

B.4. Etudes spatiales des paléo-paysages végétaux par période climatique

B.4.1 La période du Bölling/Allerød (13000 – 10700 BP)

B.4.1.1 Le début du Bölling/Allerød (13000 – 11850 BP)

- Inventaire

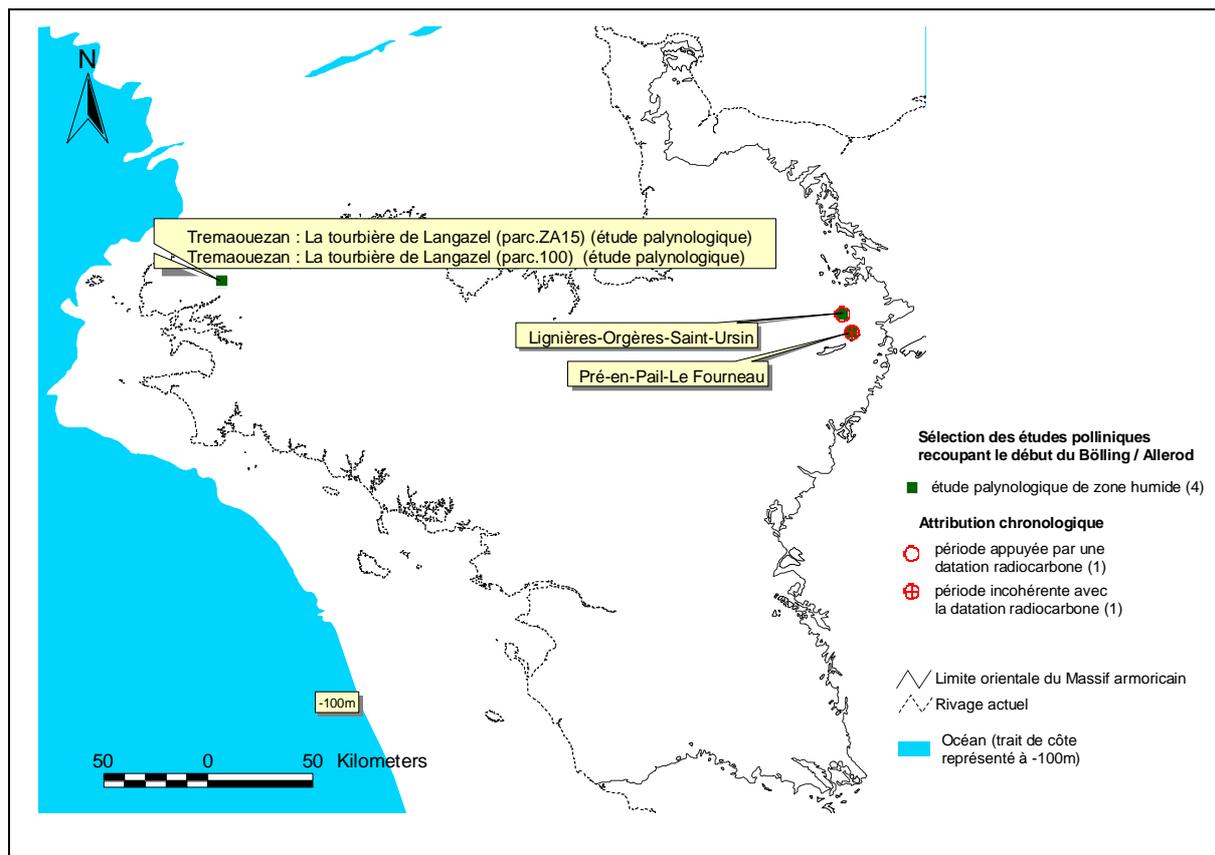


Fig. 157 Carte de répartition des études recoupant le début du Bölling / Allerød.

Seulement 4 études recoupent cette période (Fig. 157). Leur localisation géographique est diamétralement opposée, à l'est et à l'ouest du Massif armoricain. Au regard de ces faibles effectifs, aucun traitement statistique n'est évidemment possible.

- Taux de pollens d'arbres et de Poacées

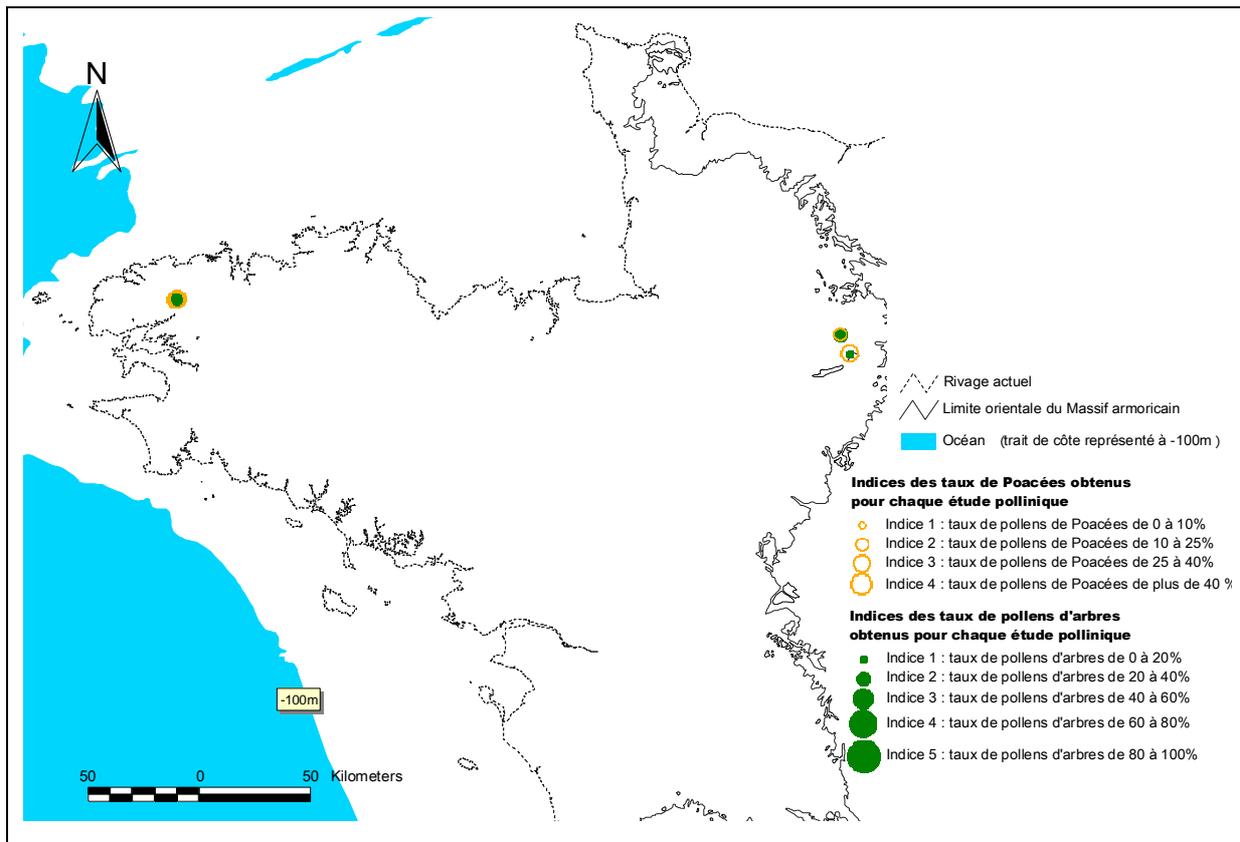


Fig. 158 Représentation et distribution géographique des taux de pollens de Poacées et d'arbres pour la période du début du Bölling/Allerød.

- Principaux groupements « régionaux »

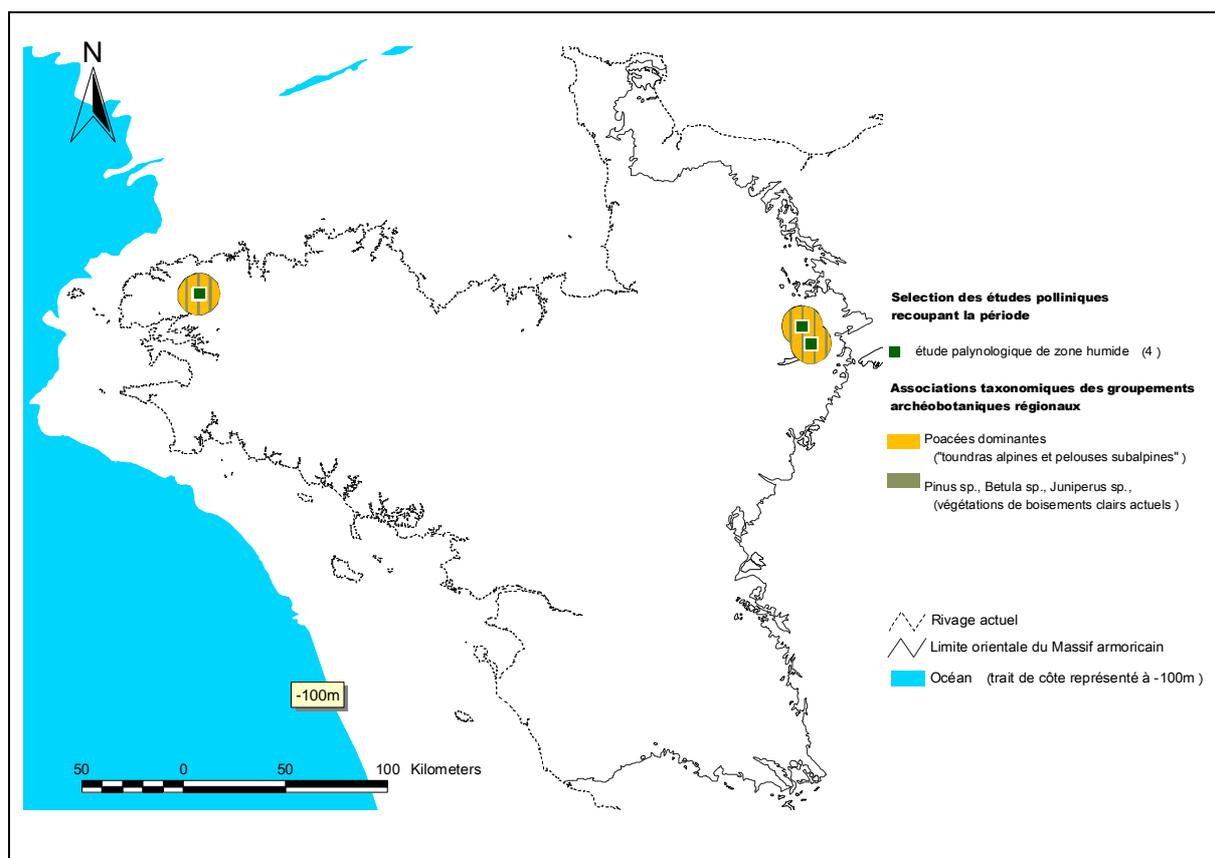


Fig. 159 Distribution géographique des deux principaux groupements archéobotaniques issus de l'apport pollinique « régional » identifiés dans chaque étude et représentés sous la forme de disques de 10 kilomètres de rayon, pour la période du début du Bölling/Allerød.

