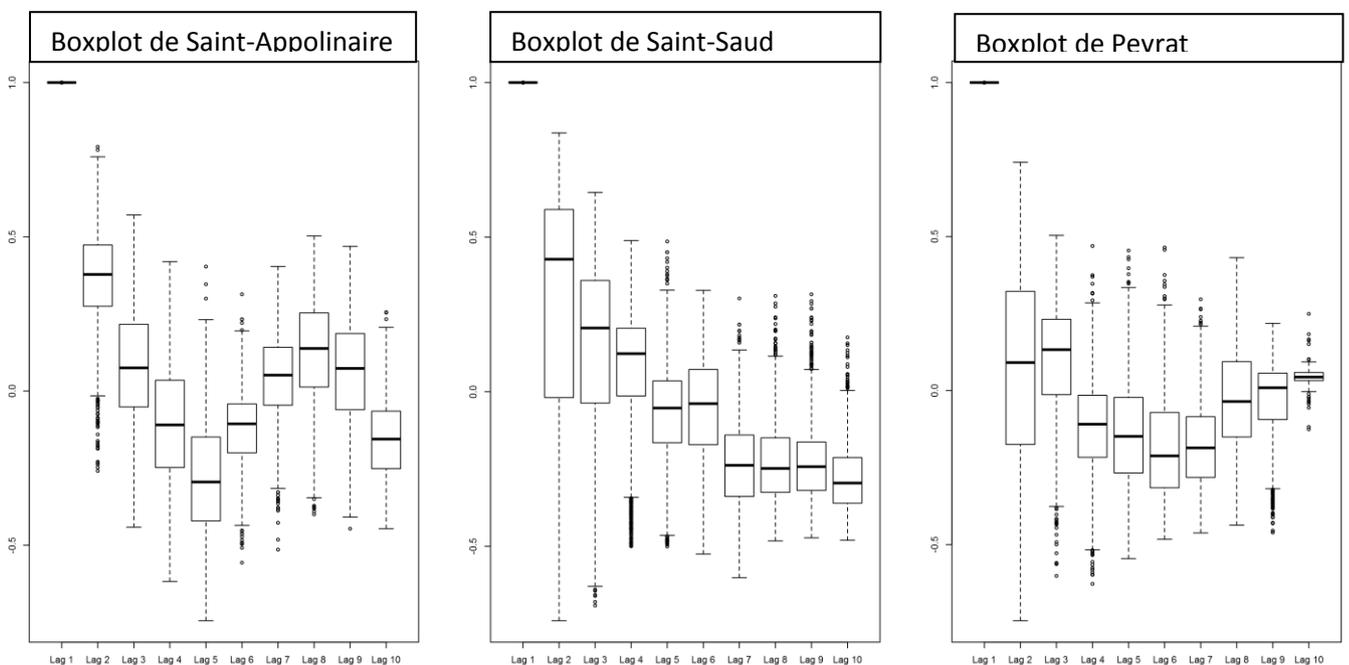


Figure 9 : Boxplot des sites présentant l'autocorrélation des k lags

Pour chaque site et pour un lag k donné, nous avons calculé pour l'ensemble des séries de cernes, la corrélation entre chaque cerne de l'année n et le cerne de l'année $n-k$. Les

résultats sont présentés dans les boxplots fig.9. La figure 9 présente les boxplots obtenus pour chaque site. Le lag 1 correspond à la corrélation entre la série et elle-même sans aucun décalage. Le lag 2 est celui qui nous intéresse, il correspond à l'autocorrélation de la série (ici, toutes les séries) entre l'année n et l'année n-1. Pour le site Saint-Appolinaire, le lag 2 indique que pour l'ensemble des séries de cerne à SA, la corrélation entre l'observation de l'année n et celle de l'année n-1 est en médiane 0.4. Pour le site Saint-Saud, les séries se dispersent plus autour d'une valeur médiane supérieure à 0.4. Une répartition déséquilibrée des séries autour de la valeur moyenne est observée en ce qui concerne le lag 2 pour le site Saint-Saud contrairement au site Saint-Appolinaire où une dispersion équilibrée des séries est observée pour le lag 2. Le site Peyrat, en ce qui concerne le lag 2, présente une dispersion déséquilibrée autour de la valeur moyenne en plus d'une autocorrélation négative pour certaines séries. Les boxplots indiquent que les années antérieures ont moins de répercussion sur l'année n pour $k > 2$. C'est pour cette raison que notre intérêt se porte uniquement sur l'autocorrélation entre l'année n et l'année n-1. Les boxplots ont mis en évidence l'existence d'une autocorrélation (majoritairement positive à Saint-Appolinaire et Saint-Saud) pour chaque série. La prochaine étape consiste à modéliser les séries dont le but de retirer l'influence des sources de variation. Les résidus ainsi obtenues reflètent normalement l'impact des variables climatiques.

Tableau 5 : Paramétrage (p,d,q) de modèle ARIMA selon le test KPSS

		KPSS								
SS	1998 - 2003				1998 - 2009			1998 - 2011		
p	0	1	2	3	0	1	0	1	2	
n(p)	785	78	48	4	671	22	1180	51	10	
d	0	1			0	1	2	0	1	2
n(d)	899	16			91	599	3	89	1150	2
q	0	1			0	1	0	1		
n(q)	914	1			683	10	1226	15		
Peyrat										
p	0	1	2	3						
n(p)	1142	127	23	2						
d	0	1	2							
n(d)	968	323	3							
q	0	1								
n(q)	1280	14								
SA										
p	0	1	2	3						
n(p)	1947	156	10	1						
d	0	1								
n(d)	1259	855								
q	0	1								
n(q)	1752	362								

Tableau 6 : Paramétrage du modèle ARIMA selon le test ADF

		ADF								
SS	1998 - 2003			1998 – 2009			1998 - 2011			
p	0	1	2	0	1	2	3	0	1	2
n(p)	867	44	4	470	170	51	2	761	375	105
d	0	2		2				0	1	2
n(d)	2	913		693				51	26	1164
q	0	1		0	1			0	1	2
n(q)	914	1		615	78			960	280	1
Peyrat										
p	0	1	2	3						
n(p)	760	429	103	2						
d	0	1	2							
n(d)	412	139	742							
q	0	1								
n(q)	1088	195	11							
SA										
p	0	1	2							
n(p)	1969	137	8							
d	0	1	2							
n(d)	96	31	1987							
q	0	1	2	3						
n(q)	429	867	816	2						

L'estimation d'un modèle ARIMA est réalisée en appliquant la commande `auto.arima` à chaque individu selon les trois tests Kwiatkowski–Phillips–Schmidt–Shin (KPSS), Augmented Dickey-Fuller (ADF) et Phillips-Perron (PP). Ces tests déterminent la stationnarité d'une série. Une série est stationnaire si sa moyenne et sa variance sont constantes dans le temps. Les meilleurs modèles sont choisis sur la base des plus petites valeurs d'AIC, AICc et BIC. Ainsi, dans chaque profil, un paramétrage (p, d, q) de modèle ARIMA « optimal » sur la base de chacun des tests est obtenu. Le nombre de représentation des valeurs prises par les paramètres p, d, q est proposée site par site dans le tableau 5 pour chaque profil (Tab.5,6 et 7) selon trois tests (KPSS, ADF, PP) et un modèle représentatif (Tab.8) de chaque site est établi à partir des effectifs des paramètres trouvés pour l'ensemble des profils.

Tableau 7 : Paramétrage du modèle ARIMA selon le test PP

		PP								
SS	1998 - 2003	1998 - 2009			1998 - 2011					
p	0 1 2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
n(p)	762 50 103	485	169	39	761	375	105			
d	0 2	2			0 1 2					
n(d)	2 913	693			51 26 1164					
q	0 1 2	0	1		0	1	2			
n(q)	762 47 106	630	63		960	280	1			
Peyrat										
p	0 1 2 3									
n(p)	528 629 136 1									
d	2									
n(d)	1294									
q	0 1 2									
n(q)	905 368 488									
SA										
p	0 1 2									
n(p)	941 685 488									
d	0 1 2									
n(d)	23 608 1483									
q	0 1 2									
n(q)	2042 68 4									

Tableau 8 : Modèles ARIMA (p,d,q) fournis par la commande auto.arima

	Période	KPSS	ADF	PP
Peyrat	1998-2015	0 0 0	0 2 0	1 2 0
Saint-Appolinaire	1998-2015	0 0 0	0 0 0	0 2 0
Saint-Saud	1998-2015	0 1 0	1 2 0	0 2 0
	1998-2003	0 0 0	0 2 0	0 2 0
	1998-2009	0 1 0	0 2 0	0 2 0
	1998-2011	0 1 0	0 2 0	0 2 0

Les modèles ARIMA (p,d,q) suggèrent que:

- Pour un modèle ARIMA (0,0,0), dit sans différenciation, la série originale est stationnaire et ne nécessite donc pas de modification ;
- Pour un modèle ARIMA (0,1,0), avec une différenciation d'ordre 1, la série originale présente une tendance constante et donc un accroissement linéaire en fonction du temps ;
- Pour un modèle ARIMA (0,2,0), avec une différenciation d'ordre 2, la série originale présente une tendance variant dans le temps ;

- Pour un modèle ARIMA (1,2,0), en plus d'une tendance variant dans le temps, une influence de la valeur de la période précédente sur celle de période actuelle est relevée.

La modélisation ARIMA issue du test KPSS suggère que les séries brutes des sites Saint-Appolinaire et Saint-Saud peuvent être directement associées aux variables climatiques sans modification préalable. Pour Saint-Saud, une différenciation serait nécessaire. Toutefois, aucune autocorrélation n'est identifiée avec ce test pour chacun des sites. Tandis qu'une autocorrélation d'ordre 1 serait détectée avec le test PP pour le site Peyrat et ADF pour le site de Saint-Appolinaire.

