



HAL
open science

Datation des schorres de la pointe d'Arçay par analyse cartographique et dendrochronologique

Louis Mesona

► **To cite this version:**

Louis Mesona. Datation des schorres de la pointe d'Arçay par analyse cartographique et dendrochronologique. Géographie. 2018. dumas-01839961

HAL Id: dumas-01839961

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01839961>

Submitted on 16 Jul 2018

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.



Mémoire de stage de Master 2, mention « Géographie, Aménagement, Environnement, Développement » (GAED) de l'Université Grenoble Alpes (UGA)

Parcours : GEOgraphie Information Interface Durabilité Environnements (GEOÏDES)

Datation des schorres de la pointe d'Arçay par analyse cartographique et dendrochronologique

Rédigé par Louis Mesona

Soutenu le 5 juillet 2018

Direction :

- Laurent GODET, Chargé de recherche (HDR), CNRS, UMR LETG, Nantes
- Armelle DECAULNE, Chargée de recherche (HDR), CNRS, UMR LETG, Nantes

Tuteur pédagogique :

- Philippe SCHOENEICH, Professeur, Université Grenoble Alpes

Organisme d'accueil :

UMR 6554 Littoral - Environnement - Télédétection - Géomatique (LETG)



UNIVERSITÉ DE NANTES

Sommaire

Remerciements

Introduction

Matériel et méthodes

Résultats

Discussion

Conclusion

Références bibliographiques

Table des figures

Table des tableaux

Table des matières

Remerciements

Je souhaite tout d'abord remercier l'Observatoire des Sciences de l'Univers de Nantes Atlantique (OSUNA) pour le financement pour cette étude. J'aimerais particulièrement remercier la secrétaire Régine Bonnin, pour son aide administrative dans la mise en place du stage.

Je souhaite aussi remercier Sylvain Bigot, Laura Pinson et Philippe Schoeneich pour avoir accepté de me laisser soutenir « hors calendrier ».

Je remercie également Adrien Guetté, pour ses suggestions techniques mais aussi pour son soutien moral. Partager le bureau à ses côtés pendant plus de 3 mois fut un réel privilège.

J'aimerai également remercier Armelle Decaulne, pour son aide et son analyse, notamment pour la partie dédiée à l'étude dendrochronologique. Je la remercie également pour sa rigueur et pour les diverses discussions que nous avons eues durant ce stage, toujours exigeantes mais pertinentes.

Je tiens également à remercier Laurent Godet, pour sa patience, ses diverses corrections, et sa bonne humeur. Le temps passé à ses côtés fut extrêmement formateur et constructif, l'enseignement que j'en tire dépasse bien largement l'aspect pédagogique.

Introduction

Le littoral est un espace à enjeux écologiques très importants en France (Lopez, 2009). Avec 5853 km de côtes en France métropolitaine, notre pays possède une des façades maritimes les plus longues au monde (SHOM, 1999). Le littoral correspond par définition à un écotone, puisqu'il s'agit d'une interface entre les milieux terrestre et marin. Les zones humides littorales, qui correspondent à des milieux où l'eau est stagnante ou courante, douce ou salée, sont d'une importance cruciale pour la régulation de l'eau et pour le maintien de la biodiversité (Conservatoire du Littoral, 2014). Or, ces milieux sont menacés car fortement aménagés par l'homme. En effet, l'urbanisation, la pêche, l'aquaculture, le tourisme ainsi que les différentes pollutions maritimes (Bromberg-Gédan *et al.*, 2009) représentent des pressions qui perturbent ces habitats. Ainsi, il est question d'un espace possédant des enjeux indiscutables, notamment face à l'emprise constante des activités humaines (Halpern *et al.*, 2015), mais aussi face aux changements climatiques auxquels nous faisons face (Lefeuvre *et al.*, 2003). Afin de protéger la biodiversité associée à ces milieux, des conventions internationales ont été signées, comme la convention Ramsar en 1971, qui a pour objectif de protéger les zones humides. Etant située entre la terre et la mer, une partie des zones humides littorales est en permanence sous l'influence de la marée : on parle de zones intertidales ou d'estran. Deux espaces se distinguent selon la bathymétrie : (i) d'un côté les espaces du haut-estran, végétalisés, nommés « schorres » ; (ii) d'un autre côté, entièrement sujettes à la marée car situées plus bas dans l'estran, les « slikkes », dépourvues de végétation. Les schorres, ou prés-salés, sont des espaces colonisés par une végétation halophile, tolérante au sel. Parmi cette végétation, nous pouvons citer la Puccinellie maritime (*Puccinellia maritima*), l'Obione faux-pourpier (*Atriplex portulacoides*) ou bien *Suaeda vera*, dite Soude ligneuse. Ces milieux sont d'excellents modèles d'études car ils disposent d'une dynamique très rapide conditionnée par des facteurs naturels et anthropiques : naturellement, la végétation possède un rôle prépondérant dans la dynamique de ce milieu en freinant ou favorisant l'érosion, tout comme la sédimentation (Verger 1968). Artificiellement, ces milieux connaissent des poldérisations importantes. A l'échelle planétaire, Prigent *et al.*, 2012 ont montré un déclin de la surface des zones humides littorales à hauteur de 6% en seulement 15 ans. En France, la tendance est similaire avec des pertes estimées pour ces mêmes milieux passant de 3 132 hectares en 1705 à 1 042 hectares en 2010 dans la baie de l'Aiguillon (Godet *et al.*, 2015). De façon similaire, 2 800 hectares (sur un total de 4 000) ont été perdus entre 1856 et 1934 dans la baie du Mont-Saint-Michel (Bouchard *et al.*, 1995) due à la poldérisation gagnant essentiellement sur le domaine intertidal, incluant les plus vastes schorres du littoral français. Ainsi, les taches de schorre les plus anciennes, qui n'ont donc pas été détruites par l'homme, restent rares et localisées. Or, les secteurs de schorres les plus anciens abritent des communautés végétales et animales tout à fait originales (Guetté *et al.*, 2016). Il devient donc essentiel de mettre en

place une méthode de datation des schorres permettant d'identifier les taches de cet habitat les plus anciennes, qui ont une très forte valeur conservatoire (Guetté *et al.*, 2016).

Ce stage se déroule au sein de l'Unité Mixte de Recherche « Littoral - Environnement - Télédétection – Géomatique » (LETG), laboratoire multi-sites (Rennes, Angers, Nantes, Brest, Caen et Dinard). Cette UMR, créée en 1996, est spécialisée en géographie de l'environnement, et étudie les interactions nature/société principalement sur la bande littorale. En mettant l'accent sur le fonctionnement et l'évolution des systèmes littoraux et continentaux, cette UMR s'inscrit dans les perspectives de l'Institut Ecologie et Environnement (INEE) du CNRS. Bénéficiant de nombreuses relations internationales, les différents sites de LETG contribuent au développement de différents dispositifs à travers le monde comme l'OHMI Nunavik. L'antenne de Nantes, qui m'accueille durant mon stage, est sous la co-tutelle de l'Université de Nantes, et est située sur le campus universitaire du Tertre. Cette antenne est spécialisée sur les fonctions littorales et océaniques avec un intérêt particulier porté à la morphologie du littoral, la protection environnementale et la gestion intégrée des zones côtières.

Les principales tâches qui m'ont été confiées sont :

- Travail de photo-interprétation sur les photographies aériennes du site d'étude, la pointe d'Arçay, et intégration à un SIG
- Mise en place d'une stratégie d'échantillonnage de troncs de *Suaeda vera*
- Aide à la préparation et participation à une mission de terrain durant quatre jours
- Production de cartographies des schorres et de leur ancienneté
- Analyses dendrochronologiques sur les troncs de *Suaeda vera*

Ce stage est avant tout à vocation méthodologique. De ce fait, l'objectif est de savoir si une nouvelle méthodologie peut être employée pour la datation des schorres. Sur l'exemple des schorres de la pointe d'Arçay, il s'agit de comparer deux méthodes de datation de cet habitat : 1) par photo-interprétation ; 2) par une approche dendrochronologique de la croissance de *Suaeda vera*.

Pour répondre à ces problématiques de stage, plusieurs méthodes sont employées. Premièrement, la télédétection est utilisée afin d'étudier les photographies anciennes (depuis 1945). La télédétection est comprise ici comme l'approche englobant un ensemble de techniques et méthodes permettant d'obtenir des informations concernant la surface de la terre ou des planètes à partir d'engins aéroportés (Chorowicz 1980). Parmi les différentes approches issues de la télédétection, la photo-interprétation permet quant à elle l'étude des objets photographiés et la déduction qu'on en dégage quant à leur signification (Goosen 1967). Grâce à cette dernière, une cartographie diachronique des schorres de la pointe d'Arçay est réalisée à l'aide du logiciel QGIS 2.8.1. Par la suite, à l'aide des différents outils du logiciel ArcGIS, une cartographie de l'ancienneté du schorre est réalisée. Enfin, et après établissement d'une stratégie d'échantillonnage, des échantillons de soude (*Suaeda vera*)

sont prélevés en vue de l'étude dendrochronologique. À la suite d'un découpage, séchage et ponçage des échantillons, les cernes sont comptés afin d'obtenir l'âge des différents échantillons de soudes. Pour finir, une intercalibration des deux méthodes est réalisée afin de tester si ces méthodes permettent une datation fiable des schorres.

Le mémoire s'articule en cinq parties. Nous allons dans un premier temps présenter la thématique ainsi que le territoire d'étude. Ensuite, les outils et méthodes seront détaillés, avant de passer à une présentation des résultats. Ces derniers seront ensuite discutés avant de terminer par une conclusion.