Les taux de pollens d'arbres obtenus sont tous faibles (Fig. 89), que ce soit pour les secteurs est ou ouest du Massif armoricain. Ces résultats tendent à décrire un paysage dominé par les Poacées avec de rares végétations ligneuses clairsemées (Fig. 158 ci-dessus). Les attestations polliniques de plantes ligneuses telles que les pollens de *Pinus*, présentent des fréquences polliniques relativement faibles (moins de 10%), mais sont systématiquement identifiées dans les diagrammes. Par ailleurs, les quelques attestations de *Quercus* fréquemment rencontrés dans les diagrammes (Fig. 107) sont difficilement cohérentes avec le climat encore très froid. Ces « bruits de fond » pourraient donc être interprétés comme des apports polliniques lointains, probablement extérieurs au Massif armoricain. Les faibles effectifs des études empêchent de se prononcer davantage sur ces résultats et sur l'existence d'éventuelles niches écologiques locales favorables.

B.4.1.2 La fin du Bölling / Allerød (11850 – 10700 BP)

- Inventaire

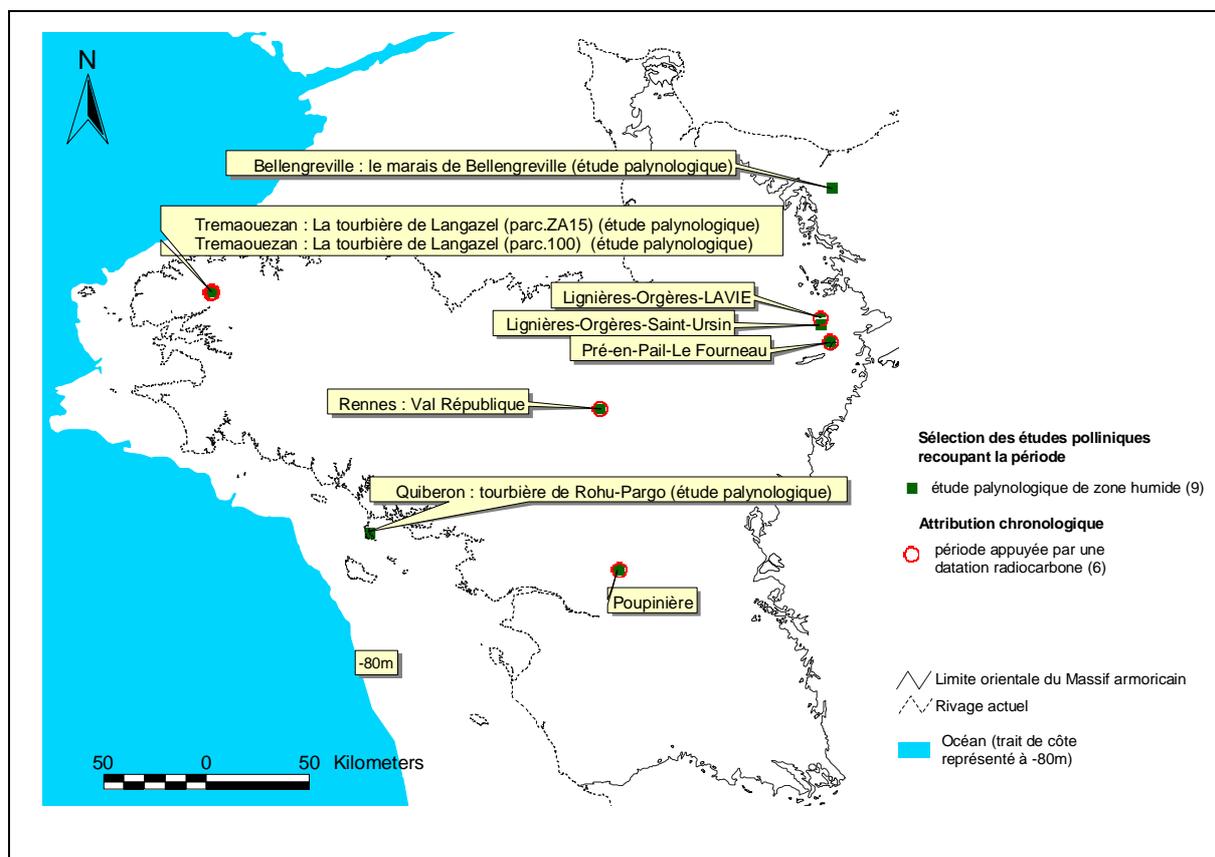


Fig. 160 Carte de répartition des études recoupant la fin du Bölling / Allerød.

Seules neuf études palynologiques, dont six datées, recoupent la fin de l'interstade du Bölling / Allerød. Ces études sont plutôt réparties sur la marge orientale du Massif armoricain. (Fig. 160 et annexe pour la liste détaillée des études).

- Taux de pollens d'arbres et de Poacées

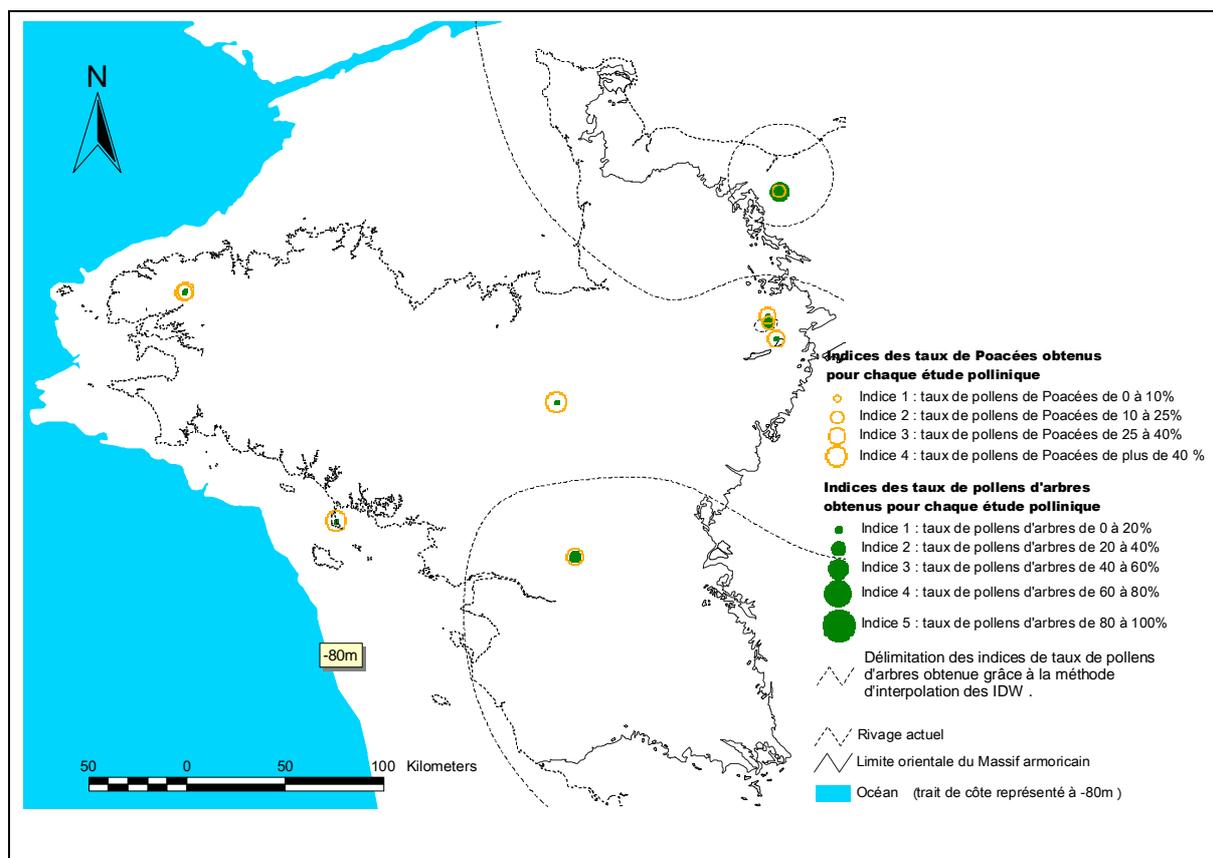


Fig. 161 Représentation et distribution géographique des taux de pollens de Poacées et d'arbres pour la période de la fin du Bölling/Allerød. A titre indicatif, une délimitation des grandes tendances de la répartition régionale des taux de pollens d'arbres a été calculée par la méthode d'interpolation des IDW.

Les indices des taux de pollens d'arbres apparaissent un peu plus faibles par rapport à la moyenne obtenue au début de l'interstade (cf. évolution de la moyenne des indices obtenus, Fig. 89).

Au regard de la zonation obtenue à partir de l'interpolation (IDW) des valeurs des taux de pollens d'arbres, la péninsule « bretonne » présente des valeurs légèrement plus faibles que les secteurs nord-est et sud-est du Massif (Fig. 161 ci-dessus). Ce constat, reposant sur de très faibles effectifs, reste néanmoins à considérer avec beaucoup de précautions.

Globalement, les taux de pollens de Poacées restent élevés. Les paysages végétaux apparaissent donc très ouverts et dominés par les Poacées (Fig. 162). Comme pour le début du Bölling / Allerød, les pollens de *Pinus* sont systématiquement identifiés dans les différents sondages (Fig. 162) mais généralement en faibles quantités (les fréquences polliniques présentent quelques pourcents). Aussi, là encore il faut envisager l'hypothèse d'un apport pollinique homogène et lointain.