D. Identification des variables par VarImp appliqué à la pls

L'identification des co-variables climatiques les plus explicatives de la largeur de cerne se fait par classement par ordre décroissant des variables selon trois critères :

- Les valeurs absolues des coefficients de régression de chaque variable avec chaque composante de la pls par le biais de la commande VarImp.
- Les valeurs absolues du coefficient de corrélation des variables avec le premier axe de la pls.
- Les valeurs absolues des corrélations des variables climatiques avec la largeur de cerne totale.

Ainsi, on retrouve les variables suivantes selon les sites

Tableau 9 : Les huit premières variables fournies par VarImp appliqué à la pls

Peyrat	Saint-Saud	Saint-Appolinaire
FFM.aout	FFM.oct.pre	INST.aout.pre
RR.avril	RR.juin.pre	FFM.oct.pre
temp.aout	RR.oct.pre	ETP.dec
GLOT.fev	UM.juin.pre	INST.juil.pre
temp.aout.pre	GLOT.juil.pre	ETP.juil.pre
FFM.juil	temp.aout	UM.dec
RR.dec	temp.mars	temp.jan

Les huit premières variables sont montrées pour illustrer le résultat de la commande VarImp appliqué à la pls.

E. Coefficient de corrélation

Le coefficient de corrélation ou plutôt les valeurs absolues du coefficient de corrélation des variables climatiques avec l'axe principal de la pls constitue un critère de sélection des variables importantes expliquant la largeur de cerne. Les huit premières variables climatiques du classement sont énoncées pour chaque site à titre illustratif.

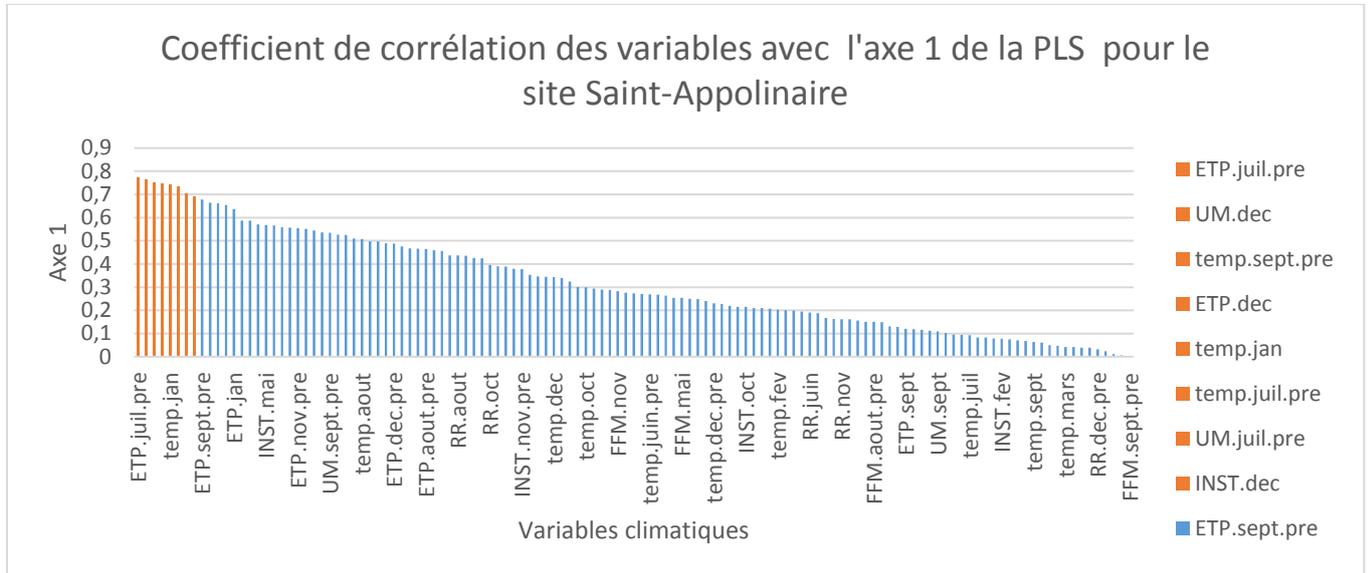


Figure 10 : Histogramme présentant les coefficients de corrélation du site Saint-Appolinaire

Ainsi, pour le site de Saint-Appolinaire, les huit premières variables climatiques expliquant la largeur de cerne sont l'évapotranspiration de juillet précédent, l'humidité de décembre, la température de septembre précédent, l'évapotranspiration de décembre, la température de juin, la température de juillet précédent, l'humidité de juillet précédent et l'insolation de décembre.

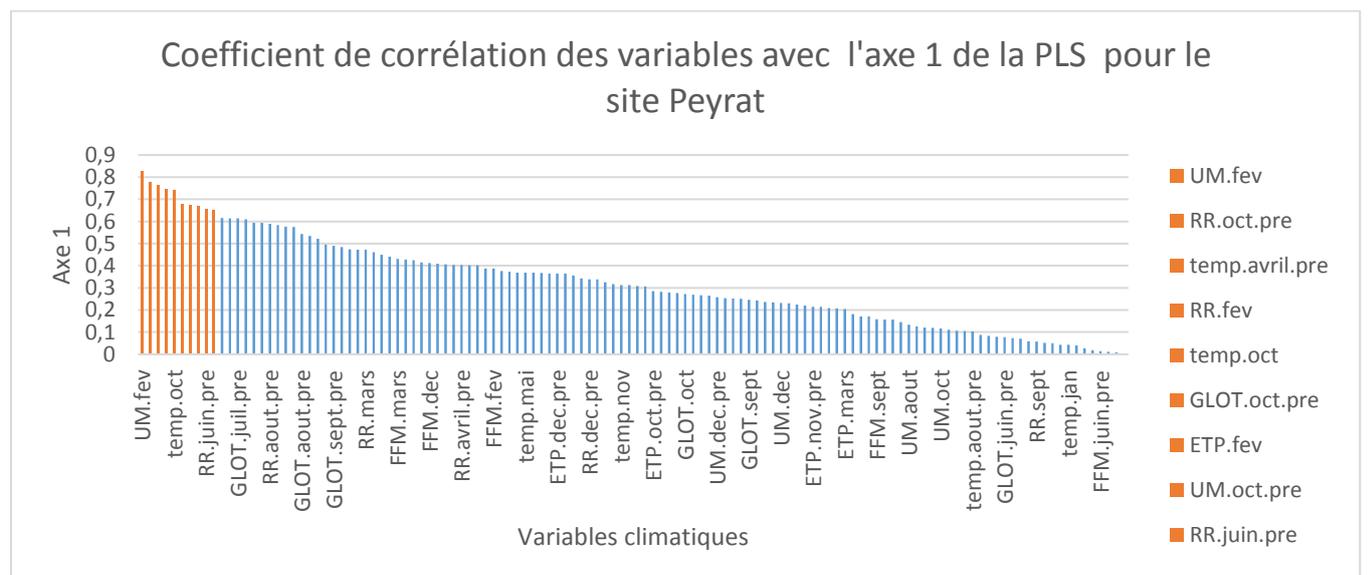


Figure 11 : Histogramme présentant les coefficients de corrélation du site Peyrat

Quant au site de Peyrat, les huit valeurs climatiques décrétées comme importantes par la pls, selon le critère de sélection, sont l'humidité de février, les précipitations d'octobre dernier, la température d'avril précédent, les précipitations de février, la température d'octobre, le rayonnement global d'octobre précédent, l'évapotranspiration de février et l'humidité d'octobre précédent.

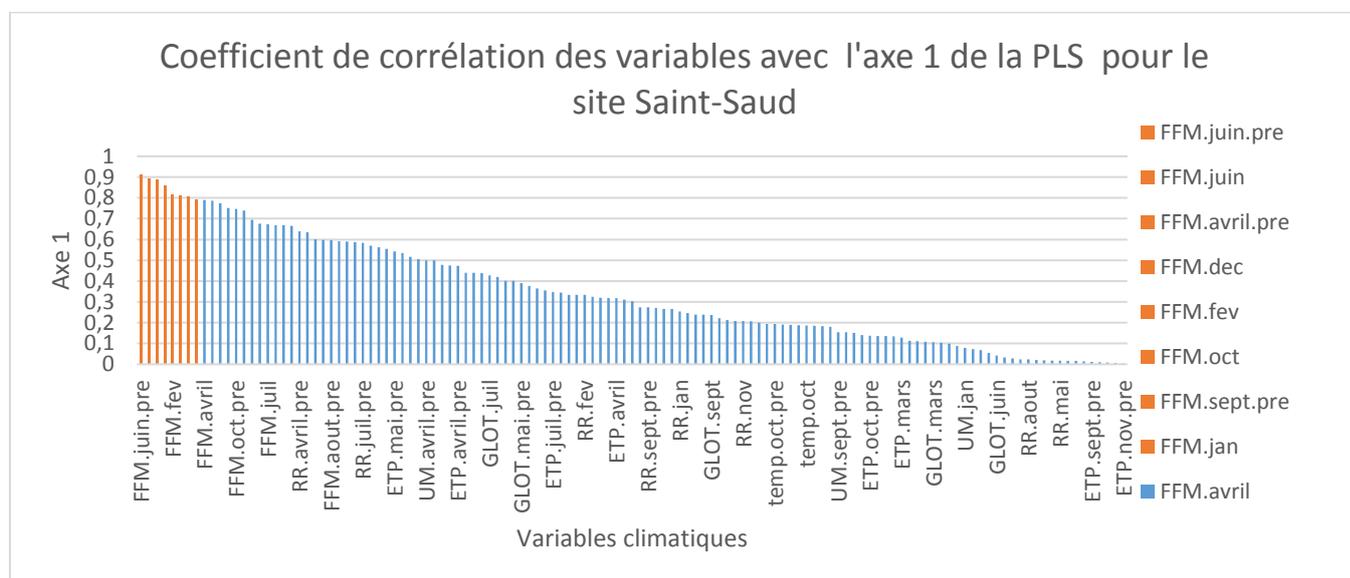


Figure 12 : Histogramme présentant les coefficients de corrélation du site Saint-Saud

Parmi les variables climatiques sélectionnées pour le site de Saint-Saud figurent essentiellement le vent du mois de juin précédent, du mois de juin, du mois d'avril précédent, du mois de décembre, du mois de février, d'octobre, de septembre précédent et de juin.