Matériels et méthodes

2.1. Présentation de la thématique et du site d'étude

2.1.1. Présentation de la thématique

Grâce aux différents documents d'archives dont nous disposons, il est possible d'observer la dynamique spatiale des schorres. En effet, certains schorres régressent, d'autres progradent, et que, dans un même secteur, certains régressent et progradent successivement (Verger 1968). En France par exemple, une étude portant sur la baie de l'Aiguillon (Godet *et al.*, 2015), montre deux phases distinctes de la cinématique du schorre. Tout d'abord, de 1705 à 1972, sa surface a été divisée par quatre, passant de 3 132 ha à seulement 806 ha ; par la suite, les auteurs observent une timide progression du schorre allant de 806 ha à 826 ha entre 1972 et 1984 puis jusqu'à 1 053 ha et 1 042 ha en 2006 et 2010. D'une manière similaire, les études réalisées dans la baie du Mont-Saint-Michel montrent un accroissement relativement constant des surfaces de schorre d'environ 9 ha par an entre 1984 et 1994 (Bouchard *et al.*, 1995). De manière générale, ces études sont effectuées grâce à la télédétection. Cependant, cette méthode présente de nombreuses limites. Tout d'abord, la télédétection se fonde sur l'étude d'images aériennes, parfois onéreuses. Ensuite, les images disponibles pour la zone d'étude couvrent des intervalles de temps irréguliers, rendant l'interprétation temporelle de l'évolution de l'objet étudié difficile. De plus, il est souvent nécessaire d'étudier des images anciennes qui peuvent être difficiles d'accès. Enfin, certains secteurs peuvent être mal couverts par des données d'images anciennes. Une seconde approche de datation peut être envisagée, en se fondant sur l'étude de la végétation présente sur les schorres. Il s'agit par exemple de la dendrochronologie. A ce jour, une seule publication fait état de la datation de deux espèces présentes dans les schorres de la mer des Wadden (Decuyper *et al.*, 2014). Notre objectif est d'utiliser la dendrochronologie sur un arbuste des schorres, la Soude vraie (*Suaeda vera*), avec, comme intention, la comparaison de ces résultats avec ceux offerts par la photo-interprétation. L'intérêt du croisement de ces deux méthodes est de tester la robustesse de

la dendrochronologie comme indicateur de datation des schorres sur un pas de temps qui est fonction de la longévité de la plante étudiée.

2.1.2. Présentation du site d'étude

La pointe d'Arçay, située sur le littoral atlantique français, fait face à l'île de Ré et donne sur le pertuis Breton, dans le sud de la Vendée (46,30° N, 1,29° O), (figure 1). Cette pointe est une zone d'étude de grand intérêt du fait de la cinématique très particulière de cette flèche qui prograde de plusieurs mètres chaque année en direction du sud-est sous forme de crochons dunaires (Poirier *et al.*, 2017). Sur cette flèche, on distingue des secteurs plantés de Pins maritime *Pinus pinaster*, de dune grise (fixée par la végétation) et de dune blanche dont nous pouvons observer la progradation sous forme de « crochons » plus ou moins mobiles car soumis aux processus d'accumulation et d'érosion. C'est entre les différents crochons de la flèche, à l'abri des houles dominantes, que se développe le schorre (figure 2).



Figure 1 : Carte de localisation générale de la pointe d'Arçay, d'après Godet et al., 2015.

La dune grise du site est reconnue comme habitat naturel qui lui a permis d'être classée comme habitat « prioritaire » au titre de la directive « Habitats ». De nombreuses études et suivis sont réalisés sur la pointe d'Arçay : nous pouvons citer le suivi des débits du Lay (par l'intermédiaire des données collectées pour le SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux)) ou bien encore le suivi mensuel des effectifs d'oiseaux d'eau (limicoles et anatidés). D'un point de vue économique, une large zone forestière est située au nord de la pointe, disposant d'un peuplement de Pin maritime de moins de 60 ans. Cet espace forestier

est classé Réserve Biologique Dirigée (RBD) ce qui signifie que l'objectif principal est la conservation et l'amélioration de la diversité des habitats, avec comme objectif secondaire la production de bois. La forêt est gérée par l'Office National des Forêts (ONF) et ses recettes concernant l'exploitation du bois ont atteint 16 900 euros depuis 2000 (Gouguet, 2010). Egalement situées au nord de la pointe d'Arçay, d'anciennes claires ostréicoles sont présentes. Le site de la pointe d'Arçay appartient en partie au Domaine Privé de l'Etat (la forêt domaniale), et au Domaine Public Maritime (DPM). Ce dernier est localisé au sud et à l'est de la pointe, le long de l'estuaire du Lay, où il est divisé en deux zones délimitées : une zone à vocation touristique (au nord-est de la pointe) et une autre à vocation naturelle, comprenant tout le sud de la pointe ainsi que les zones de slikkes bordant le Lay. Le site de la pointe d'Arçay cumule les statuts de protection, puisqu'il est classé en réserve depuis 1951 (Réserve de Chasse et de Faune Sauvage (RCFS), réserve biologique domaniale et réserve de chasse maritime). De ce fait, sa gestion est également assurée par l'Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage (ONCFS). L'arrêté préfectoral du 26 avril 1995 interdit l'accès du public à la RCFS, ce qui préserve le site face aux dégradations d'origine anthropique liées à la fréquentation qui touche les massifs dunaires de la façade atlantique.



Figure 2 : Photo de la pointe d'Arçay prise du sud-est orientée vers le nord-est. Nous pouvons observer la plage donnant sur l'océan Atlantique au premier plan ; ainsi que les différents crochons, symbole du mouvement de la pointe, entourés de slikkes et donnant sur l'estuaire du Lay, au second plan. ©Réserve de la baie de l'Aiguillon.

2.2. Description de la méthodologie : données, méthodes, et outils

2.2.1. Données photographiques

De décembre 2012 à juin 2015 les UMR CNRS M2C et CRHQ à l'université de Caen, l'UMR CNRS LIENSs à l'université de la Rochelle et l'École nationale supérieure des mines de Paris se sont associées afin de mettre en place un projet nommé « Barrières Littorales et Niveaux de Submersion » (BLiNiS). Ce projet est inscrit au programme LITEAU et a pour objectif de reconstituer les grandes étapes de construction / destruction de barrières littorales sableuses depuis le XVI^e siècle sur le littoral ouest-Cotentin et vendéen. Ce programme a acquis d'anciennes photographies aériennes de la pointe d'Arçay allant de 1945 à 2010. Par l'intermédiaire de Clément Poirier, nous avons obtenu 22 images aériennes déjà géoréférencées allant de 1945 à 2010. Les photos aériennes de 2006 et 2010 possèdent une résolution de 50 cm et nous avons récupéré celle de l'année 2016 (également géoréférencée) avec une résolution de 20 cm dans la BD-ORTHO[®] de l'IGN.

2.2.2. Cartographie du schorre

Une cartographie des schorres de la pointe d'Arçay par photo-interprétation est réalisée pour les dates suivantes : 1945 ; 1950 ; 1958 ; 1961 ; 1968 ; 1973 ; 1978 ; 1982 ; 1987 ; 1990 ; 1998 ; 2001 ; 2006 et 2016. Pour chacune de ces dates, l'emprise du schorre a été numérisée en utilisant le logiciel QGIS 2.8.1. Le travail de numérisation a été effectué à des échelles de zoom variables en fonction de la qualité des images : 1:1600 pour les années 1945, 1950 et 1958, et 1:800 pour les autres dates. Pour chaque année, le schorre, les dunes grises et blanches, ainsi que les arbres et les chenaux de marée ont été distingués. Au sein du schorre, nous avons également pu identifier et vectoriser les zones couvertes par *Suaeda vera*.

2.2.3. Cartographie de l'ancienneté du schorre

Une cartographie de l'ancienneté du schorre est réalisée en intersectant sous S.I.G les couches de schorres (incluant les zones de *Suaeda vera*) année par année. Pour cela, une union totale comprenant le schorre de chaque année est réalisée pour chaque date à l'aide de l'outil union du logiciel ArcGIS. Par la suite, nous intersectons la couche de schorre de chaque année avec l'union totale afin de n'obtenir que la portion de schorre unique pour chaque date.

2.2.4. Matériel biologique

La soude ligneuse (*Suaeda vera*) est une plante vivace, peu commune sur nos côtes (Géhu, 1979). Elle pousse sous forme de petits arbustes de 10-50 cm de haut (figure 3). Plante très tolérante au sel, elle colonise généralement la frange supérieure des schorres (Géhu, 1979). En France, son aire de distribution s'étend de l'estuaire de la Slack jusqu'au Claouey ; elle est distribuée le long du littoral atlantique, au Conquet ainsi que sur la côte est

du Cotentin dans les communes de Morsalines et Saint Vaast la Hougue (Géhu 1979) ; sa floraison a lieu de juillet à octobre.



Figure 3 : Pied vivant de *Suaeda vera* avant prélèvement. ©A. Decaulne.

2.2.5. Stratégie d'échantillonnage

Afin de procéder à l'étude dendrochronologique des soudes, il est indispensable de faire des prélèvements sur le terrain. Etant donnée la cinématique de la flèche sableuse, il est judicieux de réaliser des prélèvements en suivant la formation de crochons sableux allant du nord-ouest, vers le sud-est. Nous déterminons huit transects d'orientation ouest / est et un allant du sud vers le nord, répartis selon la progradation de la flèche, et dans les secteurs où nous avons identifié et cartographié des secteurs à *Suaeda vera* sur la photographie de 2016, la dernière dont nous disposons. Ainsi, le transect numéro 1 est situé le plus au nord-ouest de la pointe (secteurs les plus anciens de la pointe), le 9ème est quant à lui situé le plus au sud-est de la pointe (secteurs les plus récents de la pointe) (figure 4). Cinq stations de prélèvements (figure 5) sont disposées le long de chaque transect. Afin de limiter les risques de pseudo-répliques (Hurlbert 1983), les stations de chaque transect ont été espacées autant que possible, soit de 50 mètres.

Après avoir entré les coordonnées de chaque station dans un GPS, sur le terrain, nous prélevons les soudes dont le diamètre du pied est le plus important dans un rayon d'environ 10 m autour de ces coordonnées. En effet, plus le diamètre du pied est important, plus les probabilités pour que la plante soit âgée sont importantes. Nous nous assurons également que tous les pieds que nous prélevons sont vivants, afin de faciliter l'ajustement chronologique lors de l'étude dendrochronologique. Nous nous attendons à obtenir un gradient d'ancienneté allant du nord-ouest vers le sud-est.

Trois pieds supplémentaires ont été prélevés à l'extrémité de la pointe. Ces échantillons correspondent à la zone de stabilisation la plus récente, avec l'implantation végétale la plus pionnière de la pointe d'Arçay. Au total, 48 pieds de soude sont prélevés.



Figure 4 : Stratégie d'échantillonnage en vue des prélèvements de soude.