Les valeurs du sondage de Bellengreville (Elhai, 1959), résultat sans date absolue et réalisée sur la marge extérieure du Massif armoricain est à considérer avec précaution. Aussi, les forts taux polliniques de *Pinus* retrouvés dans cette étude pourrait trouver une raison dans le substrat géologique calcaire et plus neutre des environs du sondage (Fig. 162). Il serait bon de confirmer cette hypothèse en confrontant de manière statistique les données armoricaines à l'ensemble des données polliniques enregistrées dans les sondages polliniques situés à l'est du Massif (ex. données du Bassin Parisien notamment...).

- Principaux groupements « régionaux »

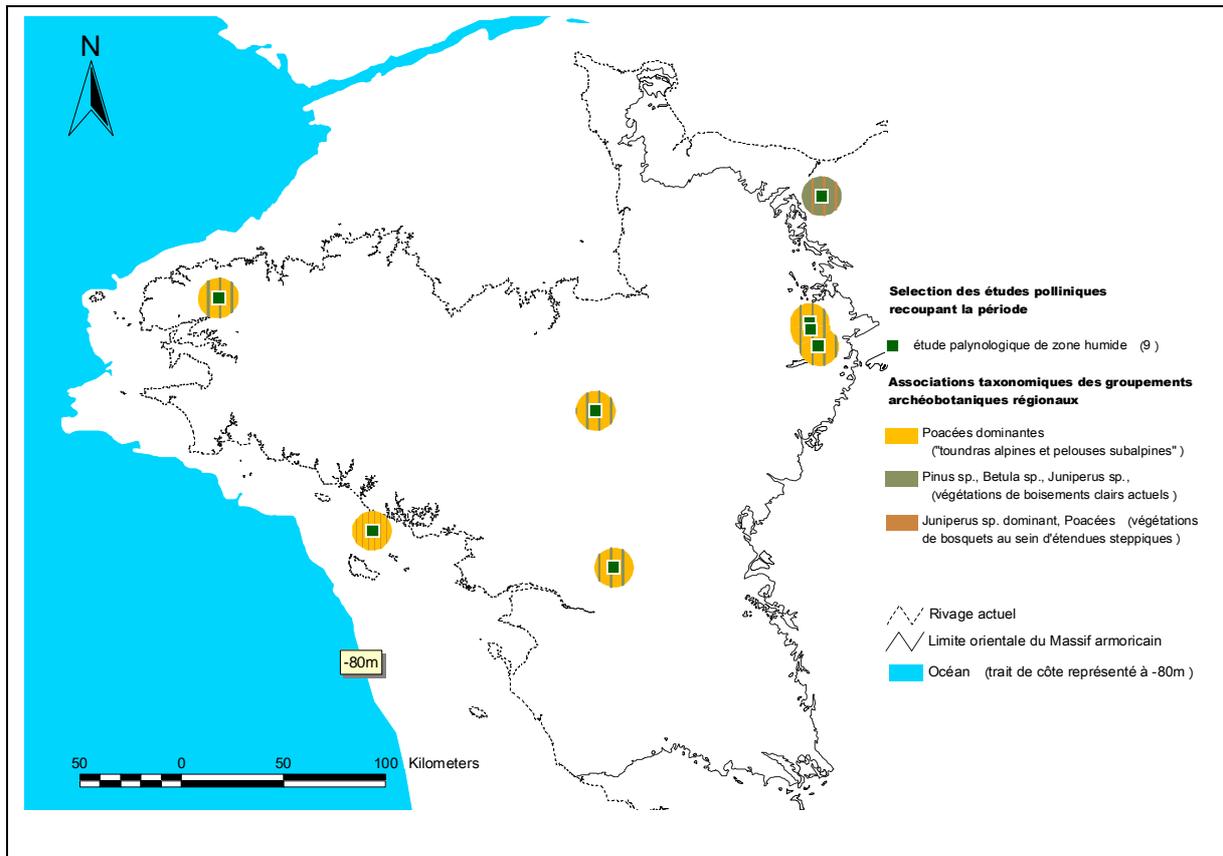


Fig. 162 Distribution géographique des deux principaux groupements archéobotaniques issus de l'apport pollinique « régional » identifiés dans chaque étude et représentés sous la forme de disques de 10 kilomètres de rayon, pour la période du début du Bölling/Allerød.

B.4.2 La période du Dryas récent (10700 – 10000 BP)

B.4.2.1 Le début du Dryas récent (10700 – 10350 BP)

- Inventaire

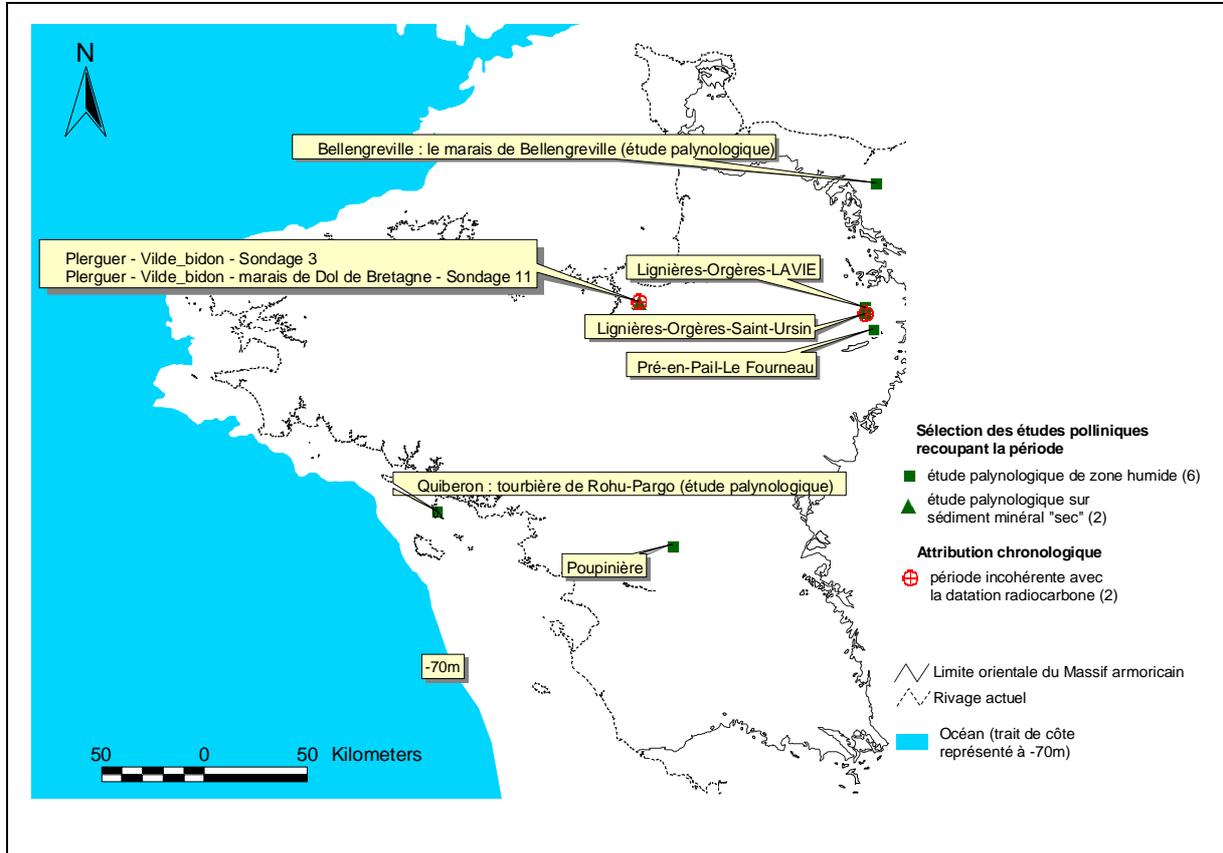


Fig. 163 Carte de répartition des études recoupant le début du Dryas récent (après exclusion des études présentant un hiatus de sédimentation).

Huit études recoupant cette période ont été inventoriées. Notons que les études de la tourbière de Langazel à Trémaouezan présentent un hiatus de sédimentation pour le Dryas récent (cf. chapitre C). De plus, aucune datation ne permet de caractériser directement cette période (il y a souvent une inversion chronologique des datations ou un décalage flagrant des datations obtenues avec l'évolution végétale et les conditions climatiques connues pour le Dryas récent).

En fait, il est probable que le refroidissement du Dryas récent ait ralenti les processus de tourbification et d'une manière générale le développement de la végétation. Le signal pollinique de cette période assez courte (« sept siècles seulement » d'après le sondage GISP2 Grootes *et al.*, 1997) est donc d'autant plus difficile à percevoir.

Par ailleurs, les marges d'erreur des datations obtenues empiètent le plus souvent sur les périodes antérieures et postérieures. Or, les changements climatiques qui se produisent entre l'interstade du Bölling / Allerød, le Dryas récent et le Préboréal sont très brutaux si l'on se réfère à la courbe isotopique GISP 2. Aussi, les risques d'erreurs dans l'interprétation de ces végétations répondant à des climats très différents sont grands.

D'une manière générale et au regard des quelques considérations évoquées ci-dessus, une zonation pollinique dont une datation émerge à la fois sur le Dryas récent et sur une période climatique antérieure ou postérieure a donc davantage de chance de correspondre aux périodes de températures plus douces (donc les périodes du Bölling / Allerød ou bien du Préboréal) car la végétation y est globalement plus luxuriante et les processus de tourbification apparemment favorisés (cf. § B.3.3.1.2).

En l'absence de datation, pour la majorité des études recoupant le Dryas récent, les risques de confusion sont évidemment encore plus importants. L'ensemble des résultats du Dryas récent évoqués dans ce mémoire, sont donc à considérer avec beaucoup de prudence.