F. Récapitulatif des résultats : huit variables à titre illustratives

Tableau 10 : huit variables identifiées comme importantes par nos critères

	Corrélation var. largeur de cerne totale			Variables Importantes de la pls			Coeff. De corrélation pls axe1		
	Peyrat	Saint-Saud	Saint-Appo	Peyrat	Saint-Saud	Saint-Appo	Peyrat	Saint-Saud	Saint-Appo
V S	RR.oct.pre	FFM.fev	ETP.dec	FFM.aout	FFM.oct.pre	INST.aout.pre	UM.fev	FFM.juin.pre	ETP.juil.pre
	temp.oct	FFM.dec	ETP.juil.pre	RR.avril	RR.juin.pre	FFM.oct.pre	RR.oct.pre	FFM.juin.pre	UM.dec
	UM.fev	FFM.sept.pre	FFM.oct.pre	temp.aout	RR.oct.pre	ETP.dec	temp.avril.p	FFM.avril.pre	temp.sept.pre
	ETP.fev	FFM.avril.pre	INST.aout.pr	GLOT.fev	UM.juin.pre	INST.juil.pre	RR.fev	FFM.dec	ETP.dec
	RR.juin.pre	FFM.juin	INST.juil.pre	temp.aout.pre	GLOT.juil.pre	ETP.juil.pre	temp.oct	FFM.fev	temp.jan
	temp.avril.p	FFM.sept	UM.dec	FFM.juil	temp.aout	UM.dec	GLOT.oct.pre	FFM.oct	temp.juil.pre
	FFM.juin	FFM.juin.pre	temp.jan	RR.dec	temp.mars	temp.jan	ETP.fev	FFM.sep.pre	UM.juil.pre

G. Coefficient de détermination

Tableau 11 : Coefficient de détermination			
Peyrat			
	axe 1	axe 2	axe 3
DM	0.2357793	0.02214535	0.00436033
DS	0.06260846	0.03344797	0.02064846
Saint-Saud			
	axe 1	axe 2	axe 3
DM	0.4336286	0.04155511	0.01003541
DS	0.1586791	0.09407073	0.05162314
Saint-Appolinaire			
	axe 1	axe 2	axe 3
DM	0.3615749	0.09643714	0.02480964
DS	0.1977565	0.04818552	0.01151916

La largeur de cerne a été régressée par chacun des axes de l'ACP individuellement afin de mesurer la proportion de variance que chacun des axes explique comme un coefficient de détermination R².

Le premier axe est toujours celui qui concentre le maximum d'information pouvant expliquée la largeur de cerne.

La notation DM désigne les données mensuelles de l'année n et de celles de l'année n-1. Tandis que DS fait référence aux données saisonnières.

Il est important de noter que les travaux ont consisté dans un premier temps lors de l'étude climat/croissance à tenir compte uniquement de la largeur totale de cerne.

Pour chacun des sites, les variables climatiques expliquent moins de 50% de la largeur de cerne en ce qui concerne l'axe 1 : 23% pour Peyrat, 43% pour Saint-Saud contre 36% pour saint-Appolinaire.

V. Discussion et conclusion

La difficulté d'isoler les variables climatiques susceptible d'intervenir sur l'accroissement annuel des arbres est grande. (Kobra M). Cette difficulté s'explique par le caractère intégrateur des cernes dont la croissance est influencée par l'environnement (facteurs climatiques) et la compétition. (Taylor (1998)). L'effet de l'âge, considéré aussi comme une influence de la croissance des cernes, a vite été évincée dans cette étude par l'année de plantation similaire pour chaque arbre dans chaque site.

La différence de paramètres des modèles ARIMA, perçu selon les trois tests, s'explique difficilement. En effet, les résultats de la modélisation ARIMA avec le test par défaut KPSS, ne montre aucune existence d'autocorrélation justifiant un effet de compétition. Or, l'effet de compétition, étant observable à partir d'une dizaine d'année, aurait dû être perçu légèrement sur Peyrat (11 ans) et un peu plus sur les deux autres sites (Saint-Saud -15 ans ; Saint-Appolinaire-17 ans). C'est cette incohérence qui me poussa à chercher une explication pour ces résultats. Toutefois, avec le nombre limitée d'information expliquant le choix de l'un des tests au détriment des deux autres, cette dernière demeure inexpliquée.

Dans les trois sites, aucune concordance n'est relevée parmi les variables climatiques importantes définies par les critères de sélection. Autant la commande **VarImp** semble sélectionner des variables climatiques plausibles. Autant, les résultats obtenus ne sont pas toujours ceux attendus. De même, les variables climatiques renvoyées par les valeurs absolues du coefficient de corrélation sont totalement inattendues en plus d'être en contradiction avec ceux fournies à l'aide la commande VarImp. Tout ceci mène à s'interroger sur le choix de la méthodologie.

D'après le R^2 , les variables climatiques expliquent moins de 50% de la variance de la largeur de cerne totale.

VI. Conclusion

Le climat joue un rôle dans la croissance des largeurs de cerne. Mais au vu des valeurs du R^2 , le climat aurait une influence moindre que celle attendue. Bien sûr de nouvelles analyses seraient nécessaires pour approfondir ce sujet. A ce propos, lors des recherches effectuées pour trouver des méthodes alternatives, deux méthodes attirèrent mon attention. L'une d'entre elles utilise le package VSURF. L'autre méthode serait une analyse en composants indépendants (ACI).(Lionel Humbert and Franck Berminger)

VII. Bibliographie

Cook, E. (et al.) *Methods of Dendrochronology*.

De Ridder M, Trouet V, Van den Bulcke J, et al (2013) A tree-ring based comparison of *Terminalia superba* climate–growth relationships in West and Central Africa. *Trees* 27:1225–1238. doi: 10.1007/s00468-013-0871-3

González-González BD, Rozas V, García-González I (2014) Earlywood vessels of the sub-Mediterranean oak *Quercus pyrenaica* have greater plasticity and sensitivity than those of the temperate *Q. petraea* at the Atlantic–Mediterranean boundary. *Trees* 28:237–252. doi: 10.1007/s00468-013-0945-2

Granier A, Badeau V, Bréda N (2012) BILJOU: un outil de simulation du bilan hydrique des forêts. In: Colloque SEMEAU. 2012-10-17/2012-10-19, Clermont-Ferrand, FRA.

He D, Jiang M-X, Wei X-Z (2012) A dendroclimatic investigation of radial growth–climate relationships for the riparian species *Cercidiphyllum japonicum* in the Shennongjia area, central China. *Trees* 26:503–512. doi: 10.1007/s00468-011-0611-5

Kobra M, Andres K, Henn K Analysis of Individual Tree Competition Effect on Diameter Growth of Silver Birch in Estonia.

Latte N, Debruxelles J, Sohier C, et al (2012) La dendroécologie: un outil pour affiner nos connaissances sur l'autécologie des essences forestières.

Lionel Humbert, Franck Berminger Extraction de variables climatiques en dendroclimatologie par une méthode “aveugle” au Nepal.

Martinez Meier AG, Sanchez L, Salda G, et al (2008) Genetic control of the tree-ring response of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) to the 2003 drought and heat-wave in France. *Ann For Sci* 65:102–102. doi: 10.1051/forest:2007074

MSSANZ/IMACS Biennial Conference on Modelling and Simulation, Braddock RD, Newham LTH, et al (eds) (2009) Interfacing modelling and simulation with mathematical and computational sciences 18th IMACS World Congress, MODSIM09, Cairns, Australia 13-17 July 2009: proceedings. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, [Christchurch, N.Z.]

Rathgeber C Utilisation d'un modèle biogéochimique en dendroécologie. Application au pin Cembro.

SAMPLE CDFAS (1921) correlation coefficients covering the cases (i) “The frequency distribution of the values of the correlation coefficient in samples from an indefinitely large population,” *Biometrika*, Vol. 10, pp. 507v521, 1915. Here the method of defining the sample by the coordinates of.