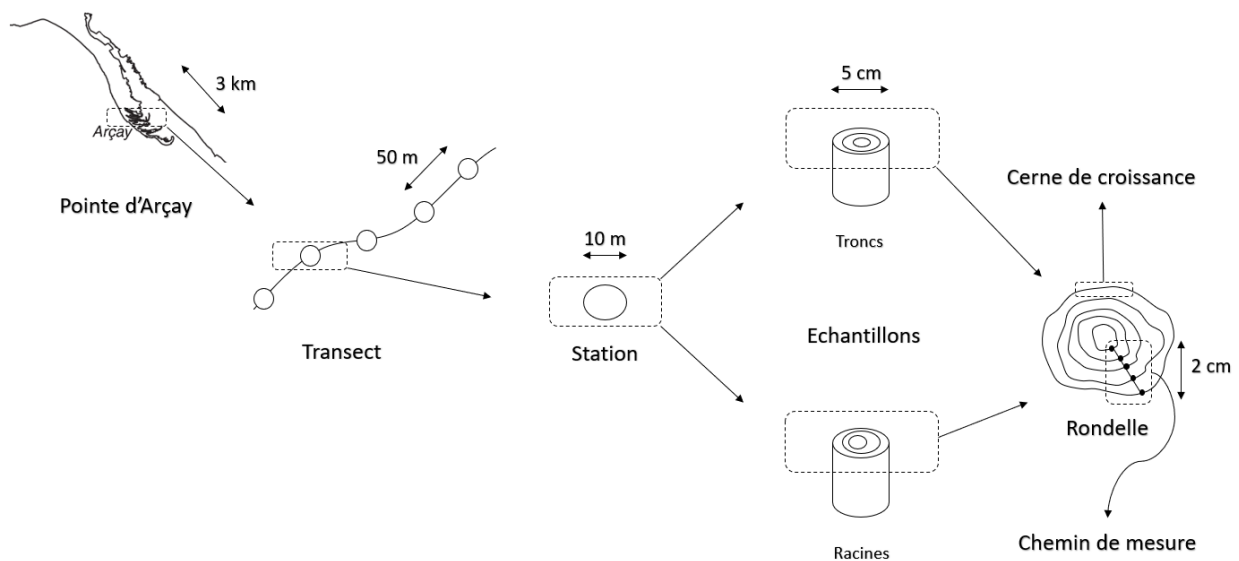


Figure 5 : Schéma explicatif des notions ainsi que des échelles abordées dans ce mémoire.

Une fois la plante sélectionnée, nous coupons les tiges afin d'élaguer le pied (figure 6) ; par la suite, nous déracinons la plante à l'aide de bèches (figure 7).



Figure 6 : Elagage des pieds de soude.



Figure 7 : Déterrement des pieds.

©A. Decaulne

Chaque prélèvement est étiqueté et placé dans un sachet individuel (figure 8). De retour du terrain, les échantillons sont nettoyés à l'eau claire puis séchés à l'air libre pendant 15 jours avant d'être découpés à la scie circulaire, puis ponçés pour permettre la lecture des échantillons et la mesure des cernes (Speer, 2010).



Figure 8 : Conservation des différents échantillons dans des sachets individuels. ©A. Decaulne.

2.2.6. Coupe des échantillons

Lorsque les échantillons sont secs, ils sont coupés en plusieurs sections à l'aide d'une scie circulaire de marque « Metabo ». Nous coupons les échantillons en choisissant les sections les plus larges. Nous prenons, lorsque cela est possible, des échantillons de troncs mais également de racine afin d'obtenir un comptage complet de l'âge du pied. Nous obtenons ainsi de 1 à 5 échantillons par pied de soude (figure 5) Une fois les échantillons coupés, ils sèchent à nouveau avant le ponçage.

2.2.7. Ponçage des échantillons

Les différentes rondelles obtenues pour chaque pied sont ensuite poncées afin de faciliter la lecture des cernes. Nous ponçons la totalité des échantillons avec une ponceuse à bandes Bosch, successivement, avec des bandes abrasives de 120, 320 puis 400 grains par cm^2 (figure 9).



Figure 9 : Ponçage des échantillons. ©A. Decaulne.

2.2.8. Lecture sous loupe binoculaire

Une fois les échantillons poncés, ils sont prêts à être analysés et les cernes à être comptés. Les échantillons posant des difficultés de lecture sont humidifiés et leur surface est redécoupée finement au scalpel. Du talc peut également être utilisé afin d'améliorer le contraste entre les cellules du bois. La lecture est réalisée grâce à une loupe binoculaire LEICA M50 placée sur un banc de comptage micrométrique LinTAB Rinntech, connecté à un ordinateur équipé du logiciel de comptage incrémentiel TSAP-Win (figure 10).

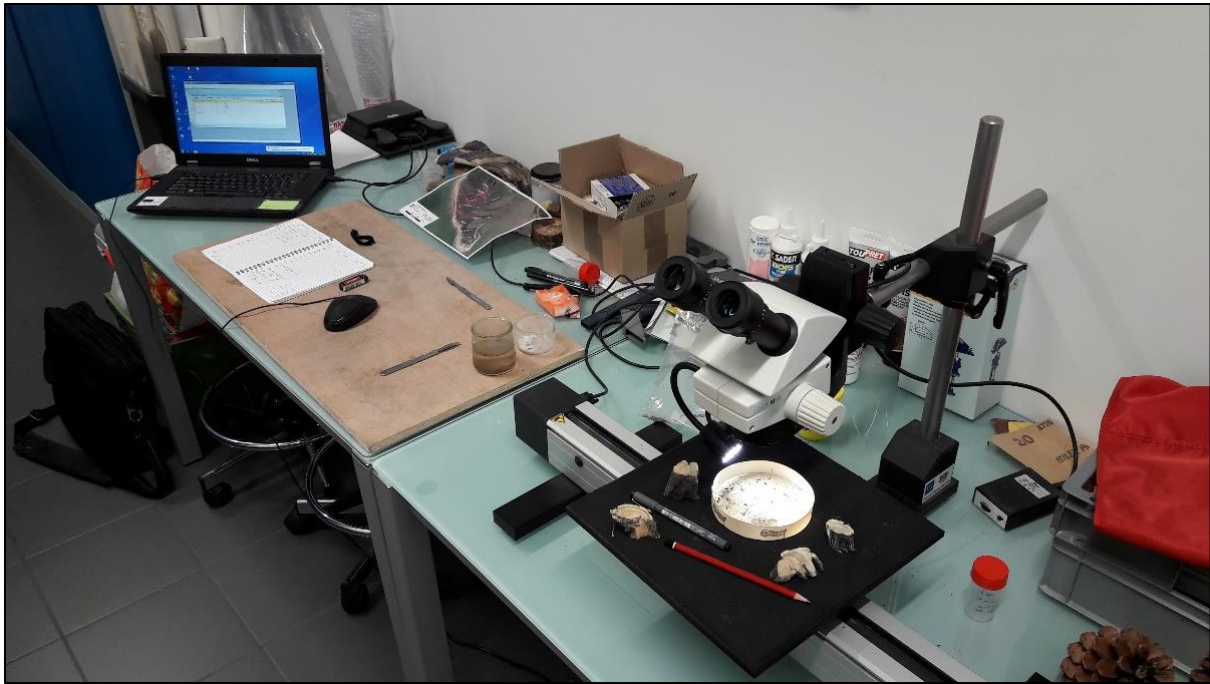


Figure 10 : Installation dédiée à l'étude dendrochronologique. Le banc micrométrique est visible au premier plan, équipé d'une loupe binoculaire, le tout étant relié à l'ordinateur disposé à gauche du plan de travail. ©L. Mesona.

Le logiciel TSAP-Win, également développé par Rinntech, permet de mesurer la largeur des cernes successifs. Le logiciel fournit un graphique instantanément en fonction des mesures, facilitant l'observation et l'analyse des séries incrémentielles produites.

La forme et la taille des échantillons peuvent varier selon la morphologie du pied de soude (figure 11). Du fait de la forme irrégulière des échantillons, il est primordial de réaliser plusieurs chemins de mesures par rondelles de soude (figure 5) afin d'obtenir une image statistiquement robuste de la croissance de chacune des rondelles mesurées. La largeur des cernes varie énormément en fonction du chemin de mesure, les soudes n'ayant pas une croissance circulaire parfaite. Nous réalisons deux à cinq chemins de mesures par rondelles, en tenant compte des nœuds, blessures, parasites ou encore départs de branche. Le cœur de l'arbuste n'est pas toujours présent sur l'échantillon (figure 12) ; sa position est extrapolée en fonction de la largeur des cernes visibles : nous avons ajouté 1 à 7 années selon son éloignement du premier cerne visible. Enfin, en vue de l'analyse dendrochronologique, nous conservons pour chaque station uniquement l'âge de l'échantillon le plus ancien.

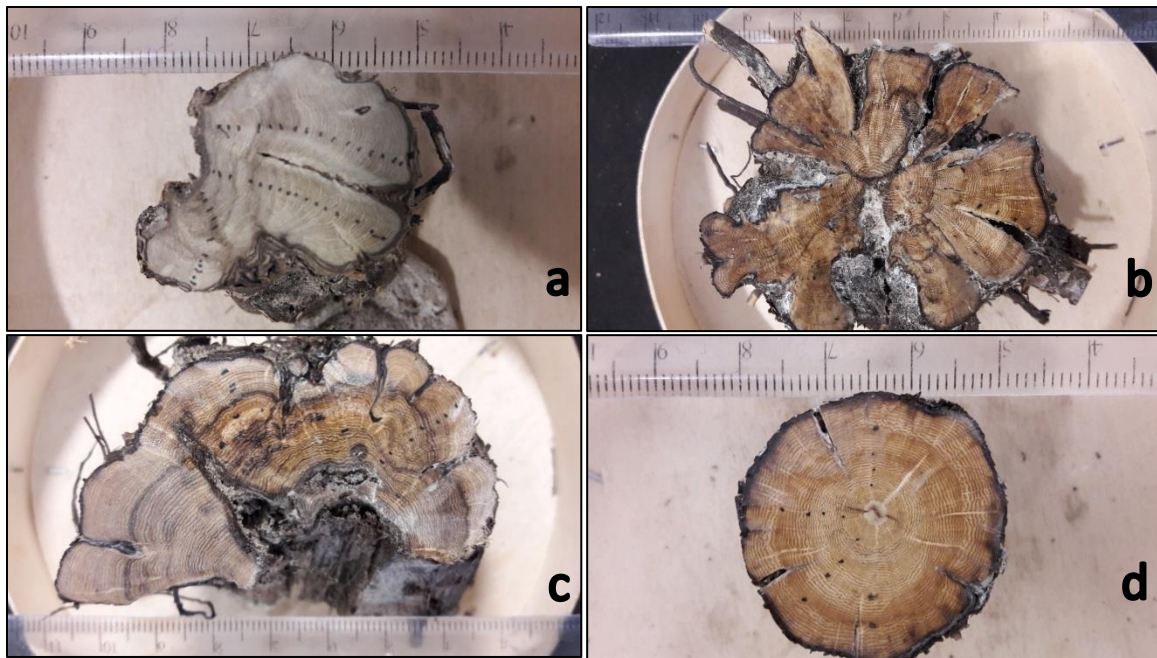


Figure 11 : Photos d'échantillons de soudes. a : tronc de la station 5 du transect B (5B). b : racine prélevée à la station 9C. c : tronc prélevé à la station 1D. d : tronc prélevé à la station 9D. Les points sur les échantillons a, c et d illustrent les limites des cernes sur différents chemins de mesure. L'échelle est fournie par la règle centimétrique. ©L. Mesona.