- Taux de pollens d'arbres et de Poacées

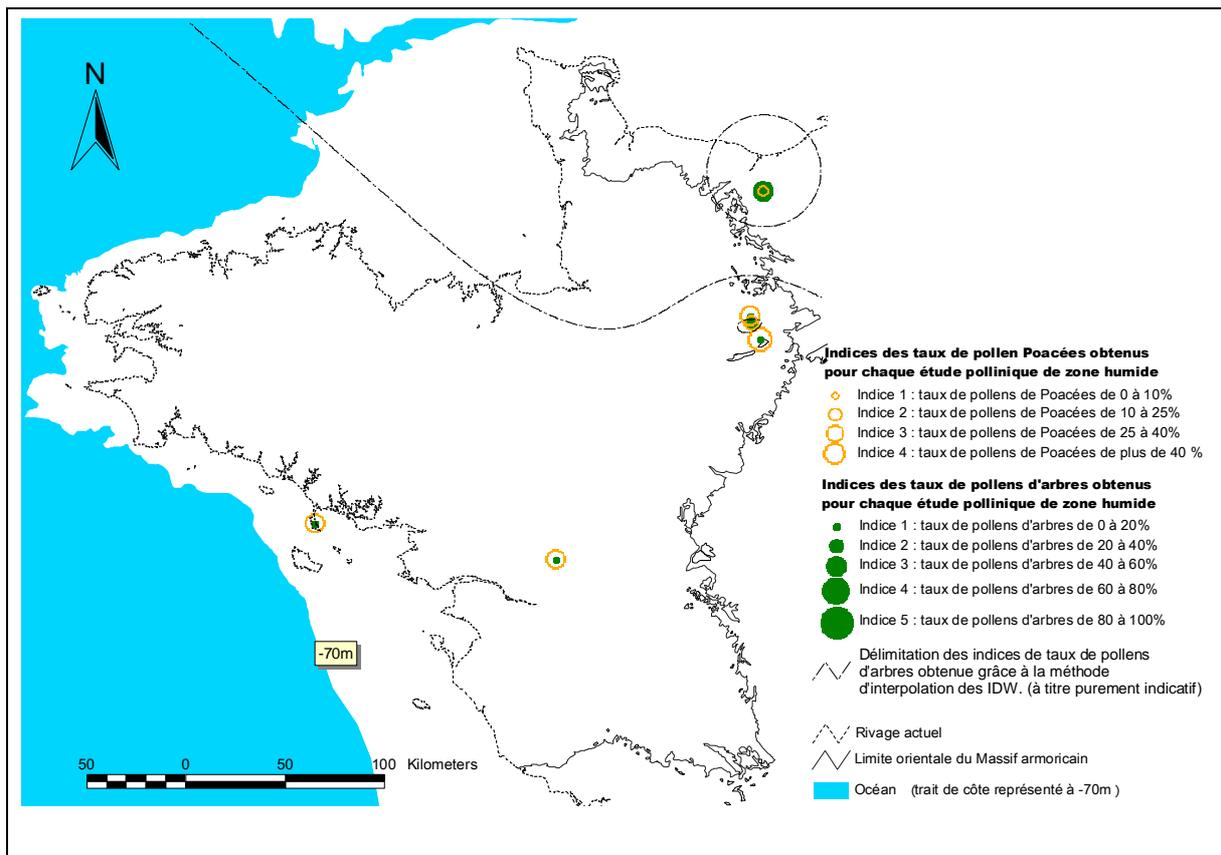


Fig. 164 Représentation et distribution géographique des taux de pollens de Poacées et d'arbres pour la période du début du Dryas récent. A titre indicatif, une délimitation des grandes tendances de la répartition régionale des taux de pollens d'arbres a été calculée par la méthode d'interpolation des IDW.

En ce qui concerne le début du Dryas récent, ce sont des végétations herbacées qui dominent encore très nettement les paysages. Seule l'étude normande de Bellengreville (Elhai, 1959) présente des taux polliniques d'arbres en quantité non négligeable (entre 40 et 60%). L'ancienneté de l'étude (non datée) et/ou le contexte géologique différent pourrait expliquer cette différence.

- Principaux groupements « régionaux »

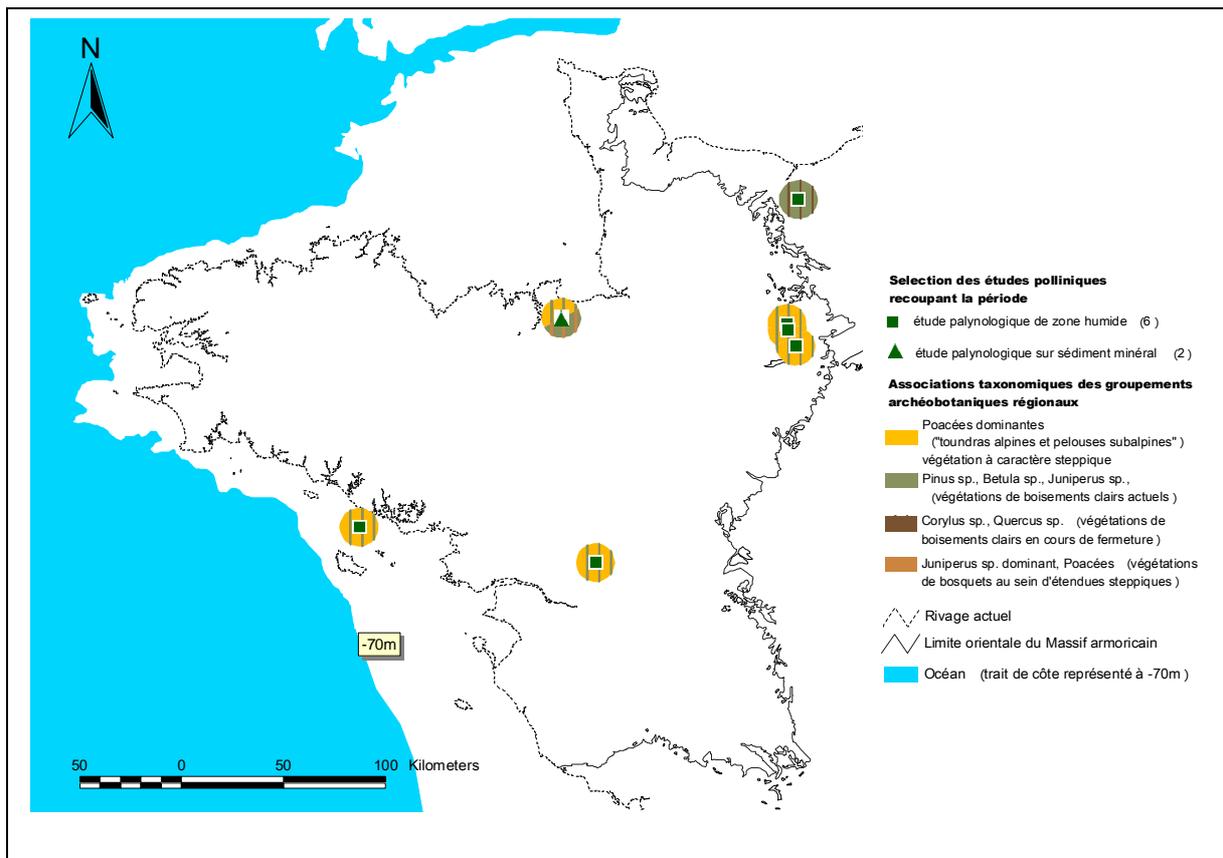


Fig. 165 Distribution géographique des deux principaux groupements archéobotaniques issus de l'apport pollinique « régional » identifiés dans chaque étude et représentés sous la forme de disques de 10 kilomètres de rayon, pour la période du début du Dryas récent.

Quatre types d'associations taxonomiques « régionales » ont été identifiés pour cette période. L'association la plus souvent constatée est composée par les pollens de Poacées à caractères steppiés, couplée généralement, soit à une association de boisements à *Pinus*, *Betula*, *Juniperus*, soit à l'association à base de *Juniperus* et Poacées (études de Plerguer, Vilde Bidon (Morzadec-Kerfourn, 1974)) quantitativement moins présentes dans les spectres polliniques (Fig. 165 ci-dessus). L'étude de Bellengreville (Elhai, 1959) se démarque à nouveau, puisque ce sont des végétations de pins, bouleaux et de Poacées qui dominent avec, dans une moindre mesure, un groupement de taxons plus mésothermophiles (à base de noisetier).

B.4.2.2 La fin du Dryas récent (10350 – 10000 BP)

- Inventaire

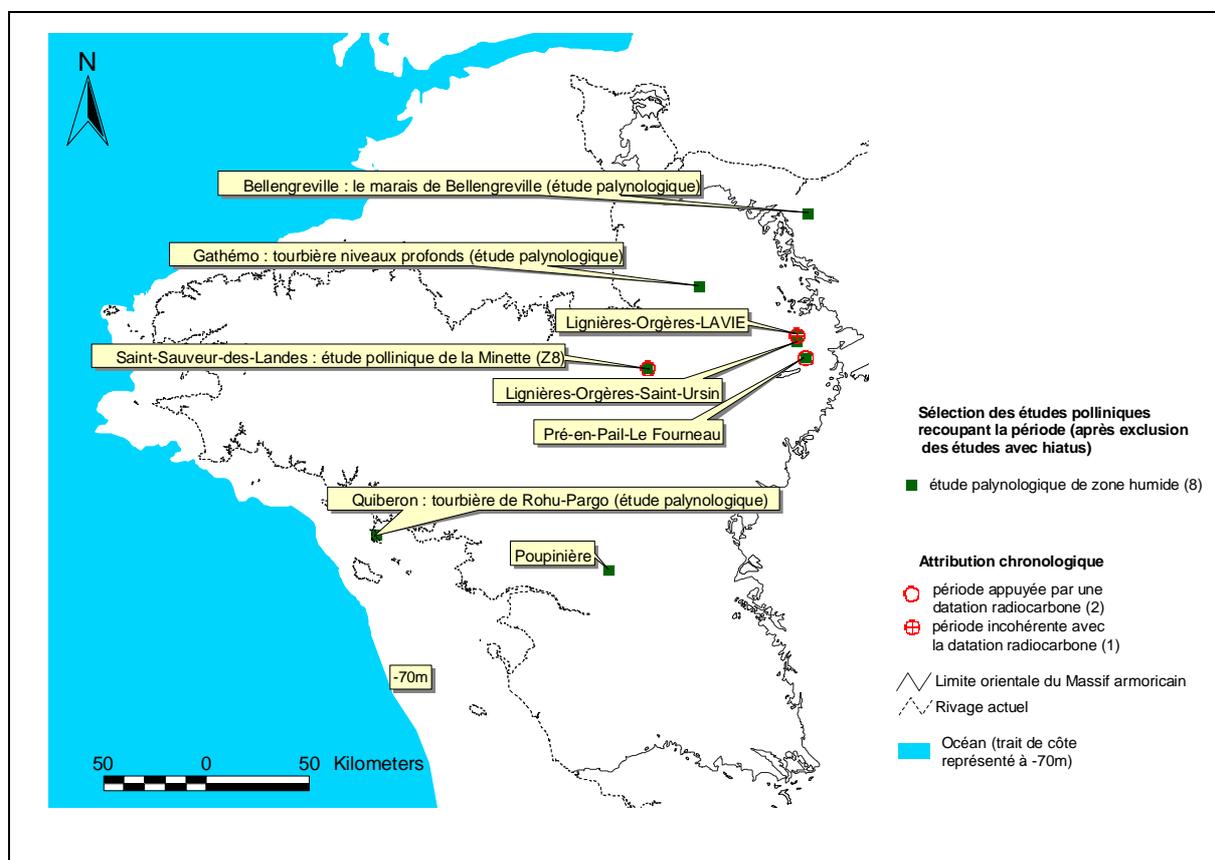


Fig. 166 Carte de répartition des études recoupant la fin du Dryas récent (après exclusion des études présentant un hiatus de sédimentation).