Yin Z-Y, Li M, Zhang Y, Shao X (2016) Growth–climate relationships along an elevation gradient on a southeast-facing mountain slope in the semi-arid eastern Qaidam Basin, northeastern Tibetan Plateau. *Trees*. doi: [10.1007/s00468-015-1348-3](https://doi.org/10.1007/s00468-015-1348-3)

VIII. ANNEXE

A. Annexe 1 : Diagrammes ombrothermiques

Peyrat

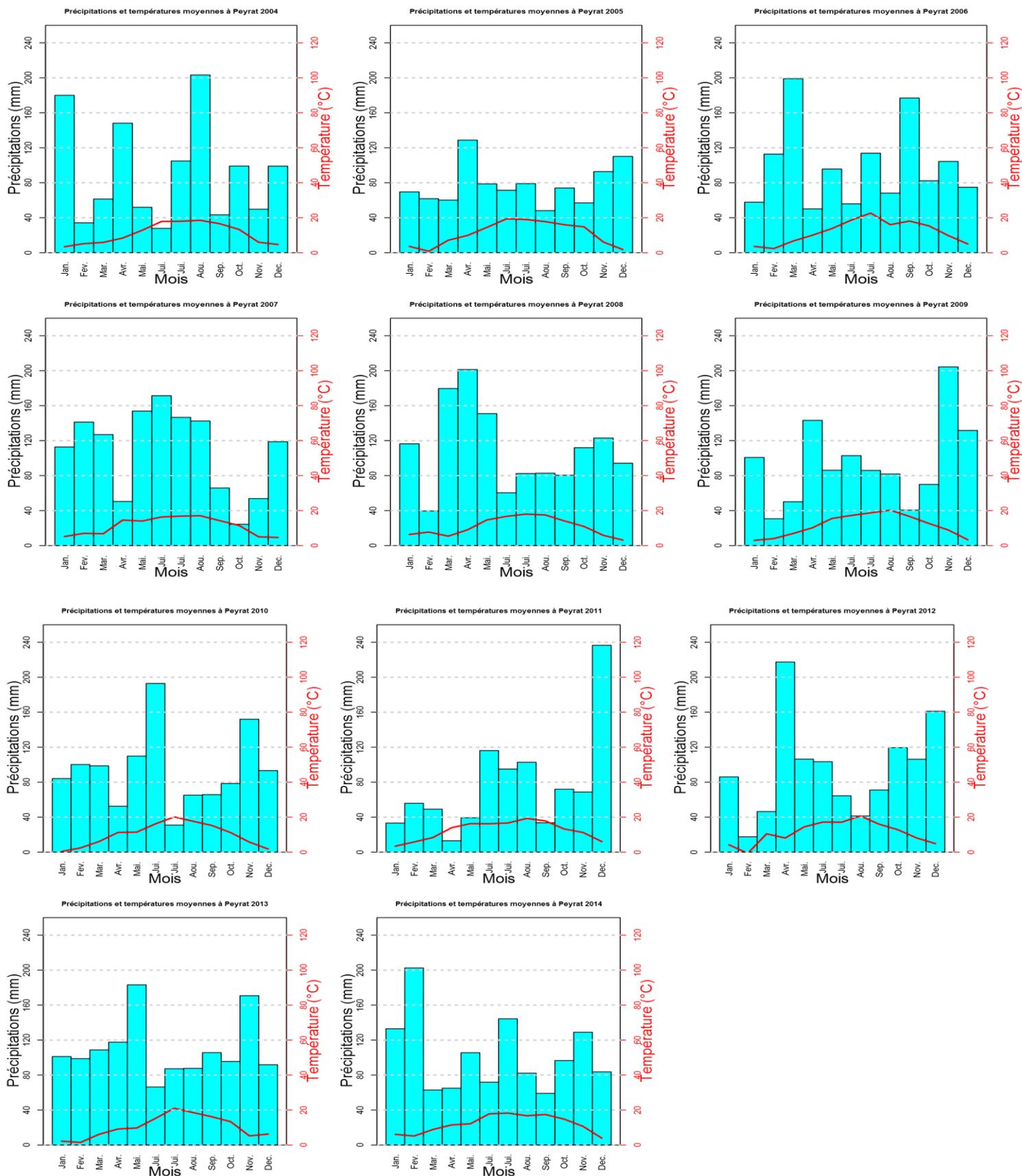


Figure 13 : Diagrammes ombrothermiques des années 2004 à 2014 du site de Peyrat

Saint-Saud

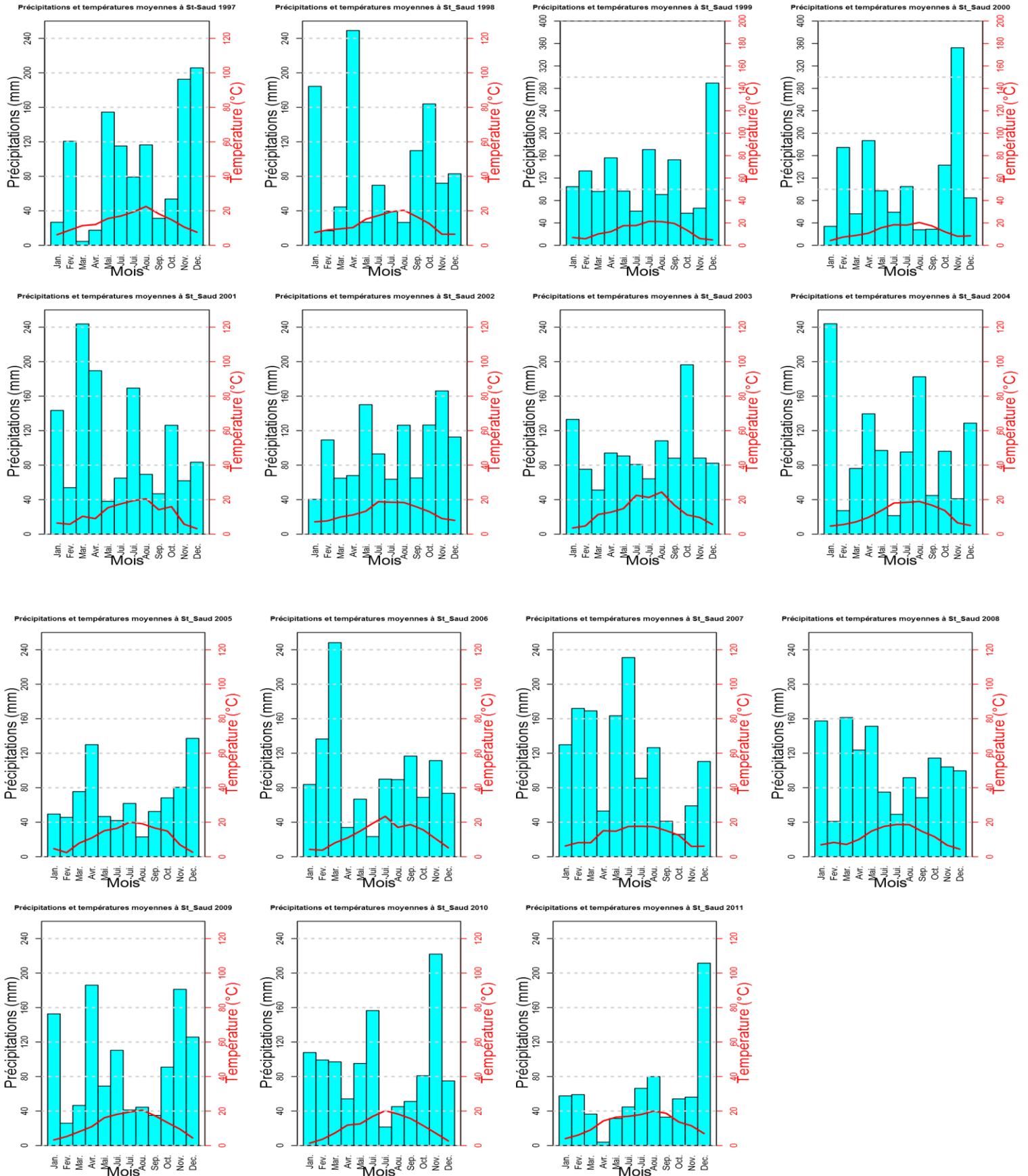
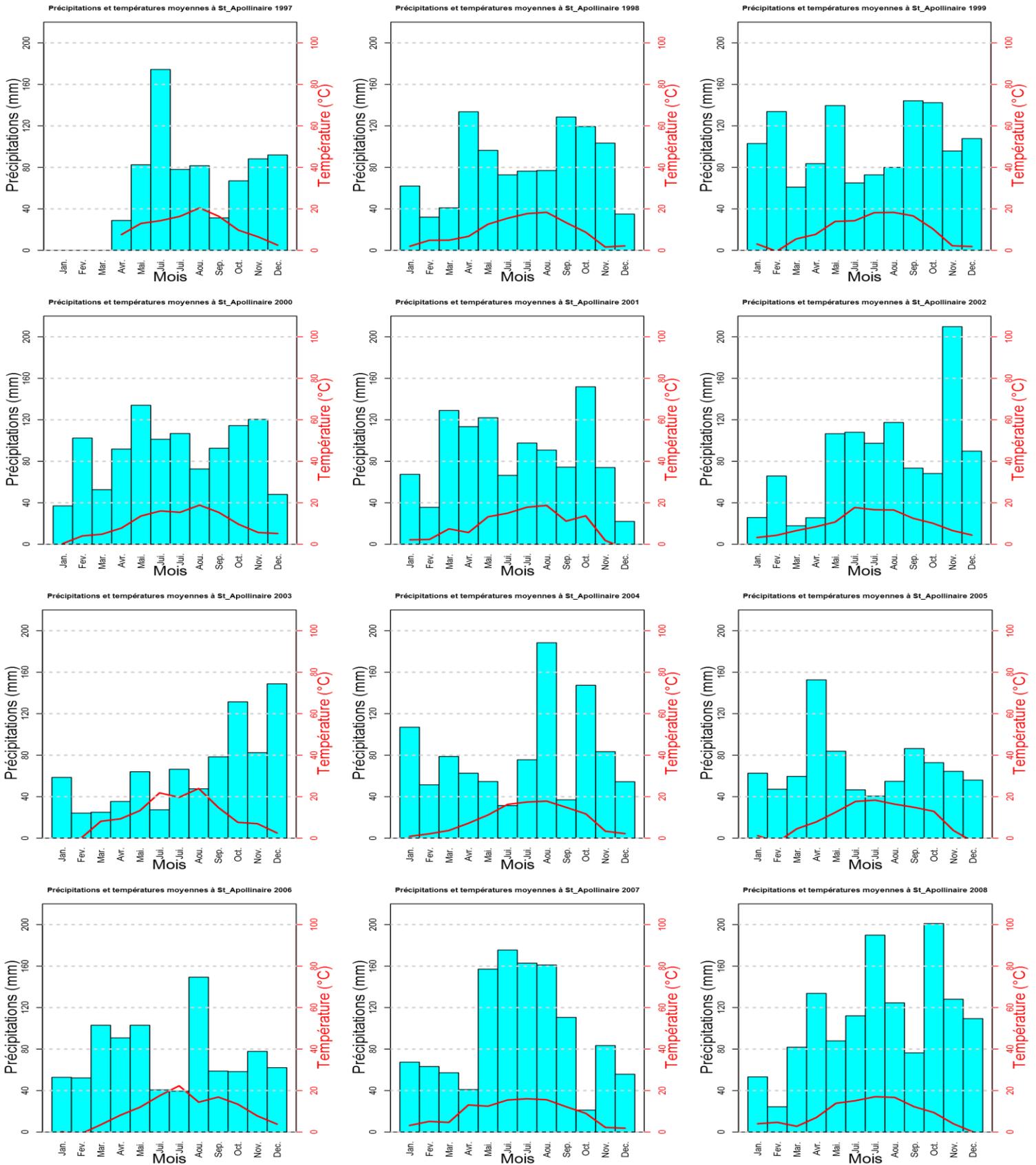