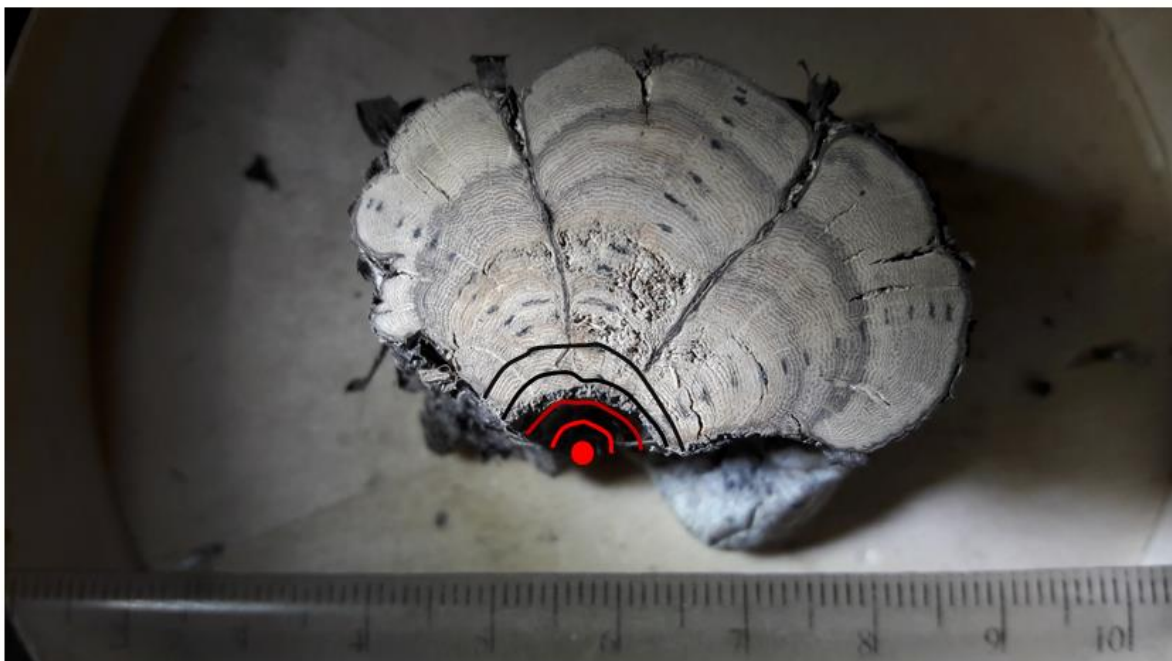


Figure 12 : Exemple de reconstitution des cernes invisibles pour une rondelle dont le cœur est absent. Les deux derniers cernes visibles sont tracés en noirs. Deux cernes non visibles peuvent être imaginés (traits rouge). Une supposition de la localisation du cœur est indiquée avec le point rouge central. Echantillon de la station 1B. L'échelle est fournie par la règle centimétrique. ©L. Mesona.

Une comparaison visuelle des courbes est d'abord réalisée pour chaque rondelle. De cette première comparaison découle l'élimination des comptages aberrants, liés à différents facteurs propres à la dendrologie : étroitesse des cernes, fusion de cernes, cernes non marqués, dépendant de la physiologie de l'arbuste et de ses contraintes de croissance (Schweingruber, 1996). Les corrélations sont testées à l'échelle de chaque rondelle, puis à l'échelle de la station. Une moyenne de croissance est alors réalisée. Enfin, la moyenne pour chaque transect est obtenue en moyennant tous les individus du transect correspondant. La mesure des largeurs des cernes de croissance des soudes est réalisée en pointant les limites de cernes au long d'un chemin de mesure qui demeure perpendiculaire à chaque cerne (figure 13). Le comptage prend fin à l'écorce de l'échantillon. Le comptage des cernes sous loupe binoculaire permet l'obtention de l'âge de chaque échantillon de soude ; les échantillons ayant été prélevés en avril 2018, le dernier cerne, au contact avec l'écorce, date de la dernière période végétative, soit 2017. La mesure des largeurs des cernes permet de connaître la croissance de l'échantillon, mettant en lumière des saisons végétatives de forte croissance ou au contraire des saisons de croissance moindre.

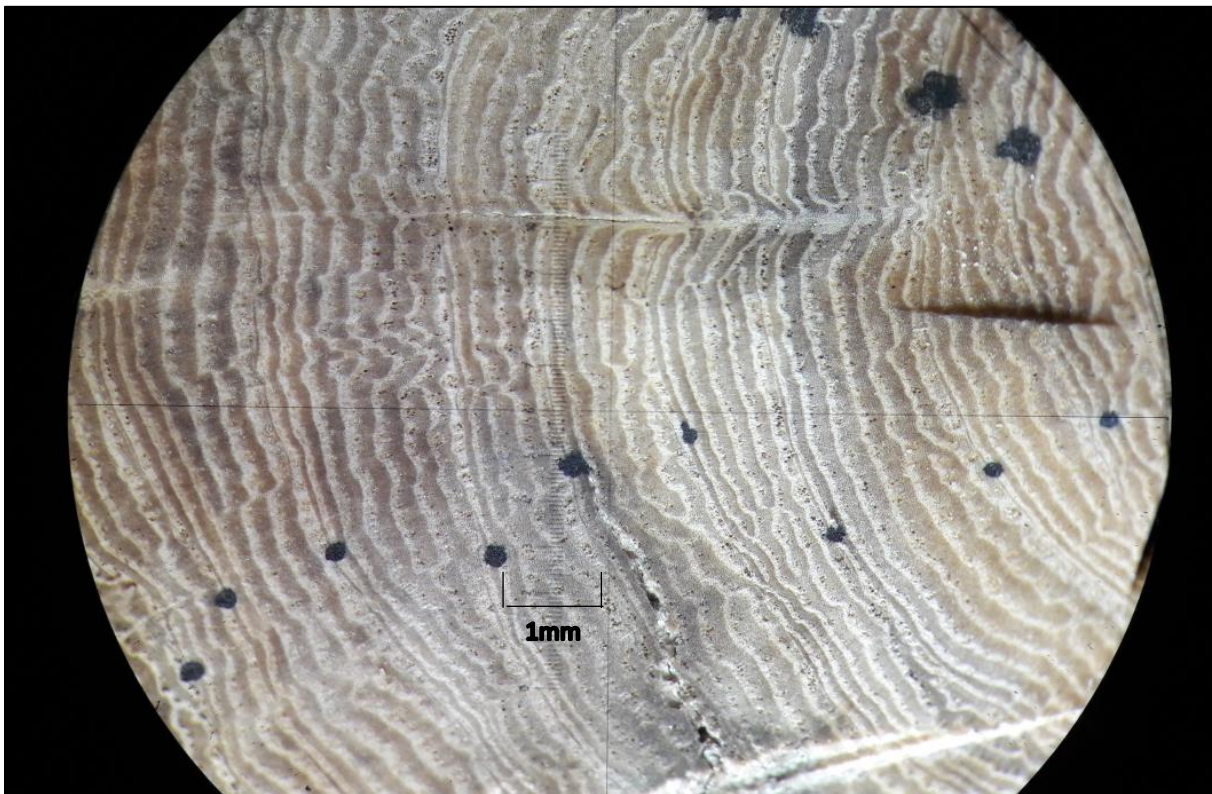


Figure 13 : Exemple de comptage de cernes sous loupe binoculaire. Rondelle prélevée à la station 5B. Les limites de cernes sont identifiées par un point noir lors de la phase d'observation qui précède la mesure et le comptage sur le banc micrométrique. ©L. Mesona.

2.2.9. Datation du schorre

A l'aide des photos aériennes anciennes, nous déduisons une période de mise en place/stabilisation du schorre pour chacune de nos stations. L'objectif est d'obtenir un âge maximum et minimum pour lequel nous observons la présence du schorre pour les 48 stations de prélèvements réparties sur nos 9 transects. Pour obtenir ceci, nous croisons sous SIG la couche de stations de prélèvements ainsi que les transects que nous avons réalisés pour notre échantillonnage, avec les photos aériennes des dates anciennes. L'âge minimum du schorre correspond à la date à partir de laquelle nous observons le transect pour la première fois. L'âge maximum du schorre correspond quant à lui à la dernière date où le transect est visible. De ce fait, si nous disposons d'un âge minimal, nous ne pouvons pas déterminer l'âge maximal du schorre pour les transects 1 et 2 car ceux-ci sont déjà présents sur les photos les plus anciennes en notre possession.

Afin de réduire l'incertitude de l'âge liée aux pas de temps parfois importants entre les dates dont nous disposons, l'âge moyen du schorre pour chaque station est calculé en moyennant l'âge maximum du schorre avec l'âge minimum du schorre préalablement obtenu pour la station.

2.2.10. Analyses statistiques

Le traitement des âges de schorre et des soudes sont soumis à des analyses statistiques. Ces analyses sont réalisées à l'aide du logiciel statistique R Studio (version 3.1.2). Aucun package n'est nécessaire. Nous calculons une régression linéaire simple pour observer la progression de la surface du schorre en fonction du temps. Cette régression est obtenue à l'aide de la fonction R `lm()`. De façon similaire, nous réalisons une régression linéaire simple de l'âge des plantes en fonction de l'âge du schorre estimé par photo-interprétation.

L'étude dendrochronologique est également soumise à des analyses statistiques. Pour tester les changements significatifs des largeurs de cernes de chaque transects, nous utilisons l'algorithme séquentiel de Rodionov. Cet algorithme possède 7 étapes de calculs avec une boucle répétée pour chaque donnée entre les étapes 4 et 7. Cet algorithme permet la détection de changements de régime au cours du temps (Rodionov, 2004). Ce programme fonctionne sous forme de macro excel disponible sur internet : <https://www.beringclimate.noaa.gov/regimes/>. Dans notre étude, nous utilisons un « target significance level » égal à 0,1 ; un « cut off length » égal à 10 et enfin un « Huber's weight parameter » de 1.

Résultats

1. Cartographie de la cinématique du schorre

Le schorre de la pointe d'Arçay prograde du nord-ouest en direction du sud-est, suivant la progradation de la flèche sableuse (figure 14). Nous pouvons également remarquer la progression sous forme de crochons se dirigeant vers l'est, en bord d'estuaire du Lay.