En ce qui concerne la seconde moitié du Dryas récent, ce sont huit enregistrements qui nous sont parvenus à ce jour. Notons deux différences par rapport aux enregistrements du début de la période : la disparition des deux études de Plerguer Vilde-Bidon (Morzadec-Kerfourn, 1974) et l'apparition des études de « Gathémo » (Lechevalier, 1986) et de « la Minette (Z8) » à Saint-Sauveur-des-Landes (Marguerie, 1998). Seulement trois datations ont été réalisées en ce qui concerne cette période, dont une est apparue incohérente (sondage de Saint-Ursin à Lignéres-Orgère, Barbier, 1999).

Devant les maigres effectifs des études et des datations recoupant cette période, les doutes concernant la fiabilité des données polliniques avancées pour le début de la période climatique (cf. § B.4.2.1) sont malheureusement tout aussi valables pour la fin du Dryas récent.

- Taux de pollens d'arbres et de Poacées

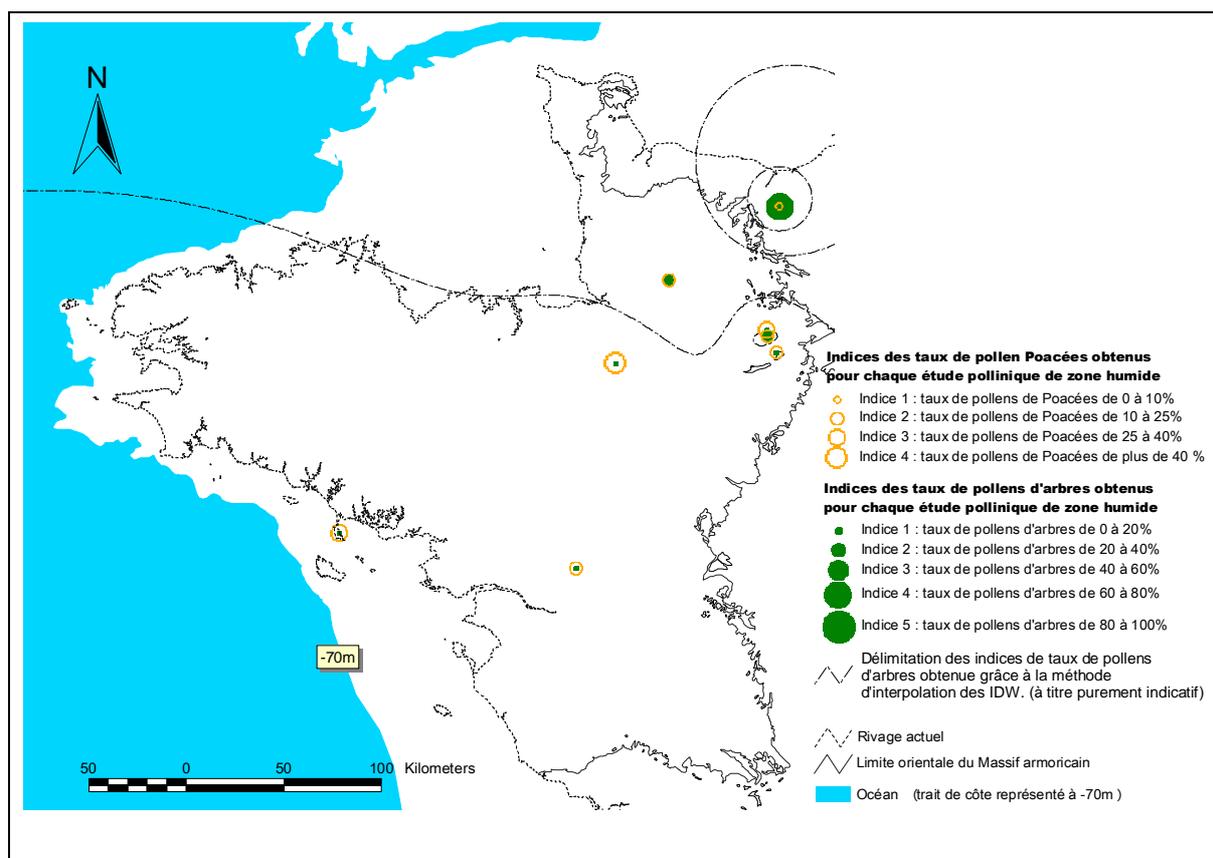


Fig. 167 Représentation et distribution géographique des taux de pollens de Poacées et d'arbres pour la période de la fin du Dryas récent. A titre indicatif, une délimitation des grandes tendances de la répartition régionale des taux de pollens d'arbres a été calculée par la méthode d'interpolation des IDW.

Au regard des huit enregistrements, tout comme pour le début de la période ce sont des végétations herbacées qui dominent encore très nettement les paysages. La plupart des études (cinq études) ont enregistré des taux de pollens d'arbres compris entre 0 et 20% alors que ces études polliniques affichaient des taux de pollens de Poacées de 10 à 25%.

En revanche, les études présentant des taux de pollens d'arbres compris entre 20 et 60% sont désormais au nombre de trois (Fig. 167). En effet, les études de Bellengreville (Elhai, 1959) et de Saint-Ursin Lignière-Orgère (Barbier, 1999) qui présentaient déjà des pollens d'arbres en quantités non négligeables au début du Dryas récent sont désormais accompagnées de l'étude de Gathémo (Lechevalier, 1986).

Autre fait marquant, ces trois études sont localisées sur la marge nord-est du Massif armoricain (cf. zonation des indices des taux de pollens d'arbre calculée par la méthode d'interpolation des IDW, Fig. 167).

A nouveau, le contexte géologique différent de l'étude de Bellengreville (substrat géologique calcaire fournissant des sols plus neutres) a pu favoriser le développement de taxons ligneux tels que le pin, le noisetier et le bouleau. Les deux autres études de Gathémo et de Saint-Ursin Lignière-Orgère ont aussi pu bénéficier des pollens d'arbres en provenance de ces espaces situés à l'est et au nord du Massif.

- Principaux groupements « régionaux »

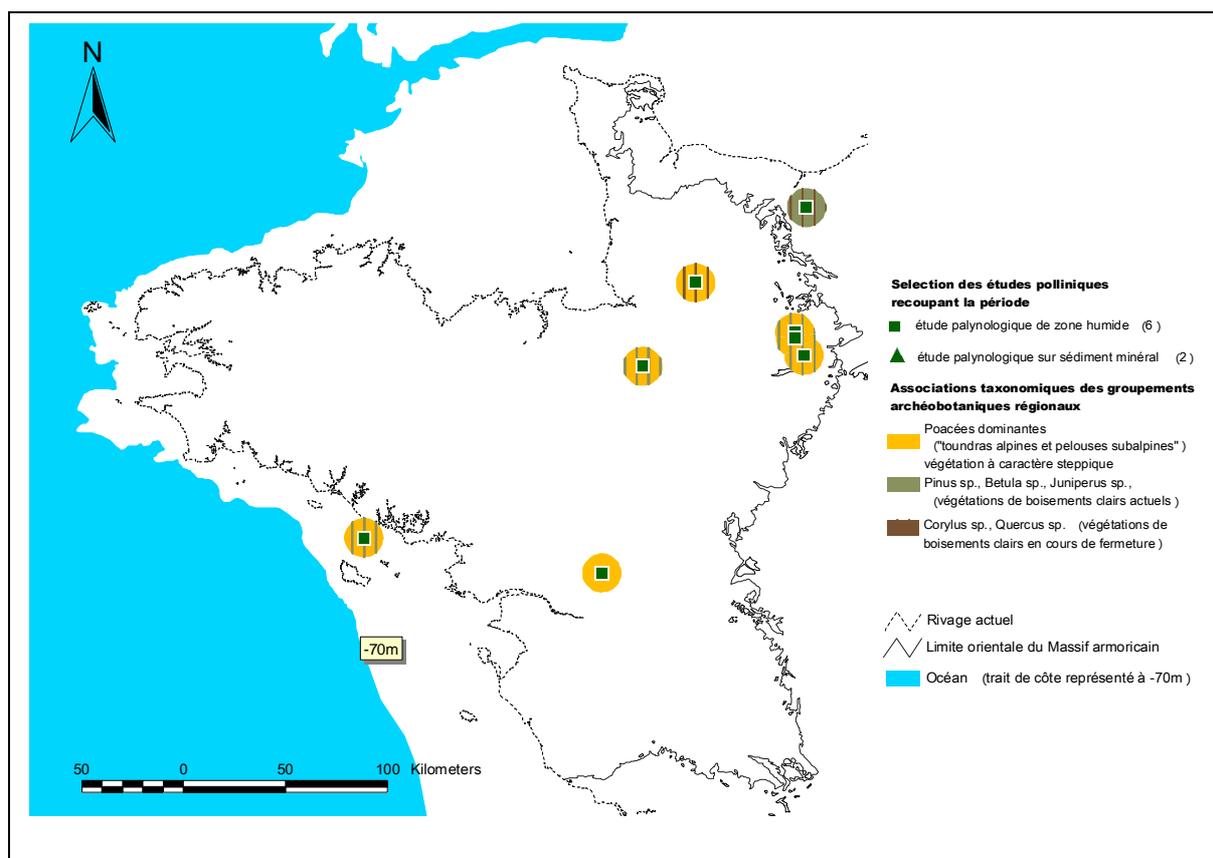


Fig. 168 Distribution géographique des deux principaux groupements archéobotaniques issus de l'apport pollinique « régional » identifiés dans chaque étude et représentés sous la forme de disques de 10 kilomètres de rayon, pour la période de la fin du Dryas récent.

On retrouve une distribution des végétations très semblable à celle constatée pour le début du Dryas récent. A nouveau, ce sont des végétations à caractère steppique qui dominent la majorité des enregistrements polliniques armoricains. Quelques pollens de *Pinus*, systématiquement identifiés dans les études traduisent probablement des provenances lointaines (Fig. 168).