Figure 14 : Diagrammes ombrothermiques des années 1997 à 2011 du site de Saint-Saud

Saint-Appolinaire



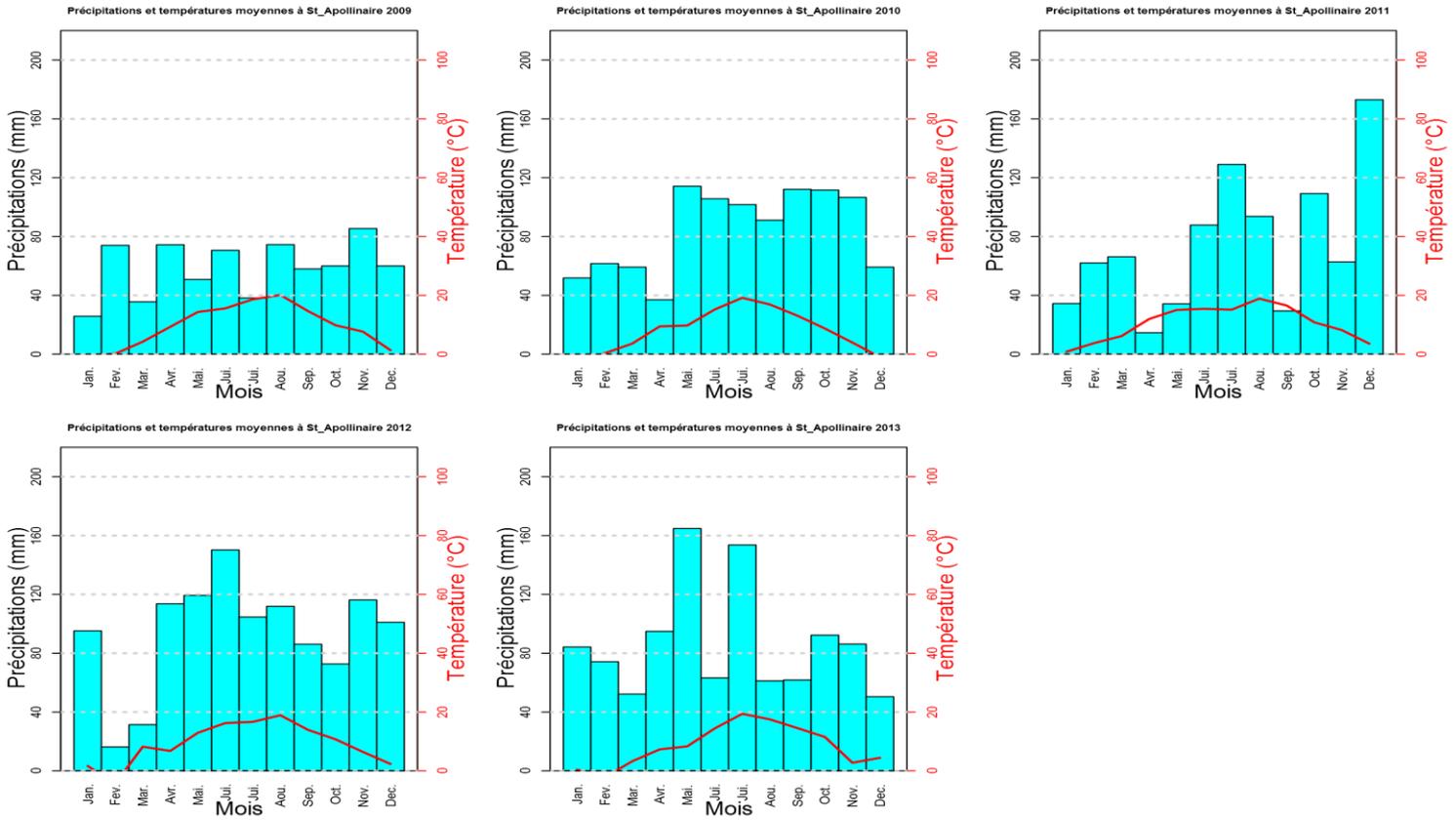


Figure 15 : Diagrammes ombrothermiques des années 1997 à 2013 du site de Saint-Appolinaire

B. Annexe 2 : Classement des variables climatiques par ordre décroissant à partir de la corrélation des variables avec la largeur de cerne.

Corrélation var. largeur de cerne totale					
Peyrat	Cor	Saint-Saud	Cor	Saint-Appo	Cor
RR.oct.pre	0.43	FFM.fev	0.57	ETP.dec	0.45
temp.oct	0.41	FFM.dec	0.56	ETP.juil.pre	0.44
UM.fev	0.37	FFM.sept.pre	0.56	FFM.oct.pre	0.44
ETP.fev	0.37	FFM.avril.pre	0.56	INST.aout.pre	0.42
RR.juin.pre	0.35	FFM.juin	0.55	INST.juil.pre	0.41
temp.avril.pre	0.34	FFM.sept	0.53	UM.dec	0.41
FFM.juin	0.33	FFM.juin.pre	0.52	temp.jan	0.41
RR.aout.pre	0.32	FFM.jan	0.52	temp.juil.pre	0.4
UM.oct.pre	0.31	FFM.mai	0.5	temp.sept.pre	0.39
RR.juil	0.3	FFM.dec.pre	0.5	INST.dec	0.38
UM.jan	0.29	FFM.avril	0.48	RR.aout.pre	0.35
RR.fev	0.29	FFM.oct	0.48	FFM.aout	0.35
FFM.mars	0.28	FFM.nov	0.47	ETP.aout.pre	0.34
GLOT.oct.pre	0.27	RR.juil	0.47	ETP.sept.pre	0.33
temp.oct.pre	0.27	FFM.oct.pre	0.46	UM.juil.pre	0.33
temp.sept	0.27	FFM.juil	0.46	FFM.juin	0.32

GLOT.fev	0.27	FFM.juil.pre	0.45	temp.mai	0.32
RR.mars	0.26	FFM.mars	0.43	UM.aout.pre	0.32
UM.nov	0.26	temp.mars	0.43	RR.jan	0.3
RR.sept.pre	0.25	FFM.nov.pre	0.43	RR.mai	0.29
ETP.avril.pre	0.24	GLOT.oct.pre	0.42	ETP.mai	0.29
FFM.juil	0.23	FFM.aout	0.4	UM.sept.pre	0.29
GLOT.nov	0.23	GLOT.avril.pre	0.4	temp.dec	0.28
temp.mai.pre	0.23	FFM.aout.pre	0.39	FFM.avril	0.28
GLOT.aout.pre	0.23	GLOT.sept.pre	0.39	INST.juin	0.28
ETP.jan	0.23	RR.juil.pre	0.38	RR.juil.pre	0.27
GLOT.avril.pre	0.23	GLOT.oct	0.37	ETP.nov.pre	0.27
ETP.nov	0.22	GLOT.fev	0.37	RR.nov.pre	0.27
temp.juil.pre	0.22	RR.avril.pre	0.36	RR.oct	0.27
ETP.juil.pre	0.21	ETP.dec	0.35	temp.juin	0.26
GLOT.aout	0.21	GLOT.juil.pre	0.34	FFM.sept	0.25
GLOT.juil.pre	0.21	FFM.mai.pre	0.34	FFM.dec.pre	0.25
ETP.juin	0.21	RR.oct.pre	0.34	UM.mai	0.25
GLOT.mars	0.2	temp.jan	0.34	RR.juin.pre	0.24
GLOT.dec	0.19	UM.juil.pre	0.32	FFM.juil.pre	0.23
GLOT.juil	0.19	GLOT.avril	0.32	temp.sept	0.23
temp.dec.pre	0.18	temp.aout.pre	0.3	INST.mai	0.23
temp.sept.pre	0.18	UM.juil	0.3	temp.aout	0.23
GLOT.juin	0.17	ETP.mai.pre	0.29	UM.nov.pre	0.23
UM.avril.pre	0.17	temp.dec	0.29	UM.aout	0.22
FFM.mai	0.17	GLOT.juil	0.28	UM.fev	0.22
UM.juil	0.17	RR.oct	0.28	temp.oct	0.22
temp.mai	0.17	UM.fev	0.28	INST.oct.pre	0.22
UM.dec	0.17	UM.avril.pre	0.27	RR.aout	0.2
ETP.oct	0.16	temp.mai.pre	0.27	temp.nov.pre	0.2
RR.avril.pre	0.16	UM.oct.pre	0.26	temp.mai.pre	0.2
GLOT.sept.pre	0.16	RR.sept.pre	0.26	INST.oct	0.2
UM.mai	0.16	ETP.jan	0.26	ETP.juin.pre	0.2
temp.mars	0.16	ETP.avril.pre	0.26	FFM.mai.pre	0.19
FFM.nov	0.16	RR.fev	0.26	temp.aout.pre	0.19
UM.aout.pre	0.16	RR.mai.pre	0.26	UM.mai.pre	0.19
FFM.mai.pre	0.16	RR.juin.pre	0.25	temp.avril.pre	0.19
RR.oct	0.15	ETP.aout.pre	0.25	FFM.dec	0.18
ETP.aout.pre	0.15	UM.oct	0.24	UM.mars	0.18
UM.juil.pre	0.15	temp.dec.pre	0.24	ETP.aout	0.18
FFM.avril.pre	0.15	ETP.dec.pre	0.23	ETP.fev	0.18
UM.juin	0.15	RR.avril	0.23	ETP.sept	0.18
temp.fev	0.15	temp.juin	0.22	ETP.dec.pre	0.17
temp.juin	0.14	temp.fev	0.21	RR.fev	0.17
ETP.sept	0.14	temp.aout	0.21	RR.nov	0.16
ETP.dec	0.14	ETP.juin	0.2	INST.mars	0.16