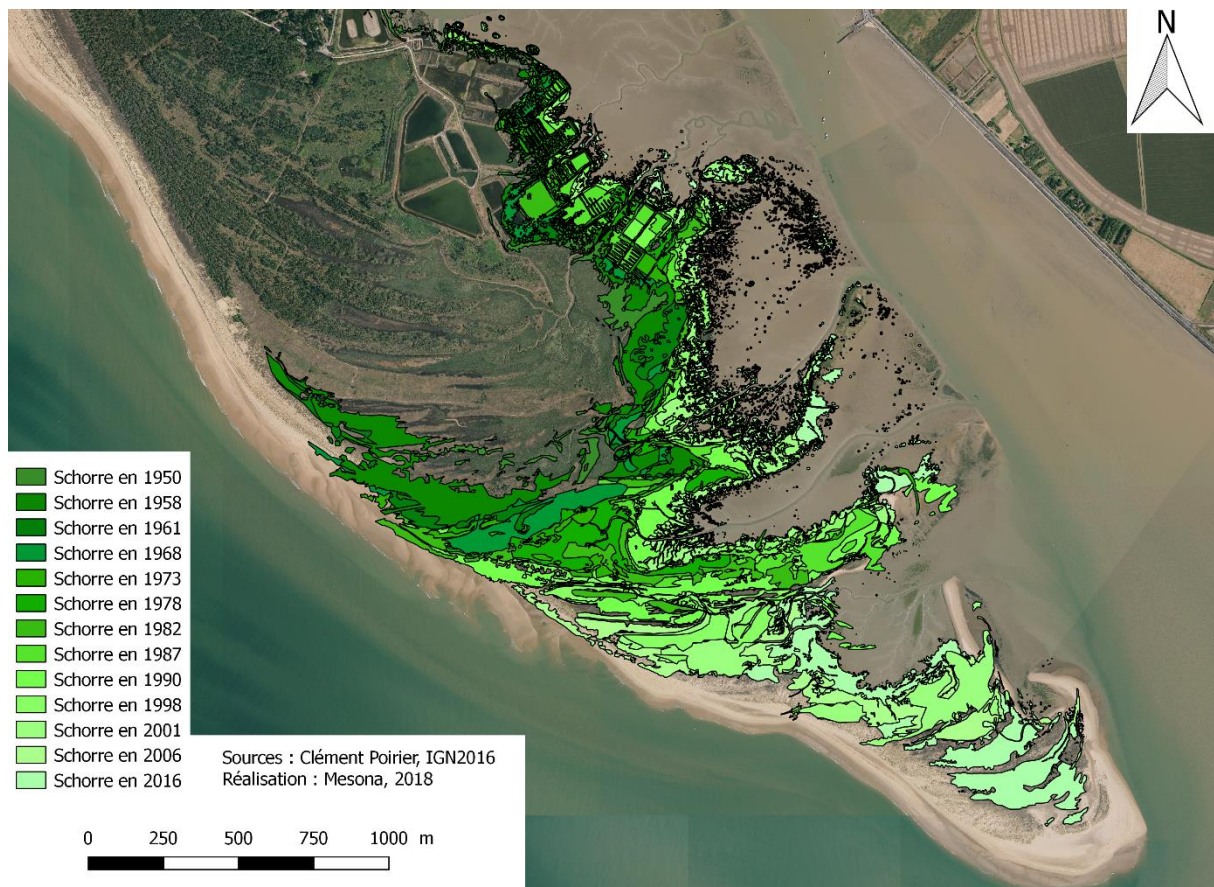


Figure 14 : Progradation du schorre de la pointe d'Arçay selon les différentes dates.

2. Progression du schorre

La cartographie diachronique montre que le schorre de la pointe d'Arçay progresse de 2,48 hectares par an en moyenne depuis 1945, passant de 94,67 ha en 1945 à 260,09 ha en 2016 (régression linéaire simple considérant la surface comme variable dépendante et l'année comme facteur : $+2,48$ ha par an $\pm 0,47$; $P = 4,35e-11$; $R^2 = 0,98$; figure 15).

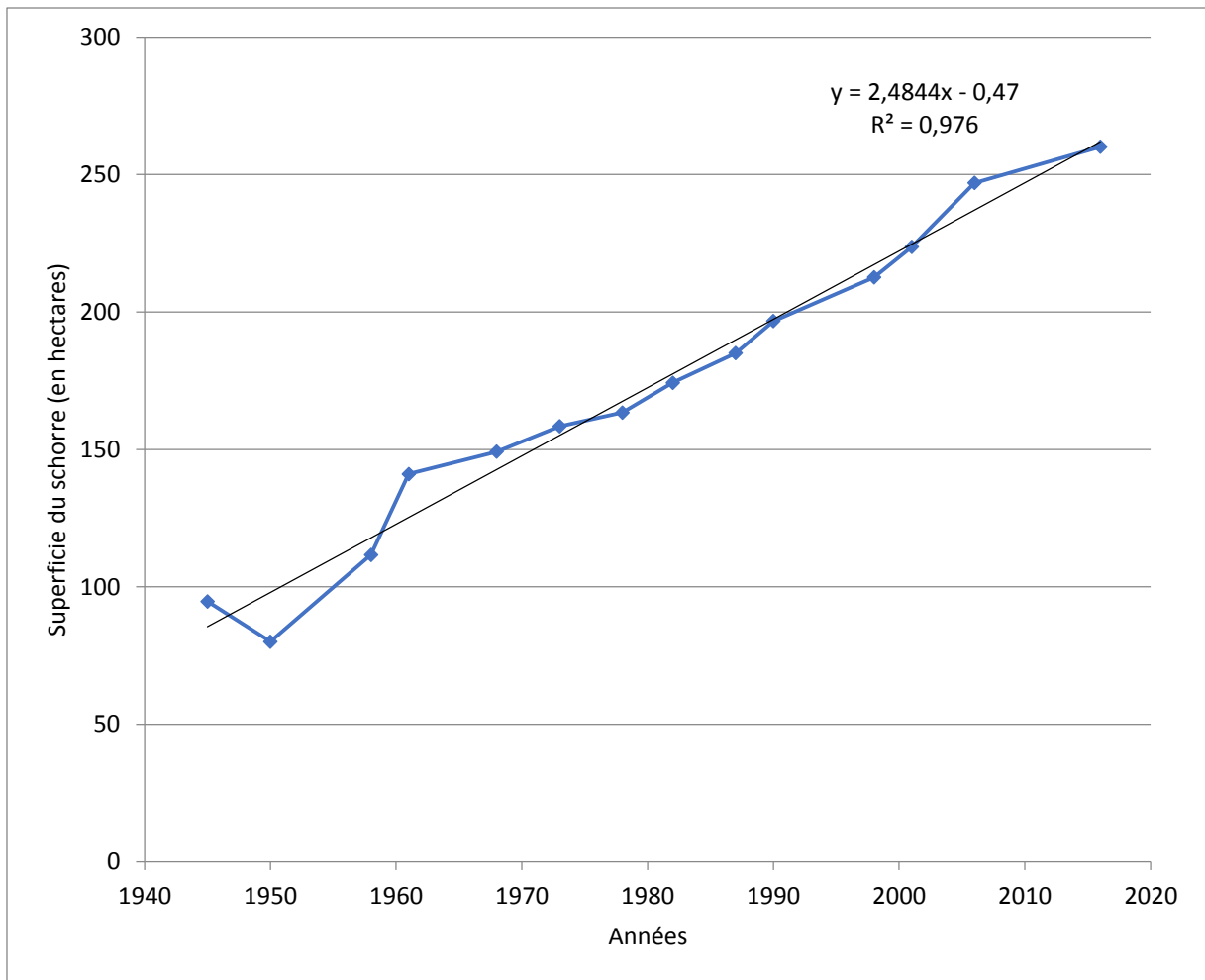


Figure 15 : Progression de la surface du schorre de la pointe d'Arçay de 1945 à 2016.

3. Etude dendrochronologique

Le comptage des cernes de chaque rondelle nous a permis d'obtenir l'âge de tous les échantillons prélevés sur la pointe d'Arçay, au niveau de la coupe (rondelle de racines et de troncs) ; ces résultats sont présentés dans le tableau 1.

L'année du premier cerne mesuré est indiquée dans la partie de tableau nommée « Visible » ; la colonne « Estimé » signale le nombre de cernes manquants pour atteindre le cœur de l'échantillon lorsque celui-ci n'est pas visible.

Tableau 1 : Nombre de cerne ainsi que la date de formation du premier cerne visible pour chaque station. Par souci de lisibilité du tableau, nous avons indiqué uniquement les résultats de la date de formation du premier cerne visible de l'échantillon le plus ancien ainsi que la partie de la plante auquel il appartient. R = racine, T = tronc. N = 3 à 22.

Station	Visible		Estimé	
	Nombre de cerne	Année du premier cerne	Ajout de cerne	Année du premier cerne
1A	T20	1998	+1	1997
1B	T15	2003		
1C	T10	2008		
1D	T15	2003	+5	1998
1E	T15	2003		
2A	T19	1999		
2B	R18	2000		
2C	T14	2004	+6	1998
2D	T10	2008	+7	2001
2E	T21	1997	+6	1991
3A	T16	2002		
3B	T17	2001		
3C	R14	2004	+2	2002
3D	R14	2004	+2	2002
3E	R7	2011	+1	2010
4A	R16	2002		
4B	R15	2002		
4C	T11	2007	+2	2005
4D	R16	2002		
4E	T16	2002		
5A	R10	2008		
5B	T22	1995		
5C	T16	2002	+2	2000
5D	R19	2000	+3	1997
5E	R11	2007		
6A	R12	2006		
6B	R6	2012		
6C	R8	2010		
6D	T8	2010		
6E	R9	2009		
7A	T7	2011		
7B	R9	2009		
7C	T10	2008		
7D	R6	2012		
7E	R9	2009		
8A	T6	2012		
8B	T8	2010		
8C	R7	2011		
8D	T12	2006		
8E	R7	2011		
9A	R7	2011		
9B	R7	2011		
9C	R6	2012		
9D	T6	2012		
9E	T7	2011		
PP1 ; 2 et 3	R2	2016		

Parmi les 48 pieds de soude analysés, le plus ancien est estimé à 27 ans (échantillon 2E) au niveau de la coupe lors de la fin de la dernière saison végétative, en novembre 2017. Les soudes les plus jeunes comptent deux cernes et correspondent aux trois pieds de la pointe méridionale (PP). Le transect 9 possède des individus très jeunes avec une moyenne d'âge pour les 5 stations de l'ordre de 7 ans.