Seule l'étude de Bellengreville se démarque par des fréquences polliniques dominées par des taxons ligneux. Ce résultat, isolé, décrit un environnement boisé, composé de pins, bouleaux et noisetiers.

B.4.3 La période du Préboréal (10000 – 8900 BP)

B.4.3.1 Le début du Préboréal (10000 – 9450 BP)

- Inventaire

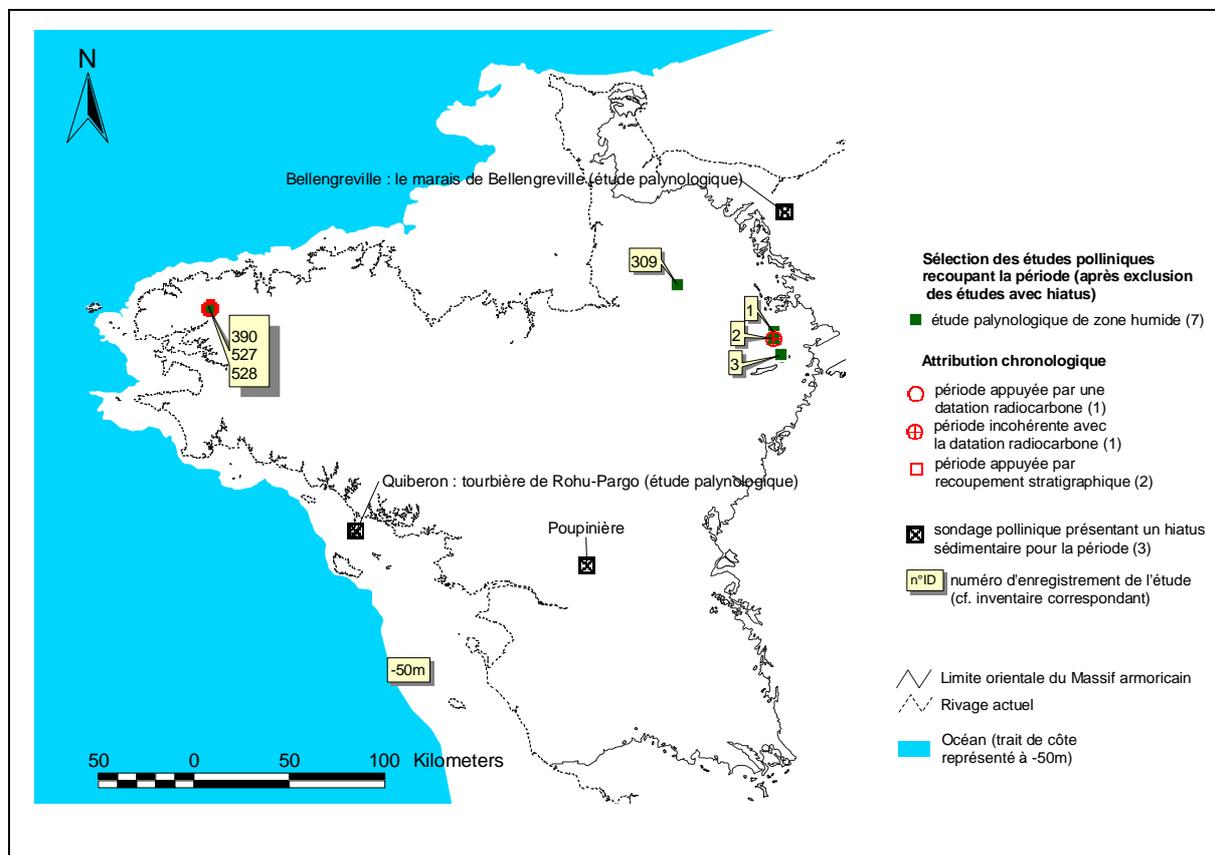


Fig. 169 Carte de répartition des études recoupant le début du Préboréal.

Seulement sept études palynologiques nous informent sur le début du Préboréal. Il faut noter le non enregistrement pollinique de cette période dans les études de Bellengreville (Elhai, 1959), de la Poupinière (Ouguerram, 2002) et Rohu Pargo à Quiberon (période peut-être enregistrée par un ou deux spectres pollinique, cf. résultat de l'étude pollinique de Rohu dans le chapitre C du présent mémoire, le hiatus sédimentaire est de toute façon marqué). Ces hiatus sédimentaires pourraient résulter de l'assèchement général que paraissent connaître les zones humides durant cette période.

Les conditions climatiques peu favorables à l'enregistrement pollinique, ainsi que la rareté des datations absolues fiables rendent à nouveau très difficile la réalisation d'une synthèse sur cette période.

- Taux de pollens d'arbres et de Poacées

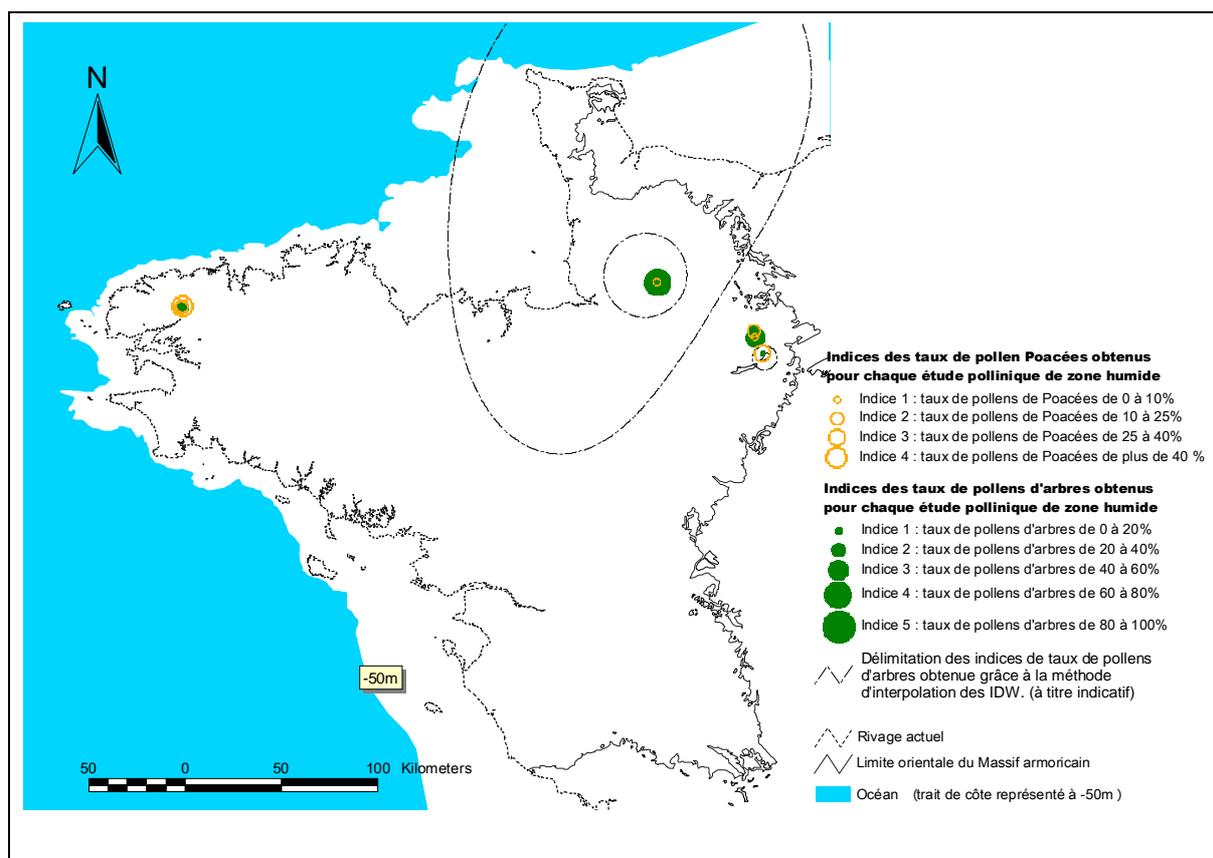


Fig. 170 Représentation et distribution géographique des taux de pollens de Poacées et d'arbres pour la période du début du Préboréal. A titre indicatif, une délimitation des grandes tendances de la répartition régionale des taux de pollens d'arbres a été calculée par la méthode d'interpolation des IDW.

En ce qui concerne les taux de pollens d'arbres, on constate une hausse dans la plupart des résultats polliniques (cf. § B.3.3.1.3).

L'étude de Gathémo (Lechevalier, 1986) présente des taux particulièrement élevés (entre 60 et 80%) par rapport aux autres études. En l'absence d'une sur-représentation de pollens d'arbres hygrophiles dans ce sondage, un paysage relativement bien boisé paraît donc se dessiner sur la partie nord-est du Massif.

Ce constat est à mettre en parallèle avec l'étude de Saint-Ursin à Lignière-Orgère (Barbier, 1999). Quelques remarques peuvent néanmoins être émises. D'une part, les paysages forts ouverts qui couvrent la majorité du Massif armoricain (cf. les trois études de Langazel à Trémaouezan dans le chapitre C de ce mémoire et Pré-en-Pail le Fourneau, Barbier, 1999) permettent probablement des diffusions polliniques sur de grandes distances. Aussi, « l'ambiance boisée » qui apparaît à travers les taux de pollens d'arbres sur la partie nord du Massif armoricain (Fig. 170), pourrait très bien bénéficier de boisements situés sur les marges extérieures, à l'est et au nord du Massif.

Par ailleurs, l'absence d'une date absolue sur les niveaux forts anciens de l'étude de Gathémo est préjudiciable et cela même s'il existe une date dans les niveaux immédiatement supérieurs (fin Préboréal : Ly 2406 : 9250 ± 180 BP soit 9200 (95,4%) 7900 cal. BC). Le caractère fort atypique de cette étude (cf. aussi la composition pollinique particulière dans la carte ci-dessous) mériterait d'être impérativement confirmé par des études supplémentaires.