RR.juin	0.14	RR.aout	0.2	ETP.jan	0.16
RR.avril	0.13	GLOT.mai.pre	0.18	FFM.nov	0.16
RR.nov.pre	0.13	GLOT.nov.pre	0.18	RR.avril.pre	0.16
ETP.mai	0.12	UM.mai	0.17	INST.sept.pre	0.16
FFM.fev	0.12	temp.nov	0.17	INST.dec.pre	0.16
FFM.dec	0.12	ETP.sept	0.16	ETP.juin	0.16
ETP.mai.pre	0.12	ETP.juil	0.16	FFM.oct	0.16
RR.jan	0.12	GLOT.aout.pre	0.16	UM.juin.pre	0.15
ETP.mars	0.12	RR.sept	0.16	FFM.fev	0.15
GLOT.dec.pre	0.11	temp.avril.pre	0.16	ETP.mai.pre	0.15
UM.juin.pre	0.11	ETP.juil.pre	0.16	INST.avril.pre	0.15
ETP.dec.pre	0.11	ETP.juin.pre	0.15	FFM.avril.pre	0.14
ETP.oct.pre	0.11	RR.aout.pre	0.15	RR.juin	0.14
UM.mars	0.11	temp.avril	0.15	UM.dec.pre	0.13
temp.dec	0.1	ETP.nov.pre	0.14	ETP.oct	0.13
FFM.aout	0.1	UM.avril	0.14	ETP.oct.pre	0.13
temp.nov	0.1	UM.aout.pre	0.14	INST.mai.pre	0.13
RR.dec	0.1	ETP.avril	0.14	ETP.mars	0.12
RR.mai.pre	0.1	RR.mai	0.14	INST.nov.pre	0.12
temp.juil	0.1	UM.sept.pre	0.13	FFM.mai	0.12
RR.dec.pre	0.09	UM.nov.pre	0.13	INST.juin.pre	0.12
FFM.dec.pre	0.09	RR.juin	0.13	RR.oct.pre	0.12
GLOT.mai.pre	0.09	temp.juin.pre	0.12	FFM.sept.pre	0.12
FFM.oct.pre	0.09	GLOT.mai	0.12	FFM.juil	0.12
ETP.sept.pre	0.08	GLOT.dec	0.11	UM.jan	0.12
RR.juil.pre	0.08	temp.oct.pre	0.11	temp.juin.pre	0.11
FFM.sept	0.08	temp.sept.pre	0.11	ETP.avril.pre	0.11
temp.aout	0.08	ETP.oct.pre	0.11	temp.oct.pre	0.11
FFM.jan	0.08	UM.juin.pre	0.11	ETP.nov	0.11
FFM.avril	0.07	GLOT.aout	0.1	ETP.juil	0.11
temp.nov.pre	0.07	temp.nov.pre	0.1	UM.avril.pre	0.11
ETP.juin.pre	0.07	ETP.mars	0.1	RR.dec	0.11
UM.sept	0.06	ETP.nov	0.1	UM.juin	0.1
FFM.juil.pre	0.06	ETP.aout	0.1	UM.nov	0.1
temp.avril	0.06	RR.dec.pre	0.09	INST.jan	0.1
UM.aout	0.05	RR.jan	0.09	temp.fev	0.1
UM.oct	0.05	RR.nov	0.09	RR.juil	0.1
RR.sept	0.04	UM.mai.pre	0.08	temp.nov	0.09
ETP.aout	0.04	UM.jan	0.08	RR.sept.pre	0.08
RR.aout	0.04	RR.dec	0.08	UM.juil	0.08
temp.jan	0.04	ETP.oct	0.08	RR.dec.pre	0.08
UM.dec.pre	0.04	UM.sept	0.08	UM.oct.pre	0.08
FFM.oct	0.04	UM.juin	0.08	FFM.mars	0.08
GLOT.nov.pre	0.04	UM.mars	0.07	RR.avril	0.07
GLOT.oct	0.03	temp.juil.pre	0.07	INST.fev	0.07

ETP.juil	0.03	GLOT.mars	0.07	FFM.juin.pre	0.06
temp.aout.pre	0.03	GLOT.jan	0.06	UM.avril	0.06
GLOT.sept	0.03	temp.mai	0.06	temp.avril	0.06
GLOT.mai	0.03	GLOT.nov	0.05	RR.sept	0.05
FFM.juin.pre	0.03	ETP.fev	0.05	UM.oct	0.05
RR.nov	0.03	GLOT.dec.pre	0.04	RR.mars	0.05
UM.sept.pre	0.03	UM.aout	0.04	UM.sept	0.05
UM.nov.pre	0.02	GLOT.sept	0.04	INST.aout	0.05
UM.mai.pre	0.02	UM.dec	0.04	INST.juil	0.04
GLOT.jan	0.01	temp.oct	0.04	temp.dec.pre	0.04
RR.mai	0.01	UM.nov	0.04	temp.mars	0.03
GLOT.juin.pre	0.01	temp.juil	0.03	INST.nov	0.03
FFM.aout.pre	0.01	ETP.mai	0.03	RR.mai.pre	0.03
temp.juin.pre	0.01	RR.nov.pre	0.03	FFM.aout.pre	0.02
FFM.sept.pre	0.01	ETP.sept.pre	0.02	INST.sept	0.02
ETP.nov.pre	0.01	GLOT.juin	0.01	INST.avril	0.01
FFM.nov.pre	0.01	temp.sept	0.01	ETP.avril	0.01
UM.avril	0	RR.mars	0.01	temp.juil	0.01
ETP.avril	0	GLOT.juin.pre	0	FFM.jan	0.01
GLOT.avril	0	UM.dec.pre	0	FFM.nov.pre	0

C. Annexe 3 : Classement des variables climatiques (par ordre décroissant)
fourni par la commande VarImp appliqué à la pls

Variables Importantes de la pls					
Peyrat	VI	Saint-Saud	VI	Saint-Appo	VI
RR.aout.pre	101.96	UM.juil	1.69	INST.aout.pre	0.08
RR.juin.pre	67.08	INST.sept.pre	1.55	FFM.oct.pre	0.08
ETP.juil.pre	65.85	FFM.dec	1.4	ETP.dec	0.08
INST.avril.pre	64.06	temp.aout.pre	1.32	INST.juil.pre	0.08
UM.avril.pre	62.93	RR.avril.pre	1.26	ETP.juil.pre	0.07
RR.mars	57.62	FFM.sept.pre	1.24	UM.dec	0.07
FFM.jan	57.34	ETP.dec	1.15	temp.jan	0.07
FFM.juil.pre	56.39	FFM.mars	1.15	temp.juil.pre	0.07
RR.avril.pre	46.08	UM.sept.pre	1.09	RR.aout.pre	0.06
INST.oct.pre	43.97	FFM.avril.pre	1.08	temp.sept.pre	0.06
ETP.jan	43.02	temp.mai.pre	1.02	INST.dec	0.06
INST.dec	40.7	ETP.jan	0.92	ETP.aout.pre	0.06
UM.juil.pre	40.69	FFM.jan	0.89	RR.jan	0.06
temp.oct	40.28	RR.juil.pre	0.82	FFM.aout	0.06
FFM.fev	39.65	ETP.sept	0.81	FFM.juin	0.06
RR.nov.pre	38.23	ETP.fev	0.79	FFM.juin.pre	0.06
UM.mai.pre	36.25	INST.juil	0.79	FFM.dec.pre	0.06
FFM.aout.pre	30.15	RR.dec.pre	0.76	UM.aout.pre	0.06
temp.nov.pre	29.78	INST.avril.pre	0.75	temp.dec	0.05