Parmi les sept moyennes de transects analysées par l'algorithme de Rodionov, nous observons quatre années de changements distincts. Un seul pic de croissance est à noter concernant l'année 2007 pour le transect 2 (courbe *(f)*, figure 16). En effet, les valeurs de largeurs de cernes passent de 1,32 mm en 2006 à 2,03 mm en 2007. De la même manière, nous observons trois pics de décroissance, deux concernent l'année 2015 des transects 1 et 5 (courbes *(g)* et *(c)*, figure 16) avec des valeurs passant de respectivement 1,44 mm et 1,06 mm en 2014 à 1,35 mm et 0,88 mm en 2015, et un à propos de l'année 2016 du transect 4 (courbe *(d)*, figure 16) en passant de 1,27 mm en 2015 à 1,12 mm en 2016.

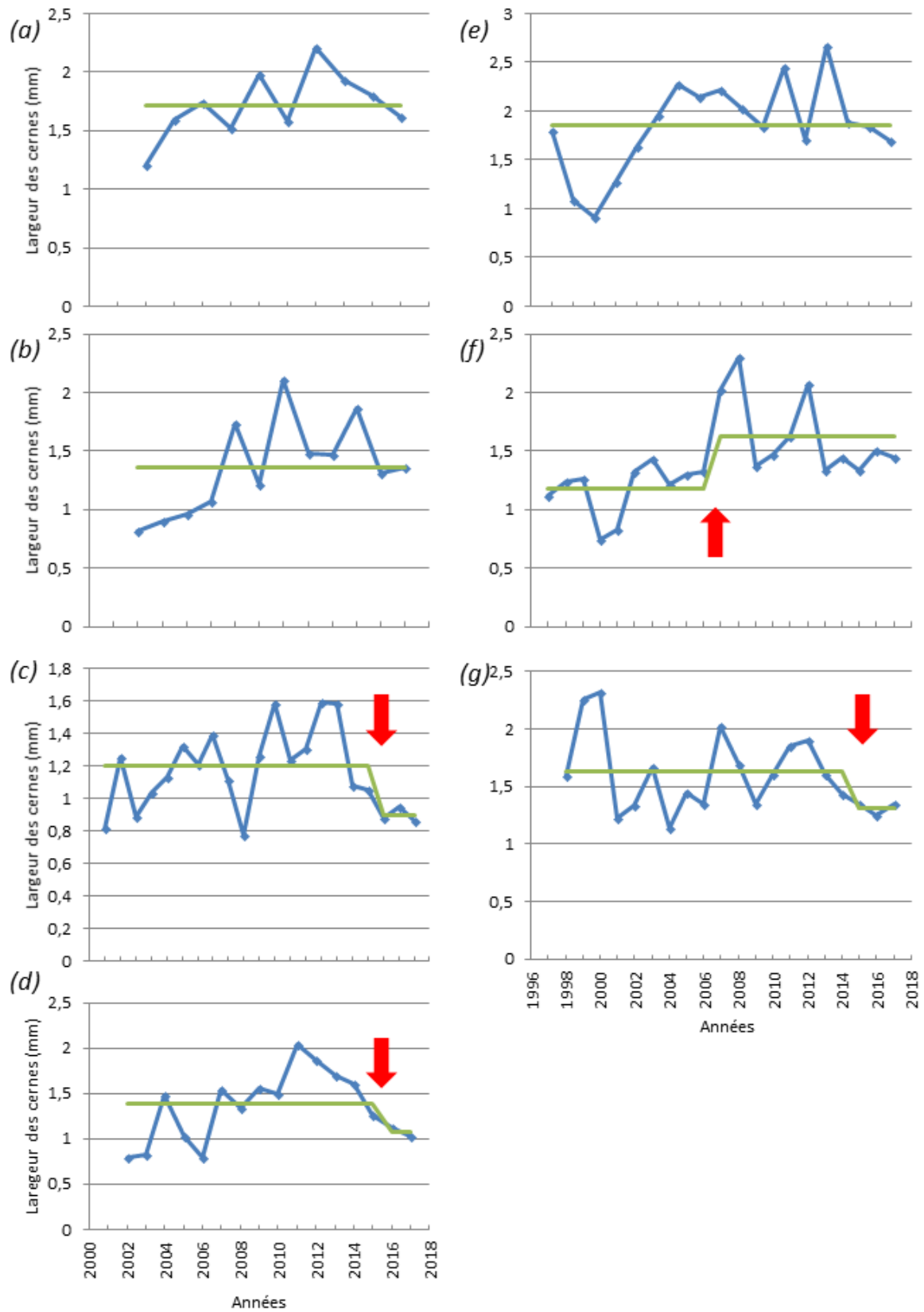


Figure 16 : Séries dendrochronologiques en bleu pour (a) : le transect 7 ; (b) : transect 6 ; (c) : transect 5 ; (d) : transect 4 ; (e) : transect 3 ; (f) : transect 2 ; (g) : transect 1. Le moment du changement est indiqué par les tests de Rodionov (courbe verte). Les flèches rouges indiquent les quatre changements de croissance.

4. Mise en relation de l'âge du schorre avec l'âge des pieds de soude

Plus l'âge du schorre estimé par photo-interprétation est élevé, plus les soudes sont âgées (régression linéaire simple considérant le nombre de cernes de croissance de la plante comme variable dépendante et l'âge du schorre estimé par photo-interprétation comme facteur : $+0,14$ ans par an $\pm 6,71$; $P = 7,64e-12$; $R^2 = 0,64$; figure 17). Les jeunes soudes dont l'âge est inférieur à 10 ans sont situées sur un schorre d'âge moyen inférieur à 18 ans. De la même façon, toutes les soudes âgées d'au moins 15 ans sont situées sur un schorre d'âge moyen de 33 ans ou plus.

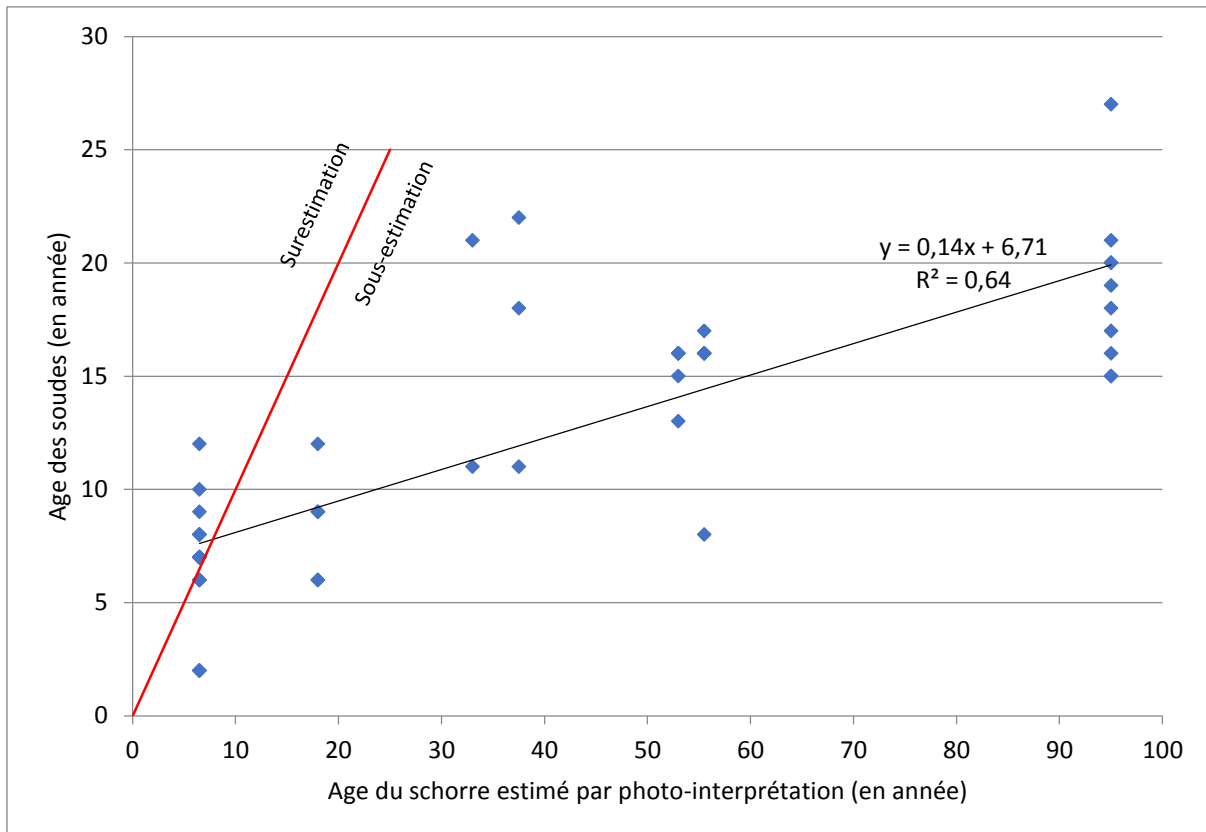


Figure 17 : Nuage de points de l'âge des pieds de soude en année en fonction de l'âge du schorre estimé par photo-interprétation en année. L'âge de l'échantillon de soude le plus ancien par station est indiqué par les carrés bleus. $N = 48$.

L'inadéquation entre nos deux méthodes, symbolisée par la droite rouge d'équation $y = x$ sur la figure 17, augmente conjointement avec l'âge du schorre estimé par la photo-interprétation. Seuls 11 échantillons ont un âge supérieur à celui du schorre estimé par le biais de la photo-interprétation. En revanche pour les autres échantillons, nous observons une sous-estimation de l'âge du schorre par l'approche dendrochronologique.

Discussion

Un schorre dynamique, en constante progradation

L'approche par photo-interprétation a montré une cinématique très rapide des schorres de la pointe d'Arçay de 1945 à 2016. Les cartographies diachroniques attestent d'une progradation du nord-ouest vers le sud-est. D'un point de vue quantitatif, le schorre progresse de 2,48 hectares par an, passant de 95 à 260 ha de 1945 à 2016. Cependant, la régression du schorre notée de 1945 (95 ha) à 1951 (80 ha) est probablement un artefact lié à une mauvaise qualité des photographies aériennes de ces années et donc à une mauvaise détection des surfaces couvertes par le schorre. La flèche n'ayant en effet jamais cessé de progresser durant cette période (Poirier *et al.*, 2017), il est peu probable qu'il en soit allé différemment concernant le schorre.