- Principaux groupements « régionaux »

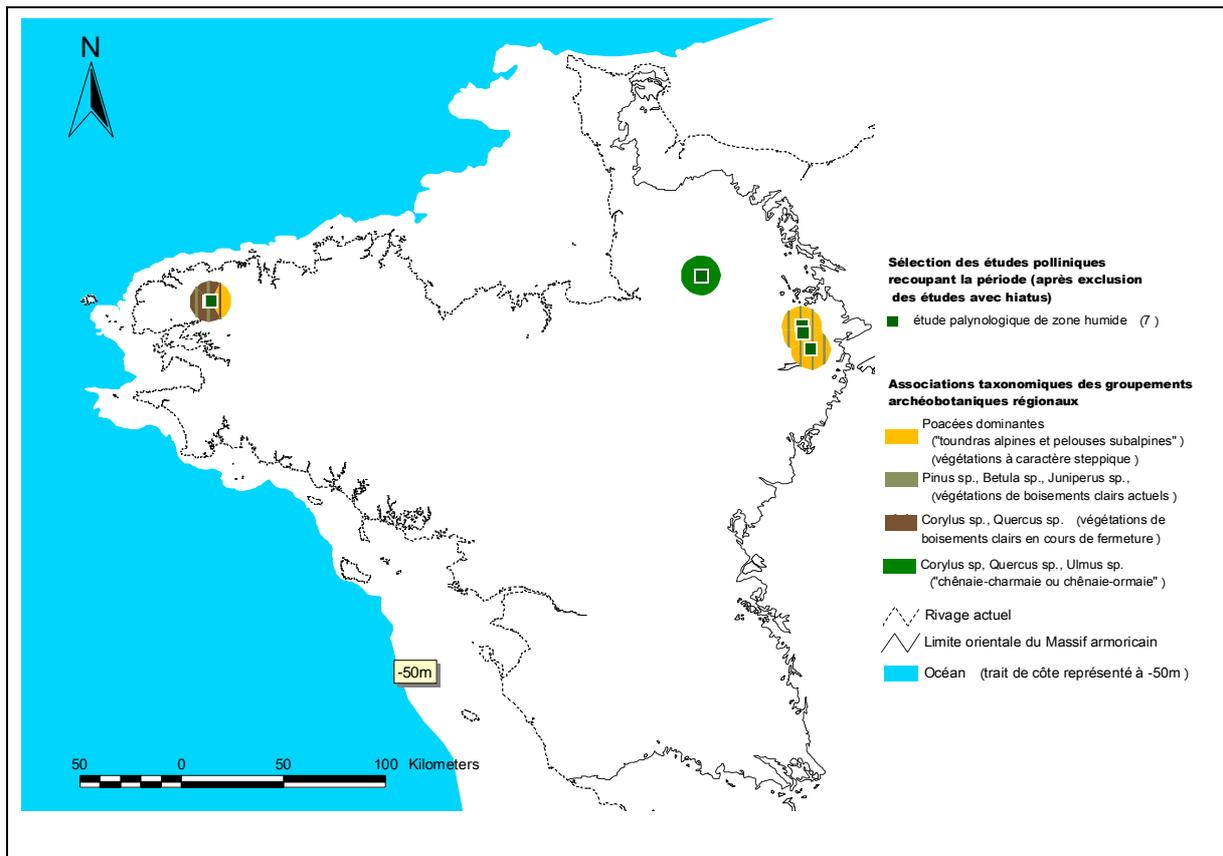


Fig. 171 Distribution géographique des deux principaux groupements archéobotaniques issus de l'apport pollinique « régional » identifiés dans chaque étude et représentés sous la forme de disques de 10 kilomètres de rayon, pour la période du début du Préboréal.

Excepté l'étude de Gathémo, la plupart des études polliniques recoupant le début du Préboréal sont encore dominées par des végétations à caractère steppique (ex. sondages de « la vie » et de « Saint-Ursin » à Lignière-Orgère, ainsi que de Pré-en-pail au Fourneau Barbier, 1999 et de Langazel 1 à Trémaouezan, Marguerie et Marcoux, 2000). Ces compositions polliniques de taxons herbacés sont néanmoins de plus en plus mêlées à des associations polliniques de taxons d'arbres (notamment de noisetiers et de bouleaux) (ex. études de Langazel, parcelles ZA15 et 100 à Trémaouezan, cf. chapitre C). Ces mélanges polliniques ont donc pu provenir de boisements encore clairsemés au milieu de végétations rases dominées par les Poacées.

Les pollens de *Pinus*, systématiquement identifiés, mais en faibles quantités (souvent moins de 10%), traduisent probablement toujours des apports lointains.

B.4.3.2 La fin du Préboréal (9450 – 8900 BP)

- Inventaire

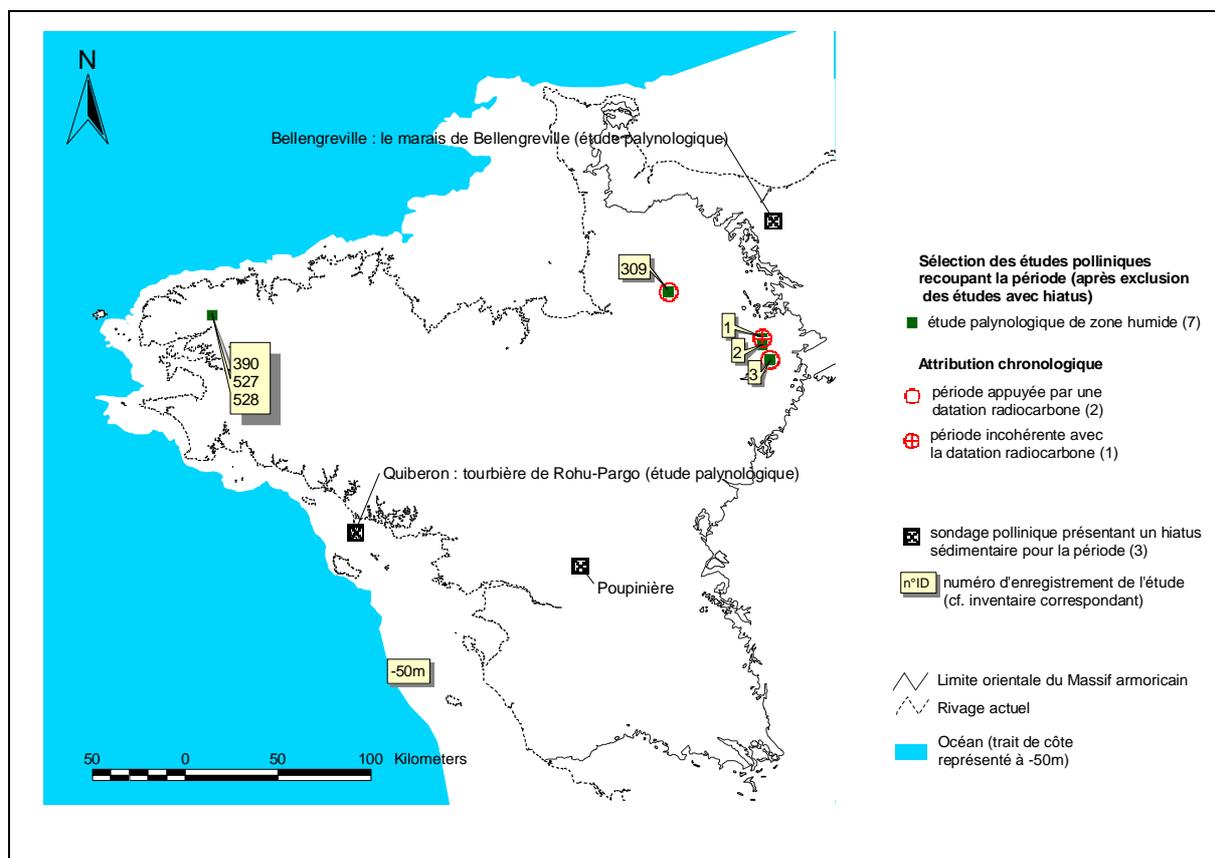


Fig. 172 Carte de répartition des études recoupant la fin du Préboréal.

En ce qui concerne l'inventaire des études recoupant la fin du Préboréal, on retrouve l'ensemble des résultats inventoriés dans la première moitié de la période. En revanche, cette seconde période possède une datation en plus. Seule la datation du sondage de « La Vie » à Lignière-Orgère (Barbier, 1999) semble un peu vieillie.

- Taux de pollens d'arbres et de Poacées

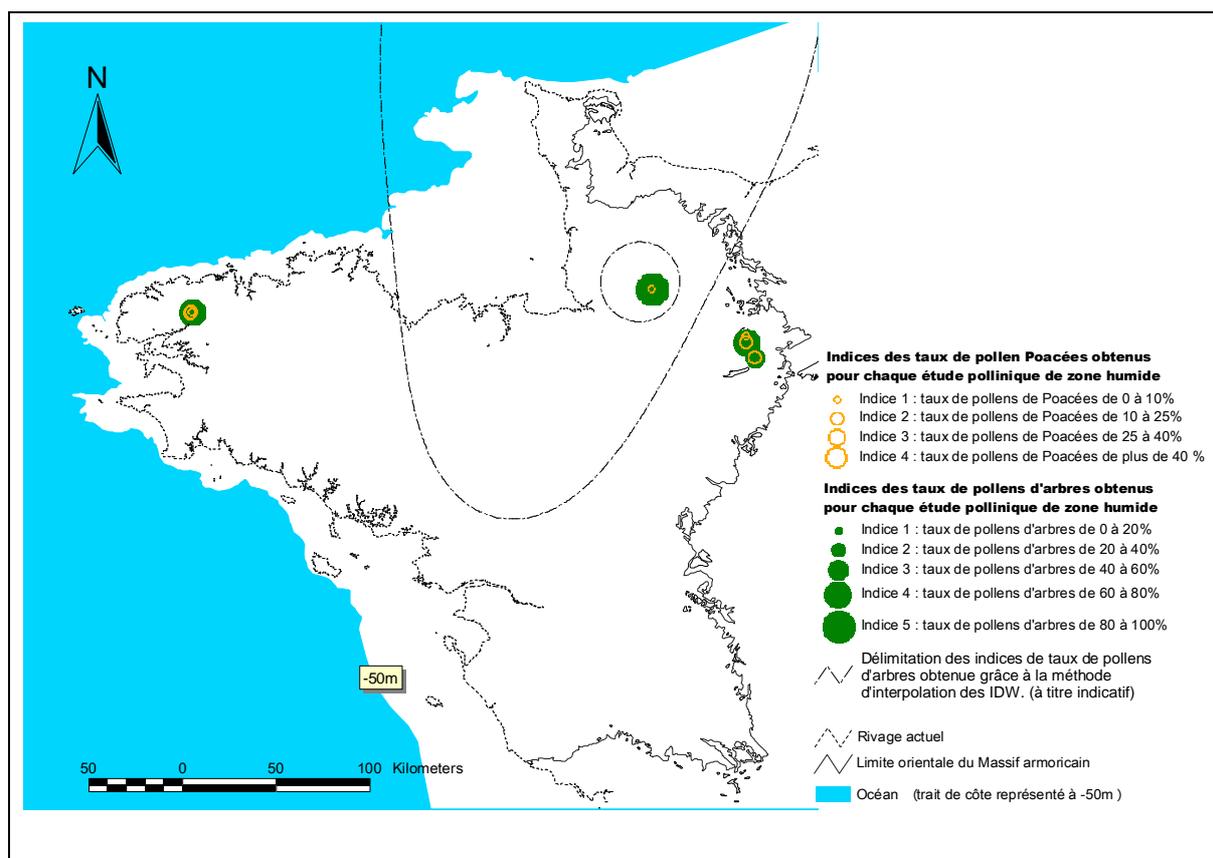


Fig. 173 Représentation et distribution géographique des taux de pollens de Poacées et d'arbres pour la période de la fin du Préboréal. A titre indicatif, une délimitation des grandes tendances de la répartition régionale des taux de pollens d'arbres a été calculée par la méthode d'interpolation des IDW.