UM.nov	29.48	UM.fev	0.75	UM.juil.pre	0.05
FFM.mars	29.15	FFM.avril	0.75	ETP.sept.pre	0.05
UM.oct.pre	28.92	RR.juin	0.74	temp.mai	0.05
RR.juil.pre	28.67	RR.jan	0.73	INST.juin	0.05
INST.sept.pre	26.66	ETP.avril.pre	0.72	UM.fev	0.05
temp.avril	25.58	UM.dec	0.7	temp.sept	0.05
temp.dec	25.57	RR.nov	0.68	ETP.mai	0.05
INST.oct	25.55	UM.juil.pre	0.65	RR.mai	0.05
INST.dec.pre	25.54	RR.mars	0.65	RR.oct	0.05
RR.dec.pre	25.23	UM.avril.pre	0.64	RR.juil.pre	0.05
UM.fev	24.34	temp.nov.pre	0.64	UM.sept.pre	0.05
UM.nov.pre	24.27	FFM.juin	0.58	FFM.dec	0.05
ETP.sept	23.44	FFM.juin.pre	0.58	FFM.avril	0.05
ETP.aout	23.13	temp.dec	0.58	temp.juin	0.05
FFM.juin	22.62	temp.mai	0.53	ETP.fev	0.05
FFM.juin.pre	22.62	INST.dec	0.52	ETP.nov.pre	0.04
INST.mai	22.47	FFM.mai.pre	0.5	RR.juin.pre	0.04
UM.jan	22.41	FFM.juil	0.47	FFM.sept	0.04
FFM.avril.pre	22.08	INST.aout.pre	0.45	RR.nov.pre	0.04
UM.dec.pre	21.16	RR.juil	0.45	UM.mai	0.04
temp.sept.pre	20.53	RR.mai	0.45	INST.oct.pre	0.04
INST.juin.pre	20.04	UM.nov	0.44	INST.mai	0.04
ETP.oct	19.58	RR.aout	0.44	FFM.juil.pre	0.04
FFM.nov	19.39	INST.juin.pre	0.4	UM.nov.pre	0.04
ETP.nov.pre	19.36	RR.aout.pre	0.4	temp.oct	0.04
INST.mars	19.22	FFM.nov.pre	0.4	temp.mai.pre	0.04
INST.aout	19.19	ETP.dec.pre	0.38	temp.aout	0.04
ETP.fev	18.65	ETP.oct.pre	0.37	UM.mai.pre	0.04
ETP.aout.pre	18.59	INST.sept	0.36	ETP.jan	0.04
temp.fev	18.51	ETP.nov	0.35	INST.oct	0.04
RR.sept	18.31	temp.avril	0.33	temp.nov.pre	0.04
temp.dec.pre	17.57	ETP.oct	0.32	UM.aout	0.04
temp.mars	17.46	INST.fev	0.32	temp.aout.pre	0.04
UM.juil	17.32	ETP.aout.pre	0.31	ETP.juin.pre	0.04
temp.sept	16.7	ETP.sept.pre	0.31	ETP.sept	0.04
INST.juil	16.46	temp.dec.pre	0.31	temp.avril.pre	0.03
UM.avril	16.02	FFM.sept	0.31	RR.aout	0.03
UM.juin.pre	15.9	RR.fev	0.31	UM.mars	0.03
FFM.sept	15.63	INST.jan	0.31	UM.juin.pre	0.03
ETP.mai	15.47	UM.mai	0.31	ETP.dec.pre	0.03
temp.juin.pre	14.59	INST.mai.pre	0.3	ETP.aout	0.03
FFM.dec	14.45	RR.dec	0.29	RR.nov	0.03
INST.avril	14.23	temp.juil	0.29	FFM.oct	0.03
RR.oct	13.75	INST.nov.pre	0.28	FFM.mai.pre	0.03
temp.mai.pre	13.58	temp.oct	0.28	INST.dec.pre	0.03

UM.oct	13.16	ETP.mai.pre	0.28	temp.fev	0.03
ETP.juin.pre	12.88	RR.sept	0.28	UM.jan	0.03
ETP.juil	12.58	temp.juil.pre	0.27	INST.sept.pre	0.03
UM.dec	11.62	FFM.aout	0.27	ETP.mai.pre	0.03
INST.jan	11.34	INST.dec.pre	0.25	UM.dec.pre	0.03
UM.aout.pre	11.15	ETP.juil	0.24	RR.fev	0.03
ETP.avril.pre	10.53	INST.nov	0.24	RR.dec	0.03
ETP.avril	10.27	FFM.dec.pre	0.24	INST.mars	0.03
temp.nov	10.19	UM.dec.pre	0.23	FFM.nov	0.03
INST.nov.pre	10.12	ETP.mars	0.22	FFM.sept.pre	0.03
FFM.nov.pre	10.1	INST.mars	0.22	RR.juin	0.03
RR.aout	9.83	INST.juin	0.21	ETP.juin	0.03
UM.sept	9.46	RR.nov.pre	0.19	FFM.fev	0.03
ETP.oct.pre	8.74	UM.jan	0.19	INST.avril.pre	0.03
RR.jan	8.66	UM.sept	0.18	RR.avril.pre	0.03
temp.mai	8.49	ETP.aout	0.18	INST.juin.pre	0.03
ETP.dec	8.4	INST.oct.pre	0.18	INST.mai.pre	0.03
temp.juil	8.21	UM.avril	0.17	FFM.avril.pre	0.03
ETP.sept.pre	7.88	ETP.nov.pre	0.16	FFM.juil	0.03
RR.oct.pre	7.87	FFM.mai	0.16	temp.nov	0.02
FFM.mai.pre	7.68	ETP.juil.pre	0.16	INST.nov.pre	0.02
RR.mai	7.2	temp.nov	0.15	ETP.oct	0.02
INST.sept	6.83	temp.avril.pre	0.14	INST.jan	0.02
ETP.nov	6.78	INST.avril	0.14	ETP.oct.pre	0.02
FFM.dec.pre	6.69	UM.oct	0.14	ETP.nov	0.02
ETP.mars	6.63	RR.sept.pre	0.14	RR.oct.pre	0.02
temp.oct.pre	6.17	ETP.avril	0.13	temp.oct.pre	0.02
temp.juin	6.08	UM.nov.pre	0.12	UM.avril.pre	0.02
ETP.dec.pre	5.89	FFM.aout.pre	0.12	ETP.mars	0.02
INST.nov	5.69	temp.juin	0.12	ETP.juil	0.02
INST.mai.pre	5.55	INST.mai	0.12	temp.juin.pre	0.02
RR.sept.pre	5.47	RR.mai.pre	0.12	ETP.avril.pre	0.02
FFM.mai	5.39	INST.aout	0.11	UM.juin	0.02
temp.avril.pre	5.22	UM.oct.pre	0.1	FFM.mai	0.02
RR.fev	5.2	temp.fev	0.1	UM.nov	0.02
FFM.oct	4.74	FFM.juil.pre	0.1	FFM.mars	0.02
INST.juin	4.61	FFM.nov	0.09	RR.sept.pre	0.02
FFM.sept.pre	4.55	ETP.juin.pre	0.08	RR.sept	0.02
RR.juil	4.5	INST.oct	0.08	RR.dec.pre	0.02
FFM.oct.pre	4.28	FFM.fev	0.08	RR.juil	0.02
ETP.juin	3.71	UM.aout.pre	0.07	INST.aout	0.02
ETP.mai.pre	3.53	ETP.mai	0.07	UM.oct.pre	0.02
RR.nov	3.38	UM.mai.pre	0.07	RR.avril	0.02
RR.mai.pre	3.22	UM.aout	0.06	UM.sept	0.02
UM.sept.pre	3.1	temp.sept	0.06	INST.nov	0.01

INST.aout.pre	2.8	UM.mars	0.06	UM.juil	0.01
INST.juil.pre	2.57	temp.juin.pre	0.05	INST.fev	0.01
temp.jan	2.55	FFM.oct	0.05	RR.mars	0.01
UM.aout	2.53	UM.juin	0.05	temp.dec.pre	0.01
UM.juin	2.52	ETP.juin	0.05	UM.avril	0.01
UM.mars	2.35	temp.oct.pre	0.04	UM.oct	0.01
temp.juil.pre	2.28	RR.avril	0.04	temp.avril	0.01
UM.mai	2.23	temp.sept.pre	0.04	temp.mars	0.01
FFM.avril	2.15	temp.jan	0.04	INST.juil	0.01
RR.juin	2.01	RR.oct	0.02	FFM.aout.pre	0.01
RR.dec	1.95	temp.mars	0.01	FFM.jan	0.01
FFM.juil	1.56	temp.aout	0.01	RR.mai.pre	0.01
temp.aout.pre	1.54	INST.juil.pre	0.01	temp.juil	0.01
INST.fev	1.5	UM.juin.pre	0.01	INST.avril	0.01
temp.aout	0.29	RR.oct.pre	0.01	FFM.nov.pre	0.01
RR.avril	0.15	RR.juin.pre	0	INST.sept	0
FFM.aout	0.06	FFM.oct.pre	0	ETP.avril	0

D. Annexe 4 : Classement des variables climatiques selon le coefficient de corrélation avec l'axe 1 de la pls

Coeff. De corrélation pls axe1					
Peyrat	Coef	Saint-Saud	Coef	Saint-Appo	Coef
UM.fev	0,83	FFM.juin.pre	0,92	ETP.juil.pre	0,78
RR.oct.pre	0,78	FFM.juin.pre	0,9	UM.dec	0,77
temp.avril.pre	0,77	FFM.avril.pre	0,89	temp.sept.pre	0,76
RR.fev	0,75	FFM.dec	0,86	ETP.dec	0,75
temp.oct	0,75	FFM.fev	0,82	temp.jan	0,75
GLOT.oct.pre	0,68	FFM.oct	0,82	temp.juil.pre	0,74
ETP.fev	0,68	FFM.sep.pre	0,81	UM.juil.pre	0,71
UM.oct.pre	0,68	FFM.jan	0,8	INST.dec	0,7
RR.juin.pre	0,66	FFM.avril	0,79	ETP.sept.pre	0,68
GLOT.fev	0,66	FFM.sept	0,79	ETP.mai	0,67
ETP.avril.pre	0,62	FFM.dec.pre	0,78	RR.mai	0,67
RR.juil	0,62	FFM.mai	0,76	temp.mai	0,66
GLOT.juil.pre	0,62	FFM.oct.pre	0,75	ETP.jan	0,64
FFM.juin	0,61	FFM.nov	0,74	RR.juin.pre	0,59
temp.sept	0,6	FFM.juil.pre	0,7	FFM.oct.pre	0,59
ETP.juil.pre	0,6	FFM.mars	0,68	UM.mai	0,58
RR.aout.pre	0,59	FFM.juil	0,68	INST.mai	0,57
temp.juil.pre	0,59	GLOT.avril.pre	0,67	UM.nov.pre	0,57
temp.mai.pre	0,58	RR.juil	0,67	FFM.aout	0,56
GLOT.avril.pre	0,58	FFM.aout	0,67	UM.jan	0,56
GLOT.aout.pre	0,55	RR.avril.pre	0,64	ETP.nov.pre	0,56
RR.sept.pre	0,54	FFM.nov.pre	0,64	FFM.sept	0,56