En comparaison, les travaux menés pour le projet BliNiS ont montré une élongation de la flèche sableuse de l'ordre de 23 mètres par an (Programme Liteau, 2014). La progradation du schorre de la pointe d'Arçay est en outre comparable à la progression d'autres grands schorres européens. En France tout d'abord, les travaux menés par Godet *et al.* (2015), dans l'anse de l'Aiguillon ont montré une progression du schorre égale à 7 hectares par an depuis 1961 ; de la même façon Bouchard *et al.* (1995), ont noté une progression des surfaces de schorre de la baie du Mont-Saint-Michel de l'ordre de 10 hectares par an depuis 1947. Plus largement, les travaux menés sur la côte sud de la Grande-Bretagne par Baily et Inkpen (2016), mettent également en lumière une progression rapide des schorres. Par exemple, les schorres situés à Calshot spit sont passés de 4,86 hectares en 1869 à 150,63 hectares en 1932.

La progradation des schorres est un phénomène physique naturel, dépendant de nombreux facteurs parmi lesquels nous pouvons citer la sédimentation, la distribution spatiale de la végétation pionnière ainsi que l'alternance des marées. Verger (1968), décrit trois différents types de progressions d'un schorre. Premièrement, « l'extension progressive » du schorre repose sur la sédimentation, rythmée principalement par la marée. En effet, les lasses de mer permettent la formation de talus situés en haute slikke liée à l'accumulation de vase. Les talus constituent une accentuation locale de la pente qui concentre les lasses de mer sur de petits espaces. Enfin, la végétation joue un rôle primordial dans la progression du schorre du fait de son action érosive extrêmement locale (à proximité des pieds) permettant, par le biais de la remise en suspension de particules sous l'agitation créée par la houle et le vent, la création de petites touffes nommées « touradons ». Ces touradons vont créer des zones calmes, fortement localisées, qui vont favoriser la sédimentation à plus longue échelle spatiale. De ce fait, les conditions nécessaires à l'extension progressive simple sont des secteurs abrités, disposant d'une faible érosion (les anses par exemple). Ce type de formation n'est pas sans limite puisque, lorsque

le schorre aura comblé l'anse, son extension devra alors se poursuivre dans des zones de plus en plus exposées aux vagues et à la houle, et donc de moins en moins favorables à ce type de formation. La seconde limite consiste au ralentissement de la progradation au fur et à mesure que la superficie du schorre augmente du fait de l'augmentation du volume d'eau de submersion. Effectivement, plus le volume d'eau de submersion, lors des très fortes marées, s'accroît, plus la vitesse du courant devient grande, ce qui aura pour conséquence l'érosion des sédiments par l'arrachage des plantes pionnières. Le deuxième type, nommé « érosion latérale », est une dynamique particulière se produisant uniquement sur des schorres dont le talus est absent. Ces schorres disposent alors d'une micro-falaise qui tend à reculer par sapement de la base. Enfin, le troisième type de dynamique dite « extension par vagues rétrogressives » est plus complexe car il est possible d'observer, selon la stabilité de la petite falaise, aussi bien une progradation qu'une régression du schorre. En effet, soit la falaise s'écroule face au travail d'érosion des vagues et laisse ainsi le schorre progresser, soit la falaise résiste, et empêche ainsi la progression du schorre. La progradation des schorres est également impactée par le climat comme Allard *et al.* (2008) l'ont montré en étudiant la relation entre le climat et la progression de la pointe d'Arçay : la sédimentation est liée aux variations du transport sédimentaire côtier, lui-même modulé principalement par la hauteur des vagues. La pointe d'Arçay avance en suivant trois phases distinctes depuis 1800, tout d'abord de 1811 à 1824, puis de 1909 à 1923 et enfin de 1984 à 1994 (Poirier *et al.*, 2017). Ces trois périodes de progradations sont corrélées aux éruptions volcaniques, à une oscillation nord-atlantique positive et une oscillation est-atlantique ouest-Russie négative (Poirier *et al.*, 2017). En somme, la progradation du schorre de la pointe d'Arçay est complexe et issue de deux phénomènes. Nous observons tout d'abord une progradation de la flèche sableuse par phase en fonction du climat et symbolisée par les crochons. Ensuite, le schorre se développe entre ces crochons et prograde par extension progressive simple au fur et à mesure que la flèche sableuse avance.

Des soudes peu longévives

Schweingruber et Landolt (2010), énoncent dans la « Xylem Database », que *Suaeda vera* possède des cernes indiscernables. Dans notre étude, nous montrons pourtant la présence évidente de cernes annuels, permettant à *Suaeda vera* d'être datée par les mesures dendrochronologique. Les soudes observées par Schweingruber et Landolt (2010) ont été prélevées aux Baléares ; ces îles possédant un climat méditerranéen, les saisons sont faiblement marquées, ce qui ne permet pas la formation de cernes annuels. En revanche, la pointe d'Arçay jouit d'un climat océanique alternant entre été doux et hivers frais, ce qui permet l'observation de cernes de croissance annuels. L'étude dendrochronologique montre que, parmi les 48 pieds de soude prélevés, aucun d'entre eux n'a plus de 27 ans. De plus, les soudes prélevées dans les portions de schorres les plus anciennes ont toutes environ 20 ans. Ce résultat valide notre hypothèse initiale puisque les soudes sont plus jeunes à mesure que l'on se dirige vers la pointe. Du fait du manque de références dans la bibliographie scientifique sur le sujet, nous ne pouvons émettre que certaines hypothèses concernant

l'espérance de vie limitée des soudes : la pointe d'Arçay étant sujette aux tempêtes, il est possible qu'un apport constant de sédiment puisse être un stress suffisamment important pour provoquer la mort des individus passé un certain âge. Par ailleurs, la longueur des pousses annuelles, le dessèchement progressif de rameaux puis de branches (Nageleisen, 1993), la compétition interspécifique et l'allocation des réserves aux branches latérales (Decuyper *et al.*, 2014) peuvent être des causes de sénescence chez la soude. Nous observons, sur la pointe d'Arçay, un renouvellement des plantes, surtout concernant les pieds prélevés dans les transects 1 ; 2 ; 3 ; 4 et 5 où l'on suppose être en présence d'une deuxième voire troisième génération pour les transects 1 et 2. Des travaux menés par Decuyper *et al.*, (2014) présentent des résultats dendrochronologique similaires menés sur d'autres espèces végétales du schorre. Il s'agit des espèces *Atriplex portulacoides* et *Artemisia maritima*. Les résultats de cette étude montrent un âge maximal des individus de l'ordre de 8 ans et 14 ans respectivement pour l'Armoise maritime (*Artemisia maritima*) et l'Obione faux-pourpier (*Atriplex portulacoides*).

Par ailleurs, les séries dendrochronologiques observées à la suite du comptage des cernes de soude permettent de distinguer des phases de croissance plus ou moins fortes concernant les différents échantillons. En revanche, nous ne distinguons pas d'années communes de croissance plus ou moins forte entre les échantillons. L'algorithme de Rodionov a permis d'observer quatre changements de croissance depuis 1997. Il serait intéressant d'étudier les phénomènes climatiques et écologiques produit en 2015 afin d'analyser les deux chutes de croissance observées avant cette année. En effet, la dimension du tronc peut varier au cours d'une année et d'un individu à un autre. La variation de la taille du tronc reflète la croissance de l'arbre ; c'est-à-dire qu'il s'agit de la période au cours de laquelle de nouvelles cellules sont produites et s'élargissent (Deslauriers *et al.*, 2006). La largeur de cerne transcrit donc l'état physiologique de l'arbuste pour une année. A travers l'étude des séries dendrochronologiques, il est alors possible de dégager des années références pour lesquelles nous observons une forte ou faible croissance des individus. Les séries dendrochronologiques étant considérées comme des archives d'évènements météorologiques ou écologiques du passé (Deslauriers *et al.*, 2007), leurs comparaisons permettent la compréhension des évènements passés. Dans notre étude, les résultats issus des tests de Rodionov tendent à privilégier l'hypothèse de patrons de croissance propres à chaque individu plutôt qu'à la population de soudes de l'ensemble de la pointe. Ainsi, nous observons l'apparition d'effets de site signifiant que chaque individu subit des contraintes environnementales telles que l'eau, les nutriments ou l'énergie solaire qui lui sont propres (Stokes et Smiley, 1996).

La dendrochronologie, une méthode pertinente pour dater des schorres récents

Enfin, la comparaison des résultats de nos deux indicateurs montre que la dendrochronologie n'est pas appropriée pour la datation des vieux schorres du fait de la

durée de vie limitée des soudes. En revanche, cette méthode est pertinente pour la datation de schorres de moins de 20 ans car cette approche permet la datation avec une précision à l'année près. Malgré cela, la présence d'une soude à une année précise ne garantit pas non plus avec certitude l'âge du schorre. Les pieds situés à la pointe montrent que contrairement à ce que Dupont (2001) avance, *Suaeda vera* n'est pas toujours une plante de haut schorre puisque ces pieds sont les premiers à coloniser le nouveau schorre. Cette observation informe que la soude est une espèce pionnière, signifiant alors qu'elle s'installe rapidement dans la succession végétale d'un schorre.

Vers l'élaboration de séries dendrochronologiques ?

La création d'une série temporelle présentant l'évolution de la largeur des cernes au cours du temps permettrait la datation de schorres anciens. En effet, les séries dendrochronologiques permettraient de caractériser des années charnières où la croissance de la plante est significative (Douglass, 1941). Ensuite, il serait possible d'intercaler chronologiquement les résultats issus du comptage des cernes d'une soude morte avec les séries dendrochronologiques obtenues à différentes localisations, afin de retrouver l'âge de la plante. Ce procédé est nommé « cross-dating » dans la littérature scientifique. Cette « intercalibration chronologique » permettrait, à terme, la datation du schorre. Pour parvenir à la création de séries dendrochronologiques, il serait judicieux de compter les cernes de soude se développant sur d'autres schorres européens. Cette étude permettrait non seulement la compréhension de l'espérance de vie des soudes, mais elle mettrait aussi en relation les séries dendrochronologiques de différentes zones d'études.

Conclusion

Cette étude a permis la quantification de la progradation du schorre ainsi que la datation des soudes présentes sur la pointe d'Arçay. Dans un premier temps, par le biais d'un travail de photo-interprétation, notre étude présente la progradation du schorre de la pointe d'Arçay. Ce résultat est ensuite quantifié et montre une progradation rapide en accord avec la progression d'autres grands schorres européens. Par la suite, l'étude dendrochronologique menée sur *Suaeda vera* montre, tout d'abord, que cette espèce ligneuse est adaptée à la dendrochronologie, et qu'elle peut être une méthode robuste de datation des soudes. Cependant, la longévité limitée des soudes ne permet de dater que des schorres d'une vingtaine d'années et des imprécisions sont possibles en l'absence d'une bonne compréhension de l'implantation des soudes dans la chronologie des successions végétales des schorres.

Références bibliographiques

- Allard J., Bertin X., Chaumillon E., Pouget F., 2008, « Sand spit rhythmic development: A potential record of wave climate variations? Arçay Spit, western coast of France », *Marine Geology*, Vol. 253, 107-131.
- Baily B., Inkpen R., 2013, « Assessing historical saltmarsh change; an investigation into the reliability of historical saltmarsh mapping using contemporaneous aerial photography and cartographic data », *Journal of Coastal Conservation*, Vol. 17, No.4, 503-514.
- Bouchard V., Digaire F., Lefeuvre J.-C., Guillon L.-M., 1995, « Progression des marais salés à l'ouest du Mont-Saint-Michel entre 1987 et 1994 », *Mappemonde*, Vol. 4/1995, 28-34.
- Bromberg Gedan K., Silliman B.R., and Bertness M.D., 2009, « Centuries of Human-Driven Change in Salt Marsh Ecosystems », *Annual Review of Marine Science*, Vol. 1, 117–41.
- Casas S., Clergeot-Tomasini C., Huau M.C., Geffroy F., Konitz A., Sauvage P., Bazin P., 2014, *Guide des zones humides, Les zones humides. Des écosystèmes utiles pour les territoires*, Conservatoire du littoral, Milan Nature et Territoires, Jouve, Paris.
- Chorowicz J., 1980, « Mise à jour de notions utilisées par les géologues en télédétection », *Compte rendu sommaire des séances de la Société géologique de France*, Fascicule 5, 203-206.
- Decuyper M., Slim P.A., Van Loon-Steensma M.J., 2014, « Dendrochronology of *Atriplex portulacoides* and *Artemisia maritima* in Wadden Sea salt marshes », *Journal of Coastal Conservation*, Vol. 18, 279–284.
- Deslauriers A., Rossi S., Anfodillo T., 2006, « Dendrometer and intra-annual tree growth: What kind of information can be inferred? », *Dendrochronologia*, Vol. 25, Issue.2, 113-124.
- Douglass A.E., 1941, « Crossdating in Dendrochronology », *Journal of Forestry*, Vol. 39, 825–831.
- Dupont P., 2001, *Atlas floristique de la Loire-Atlantique et de la Vendée*, Tome 2, Société des Sciences Naturelles de l'ouest de la France, Siloë, Nantes, 559p.
- Géhu J.M., 1979, « Etude phytocoenotique analytique globale de l'ensemble des vases et prés salés et saumâtres de la face Atlantique Française », *Convention de recherche*, No.77-29.
- Godet L., Pourinet L., Joyeux E., Verger F., 2015, « Dynamique spatiale et usage des schorres de l'Anse de l'Aiguillon de 1705 à nos jours. Enjeux de conservation d'un patrimoine naturel littoral marin », *Cybergeo : European Journal of Geography*, document 713. <http://cybergeo.revues.org/26774>.

Goosen D., 1967, « L'interprétation des photographies aériennes dans les études pédologiques », *Food and Agricultural Organization of the United Nations*, 58p.

Gouguet L., 2010, *Plan De Gestion de la Réserve Naturelle de la pointe d'Arçay*, 133p.

Guetté A., Joyeux A., Corre F., Haie S., Godet L., 2016, « Old and unmowed saltmarsh patches provide attractive habitats for breeding passerines », *Wetlands Ecology and Management*, Vol. 24, 477–493.

Halpern B.S., Walbridge S., Selkoe K.A., Kappel C.V., Micheli F., D'Agrosa C., Bruno J.F., Casey K.S., Ebert C., Fox H.E., Fujita R., Heinemann D., Lenihan H.S., Madin E.M.P., Perry M.T., Selig E.R., Spalding M., Steneck R., Watson R., 2008, « A global map of human impact on marine ecosystems », *Science*, Vol. 319, No.5865, 948-952.

Hurlbert S.H., 1983, « Pseudoreplication and the design of ecological field experiments », *Ecological Monographs*, Vol. 54, 187-211.

Lefeuvre J.C., Laffaille P., Feunteun E., Bouchard V., Radureau A., 2003, « Biodiversity in salt marshes: from patrimonial value to ecosystem functioning. The case study of the Mont-Saint-Michel bay », *Compte rendus biologie*, Vol. 326, 125-131.

Lopez E., 2009, « Conservatoire du littoral : Bords de mer à l'abri », *Continuité*, No.121, 43–46.

Nageleisen L.M., 1993, « Les dépérissements d'essences feuillues en France », *Revue Foresterie Francaise*, No.6 (1993).

Poirier C., Tessier B., Chaumillon E., Bertin X., Fruergaarda M., Mouazé D., Noël S., Weill P., Wöppelmann G., 2017, « Decadal changes in North Atlantic atmospheric circulation patterns recorded by sand spits since 1800 CE », *Geomorphology*, Vol. 281, 1-12.

Prigent C., Papa F., Aires F., Jimenez C., Rossow W.B., Matthews E., 2012, « Changes in land surface water dynamics since the 1990s and relation to population pressure », *Geophysical Research Letters*, Vol. 39.

Programme Liteau, séminaire mi-parcours, 2014, projet BLiNiS, 18p.

Rodionov S.N., 2004, « A sequential algorithm for testing climate regime shifts », *Geophysical Research Letters*, Vol. 31, Issue. 9.

Schweingruber F.H., 1996, *Tree Rings and Environnement. Dendroecology*. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Berne, Stuttgart, Vienna, Haupt, 609p.

Schweingruber F.H., Landolt W., 2010, *The Xylem Database*, Swiss Federal Research Institute WSL, Switzerland. <https://www.wsl.ch/dendropro/xylemdb/>.

Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM), 1999, Espaces maritimes sous juridiction française. <http://www.shom.fr/les-activites/projets/delimitations-maritimes/espaces-francais/>.

Speer J.H., 2010, *Fundamentals of tree-ring research*, The University of Arizona press, Tucson, 333p.

Stokes M.A., Smiley T.L., 1996, *An introduction of tree-ring dating*, The University of Arizona press, Tucson, 73p.

Verger F., 1968, *Les marais des côtes françaises de l'Atlantique et de la Manche et leurs marges maritimes*, Bordeaux, thèse de doctorat ès lettres de l'université de Paris, Biscaye Frère Imprimeurs.

Table des figures

Figure 1 : Carte de localisation générale de la pointe d'Arçay, d'après Godet et al., 2015	10
Figure 2 : Photo de la pointe d'Arçay prise du sud-est orientée vers le nord-est	11
Figure 3 : Pied vivant de <i>Suaeda vera</i> avant prélèvement	13
Figure 4 : Stratégie d'échantillonnage en vue des prélèvements de soude.....	14
Figure 5 : Schéma explicatif des notions ainsi que des échelles abordées dans ce mémoire.	14
Figure 6 : Elagage des pieds de soude. Figure 7 : Déterrement des pieds.	15
Figure 8 : Conservation des différents échantillons dans des sachets individuels	15
Figure 9 : Ponçage des échantillons.....	16
Figure 10 : Installation dédiée à l'étude dendrochronologique	17
Figure 11 : Photos d'échantillons de soudes	18
Figure 12 : Exemple de reconstitution des cernes invisibles pour une rondelle dont le cœur est absent	18
Figure 13 : Exemple de comptage de cernes sous loupe binoculaire.....	19
Figure 14 : Progradation du schorre de la pointe d'Arçay selon les différentes dates	21
Figure 15 : Progression de la surface du schorre de la pointe d'Arçay de 1945 à 2016.....	22
Figure 16 : Séries dendrochronologiques	25
Figure 17 : Nuage de points de l'âge des pieds de soude en année en fonction de l'âge du schorre estimé par photo-interprétation en année.....	26

Table des tableaux

Tableau 1 : Nombre de cernes ainsi que la date de formation du premier cerne visible pour chaque station.....	23
--	----

Table des matières

Sommaire	3
Remerciements	5
Introduction	7
Matériels et méthodes	9
2.1. Présentation de la thématique et du site d'étude	9
2.1.1. Présentation de la thématique.....	9
2.1.2. Présentation du site d'étude	10
2.2. Description de la méthodologie : données, méthodes, et outils	12
2.2.1. Données photographiques	12
2.2.2. Cartographie du schorre.....	12
2.2.3. Cartographie de l'ancienneté du schorre.....	12
2.2.4. Matériel biologique	12
2.2.5. Stratégie d'échantillonnage	13
2.2.6. Coupe des échantillons	16
2.2.7. Ponçage des échantillons	16
2.2.8. Lecture sous loupe binoculaire	16
2.2.9. Datation du schorre.....	20
2.2.10. Analyses statistiques	20
Résultats	21
1. Cartographie de la cinématique du schorre	21
2. Progression du schorre	21
3. Etude dendrochronologique.....	22
4. Mise en relation de l'âge du schorre avec l'âge des pieds de soude	26
Discussion	27
Conclusion	30
Références bibliographiques	31
Table des figures	34
Table des tableaux	35
Table des matières	36

Datation des schorres de la pointe d'Arçay par analyse cartographique et dendrochronologique

Résumé : Le littoral subit une forte pression anthropique qui bouleverse et modifie les milieux fragiles et originaux qui s'y développent. Malgré de multiples mesures réglementaires de protection, les zones humides littorales ont été fortement modifiées et ont vu leurs surfaces diminuer. Les schorres, qui sont des habitats typiques d'interface entre les milieux marins et terrestres des zones humides littorales connaissent des dynamiques spatiales parfois très rapides. Ils ont en outre une très forte valeur conservatoire du fait de l'originalité de la biodiversité qu'ils abritent. Ils ont toutefois été fortement impactés par les activités humaines qui les ont reconvertis, par des poldérisations massives, en milieu agricoles, si bien que les taches de schorres anciennes, qui abritent une faune et une flore propres, sont devenues très rares. La datation de ces milieux est donc importante d'un point de vue conservatoire. Cette étude s'intéresse aux schorres de la pointe d'Arçay avec, comme objectif, de dater ces milieux selon deux méthodes : 1) par photo-interprétation, 2) par une approche dendrochronologique basée sur l'étude d'une plante (*Suaeda vera*). L'approche par photo-interprétation montre une progradation très rapide du schorre de 1945 à 2016 et permet d'identifier des taches de schorres datant de plus de 70 ans. La dendrochronologie permet également de dater les taches de schorres de manière assez précise, mais uniquement les secteurs les plus récents du fait d'une longévité de la plante assez réduite (un peu plus de 25 ans). La dendrochronologie est donc une méthode pertinente pour la datation récente de schorres pour lesquels on ne disposerait pas de cartes ou d'images aériennes récentes ou de suffisamment bonne qualité.

Mots clés : Littoral, naturalité, pointe d'Arçay, schorres, Suaeda vera, dendrochronologie, photo-interprétation.