UM.jan	0,53	temp.mars	0,61	UM.juin.pre	0,55
RR.nov.pre	0,5	GLOT.oct	0,6	FFM.avril	0,54
GLOT.sept.pre	0,49	FFM.aout.pre	0,6	UM.sept.pre	0,54
UM.avril.pre	0,49	GLOT.oct.pre	0,6	RR.nov.pre	0,53
FFM.aout	0,48	GLOT.sept.pre	0,6	ETP.juin.pre	0,53
ETP.nov	0,48	GLOT.fev	0,59	INST.juil.pre	0,51
RR.mars	0,48	RR.juil.pre	0,59	temp.aout	0,51
RR.avril	0,47	UM.juil.pre	0,57	RR.dec	0,5
UM.nov	0,45	FFM.mai.pre	0,57	UM.aout.pre	0,5
FFM.mai.pre	0,45	GLOT.avril	0,56	RR.aout.pre	0,49
FFM.mars	0,44	ETP.mai.pre	0,55	ETP.dec.pre	0,49
ETP.mai.pre	0,43	GLOT.juil.pre	0,54	UM.dec.pre	0,48
UM.juil.pre	0,43	ETP.dec	0,52	ETP.aout	0,47
GLOT.juin	0,42	temp.aout.pre	0,51	RR.juil.pre	0,47
FFM.dec	0,42	UM.avril.pre	0,5	ETP.aout.pre	0,47
GLOT.juil	0,41	UM.fev	0,5	UM.aout	0,46
GLOT.mars	0,41	UM.juil	0,48	temp.nov	0,46
ETP.sept	0,41	temp.mai.pre	0,48	INST.juin.pre	0,44
RR.avril.pre	0,41	ETP.avril.pre	0,48	RR.aout	0,44
temp.oct.pre	0,41	RR.avril	0,45	INST.aout.pre	0,44
ETP.juin	0,41	temp.jan	0,44	FFM.juin	0,43
ETP.oct	0,39	RR.juin.pre	0,44	INST.jan	0,43
FFM.fev	0,39	GLOT.juil	0,43	RR.oct	0,4
FFM.mai	0,38	RR.oct.pre	0,42	temp.juin	0,4
RR.mai.pre	0,38	RR.oct	0,41	INST.mars	0,39
FFM.nov	0,37	RR.mai.pre	0,41	INST.juin	0,38
temp.mai	0,37	GLOT.mai.pre	0,4	INST.nov.pre	0,38
GLOT.mai.pre	0,37	ETP.aout.pre	0,38	FFM.mai.pre	0,36
GLOT.nov	0,37	ETP.jan	0,37	ETP.nov	0,35
ETP.jan	0,37	UM.oct.pre	0,36	temp.oct.pre	0,35
ETP.dec.pre	0,37	ETP.juil.pre	0,35	temp.dec	0,35
UM.juil	0,37	ETP.juin	0,35	FFM.juil.pre	0,34
UM.aout.pre	0,36	UM.avril	0,34	INST.aout	0,33
FFM.avril	0,35	temp.avril	0,34	temp.nov.pre	0,31
RR.dec.pre	0,34	RR.fev	0,34	temp.oct	0,3
UM.juin	0,34	temp.avril.pre	0,33	UM.mars	0,3
ETP.aout.pre	0,33	temp.dec	0,32	ETP.oct.pre	0,29
GLOT.nov.pre	0,32	temp.dec.pre	0,32	FFM.mars	0,29
temp.nov	0,32	ETP.avril	0,32	FFM.nov	0,29
RR.oct	0,32	UM.oct	0,32	RR.avril.pre	0,28
GLOT.aout	0,31	GLOT.aout.pre	0,31	UM.nov	0,28
temp.aout	0,31	RR.juin	0,28	RR.sept.pre	0,28
ETP.oct.pre	0,29	RR.sept.pre	0,28	temp.juin.pre	0,27
temp.avril	0,29	RR.dec.pre	0,28	RR.fev	0,27
UM.mai	0,29	temp.aout	0,27	ETP.juin	0,27

RR.jan	0,28	temp.nov	0,27	ETP.mars	0,26
GLOT.oct	0,28	RR.jan	0,26	FFM.mai	0,26
temp.dec.pre	0,27	temp.sept.pre	0,25	INST.nov	0,25
FFM.juil	0,27	RR.sept	0,24	temp.avril.pre	0,25
UM.nov.pre	0,27	RR.aout.pre	0,24	FFM.avril.pre	0,24
UM.dec.pre	0,26	GLOT.sept	0,24	temp.dec.pre	0,24
UM.mai.pre	0,26	ETP.juil	0,23	FFM.fev	0,23
RR.juil.pre	0,26	UM.dec.pre	0,22	temp.aout.pre	0,22
GLOT.dec	0,26	temp.nov.pre	0,21	RR.juil	0,22
GLOT.sept	0,25	RR.nov	0,21	INST.oct	0,22
RR.dec	0,25	ETP.dec.pre	0,21	INST.avril.pre	0,22
temp.mars	0,24	ETP.fev	0,21	ETP.oct	0,21
temp.juin	0,24	ETP.aout	0,2	INST.oct.pre	0,21
UM.dec	0,24	temp.oct.pre	0,2	temp.fev	0,21
ETP.mai	0,24	UM.mai.pre	0,2	RR.jan	0,21
UM.mars	0,23	ETP.juin.pre	0,19	RR.mars	0,2
temp.juil	0,23	UM.aout.pre	0,19	RR.oct.pre	0,2
ETP.nov.pre	0,22	temp.oct	0,19	RR.juin	0,2
temp.sept.pre	0,22	UM.juin	0,19	temp.mai.pre	0,19
FFM.oct.pre	0,21	temp.fev	0,19	UM.juil	0,17
GLOT.avril	0,21	temp.juin	0,19	ETP.avril.pre	0,17
ETP.mars	0,21	UM.sept.pre	0,16	RR.nov	0,17
ETP.avril	0,19	UM.juin.pre	0,16	INST.sept.pre	0,17
RR.aout	0,18	ETP.sept	0,16	UM.juin	0,16
UM.avril	0,18	UM.mars	0,14	INST.mai.pre	0,16
FFM.sept	0,16	ETP.oct.pre	0,14	FFM.aout.pre	0,16
FFM.avril.pre	0,16	UM.mai	0,14	UM.mai.pre	0,15
ETP.aout	0,16	GLOT.nov.pre	0,14	ETP.mai.pre	0,14
RR.juin	0,15	UM.dec	0,14	FFM.jan	0,13
UM.aout	0,14	ETP.mars	0,13	ETP.sept	0,12
ETP.dec	0,13	ETP.nov	0,12	UM.oct.pre	0,12
temp.juin.pre	0,13	GLOT.dec	0,12	ETP.juil	0,12
RR.nov	0,12	GLOT.nov	0,11	FFM.oct	0,12
UM.oct	0,12	GLOT.mars	0,11	UM.sept	0,11
ETP.juil	0,12	RR.nov.pre	0,11	UM.avril.pre	0,11
temp.dec	0,11	temp.mai	0,1	RR.sept	0,1
temp.fev	0,11	ETP.mai	0,09	FFM.nov.pre	0,1
temp.aout.pre	0,11	UM.jan	0,08	temp.juil	0,1
FFM.sept.pre	0,09	RR.dec	0,08	UM.avril	0,09
UM.sept.pre	0,09	GLOT.jan	0,07	ETP.avril	0,09
FFM.oct	0,08	UM.nov	0,06	RR.avril	0,08
GLOT.juin.pre	0,08	GLOT.juin	0,05	INST.fev	0,08
temp.nov.pre	0,08	UM.aout	0,04	temp.avril	0,08
FFM.juil.pre	0,08	UM.sept	0,03	FFM.juil	0,08
GLOT.jan	0,06	temp.juil	0,03	ETP.fev	0,07

RR.sept	0,06	RR.aout	0,03	temp.sept	0,07
UM.juin.pre	0,06	RR.mars	0,03	UM.oct	0,07
RR.mai	0,06	GLOT.juin.pre	0,02	INST.avril	0,06
FFM.aout.pre	0,05	GLOT.mai	0,02	UM.fev	0,05
temp.jan	0,05	RR.mai	0,02	temp.mars	0,05
UM.sept	0,04	temp.juin.pre	0,02	INST.juil	0,05
GLOT.mai	0,03	GLOT.aout	0,02	FFM.dec	0,04
FFM.jan	0,02	UM.nov.pre	0,02	FFM.dec.pre	0,04
FFM.juin.pre	0,02	ETP.sept.pre	0,02	RR.dec.pre	0,04
ETP.sept.pre	0,02	temp.sept	0,02	FFM.juin.pre	0,03
ETP.juin.pre	0,01	ETP.oct	0,01	RR.mai.pre	0,02
FFM.nov.pre	0,01	temp.juil.pre	0,01	INST.sept	0,01
FFM.dec.pre	0,01	ETP.nov.pre	0,01	FFM.sept.pre	0,01