Les taux de pollens d'arbres ont à nouveau augmenté dans leur ensemble par rapport au début du Préboréal (cf. § B.3.3.1.3 évolution des taux d'AP). Néanmoins, les grands traits de la répartition spatiale de ces taux de pollens d'arbres restent identiques. En effet, la zonation réalisée par la méthode d'interpolation des IDW met à nouveau en évidence un fort taux de pollens d'arbres au niveau du sondage de Gathémo (Lechevalier, 1986). Ce résultat pourrait paraître anachronique, s'il n'y avait l'existence d'une datation absolue réalisée sur les niveaux de cette composition pollinique (cf. Liste des études pour la fin du Préboréal en annexe).

A l'exception de l'étude de Gathémo, les taux de pollens d'arbres oscillent entre 40 et 80%... Désormais, ce sont plutôt les végétations arborescentes qui semblent dominer les paysages. Par ailleurs, les taux de Poacées n'excèdent jamais plus 25%.

Ces résultats s'accordent donc pour décrire des paysages en cours de reboisement. D'après les résultats polliniques, ces boisements sont principalement composés par des noisetiers, bouleaux (arbres colonisateurs), chênes et pins. Notons que ce dernier taxon est systématiquement identifié mais avec de faibles fréquences polliniques. Ce constat va donc à nouveau dans le sens d'une provenance lointaine et diffuse des pollens de pin (Fig. 174), peut-être depuis une origine extérieure au Massif armoricain (?).

- Principaux groupements « régionaux »

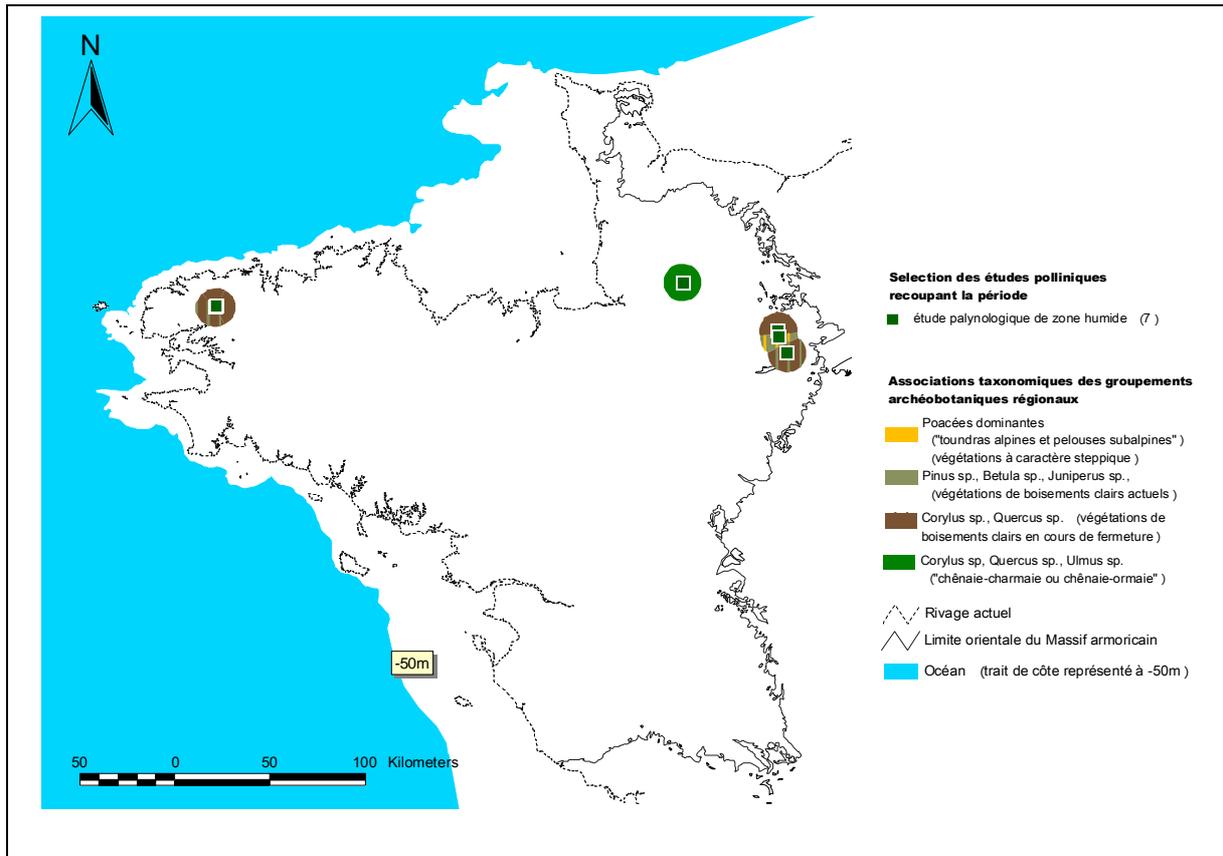


Fig. 174 Distribution géographique des deux principaux groupements archéobotaniques issus de l'apport pollinique « régional » identifiés dans chaque étude et représentés sous la forme de disques de 10 kilomètres de rayon, pour la période de la fin du Préboréal.

B.4.4 La période du Boréal (8900 – 7800 BP)

B.4.4.1 Le début du Boréal (8900 - 8350 BP)

- Inventaire

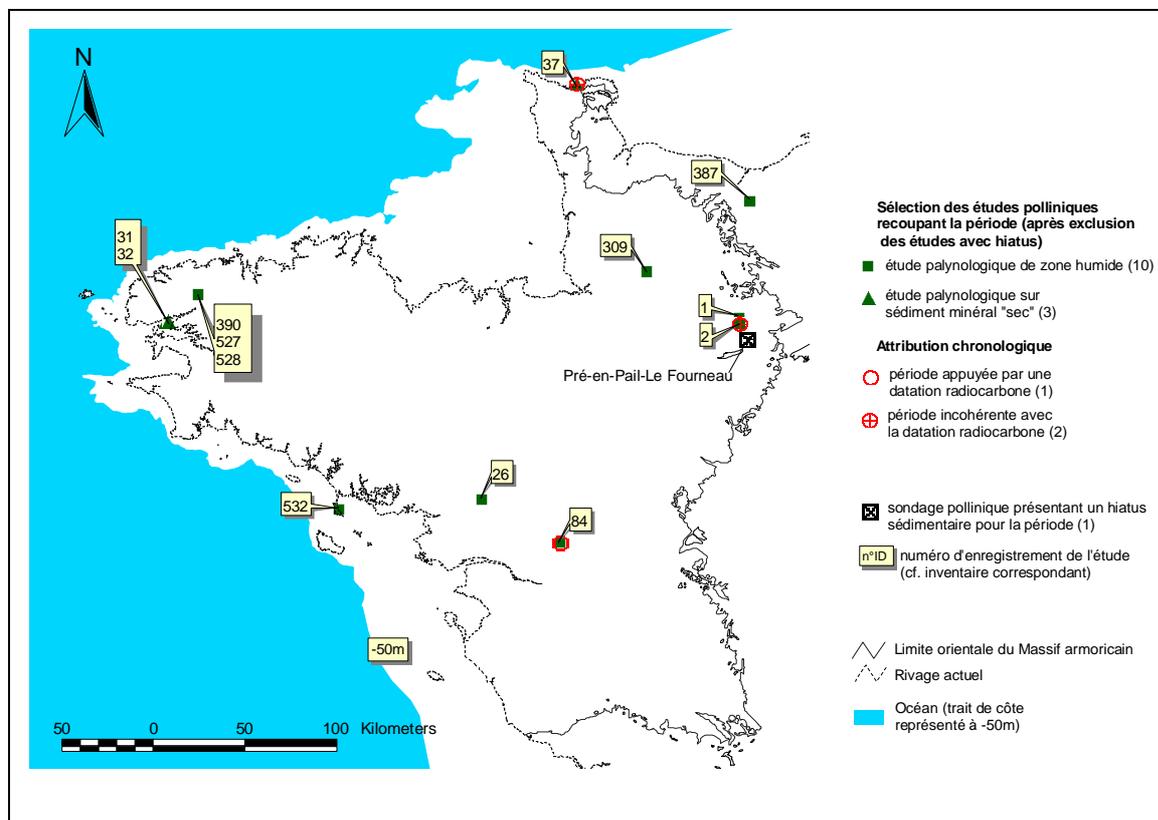


Fig. 175 Carte de répartition des études recoupant le début du Boréal.

Treize études palynologiques dont dix études réalisées en zones humides ont été inventoriées pour cette période (Fig. 175 ci-dessus et inventaire des études en Annexe). Malheureusement, une seule étude a été datée pour le début du Boréal. Trois études ont été réalisées dans des fonds marins, il s'agit des études réalisées dans la rade de Brest et dans la baie des Becquets près de Cherbourg (Morzadec-Kerfourn, 1974).

Une seule étude présentant un hiatus de sédimentation a été signalée pour cette période. Il s'agit de l'étude de Pré-en-Pail, le Fourneau (Barbier, 1999). Ce constat va dans le sens de conditions de tourbification et de sédimentation plutôt favorables à l'enregistrement pollinique (cf. § B.3.3.1.2).

Cependant, ces faibles effectifs ne permettent pas, là non plus, de réaliser de véritables traitements spatiaux ou statistiques des données.

- Taux de pollens d'arbres et de Poacées

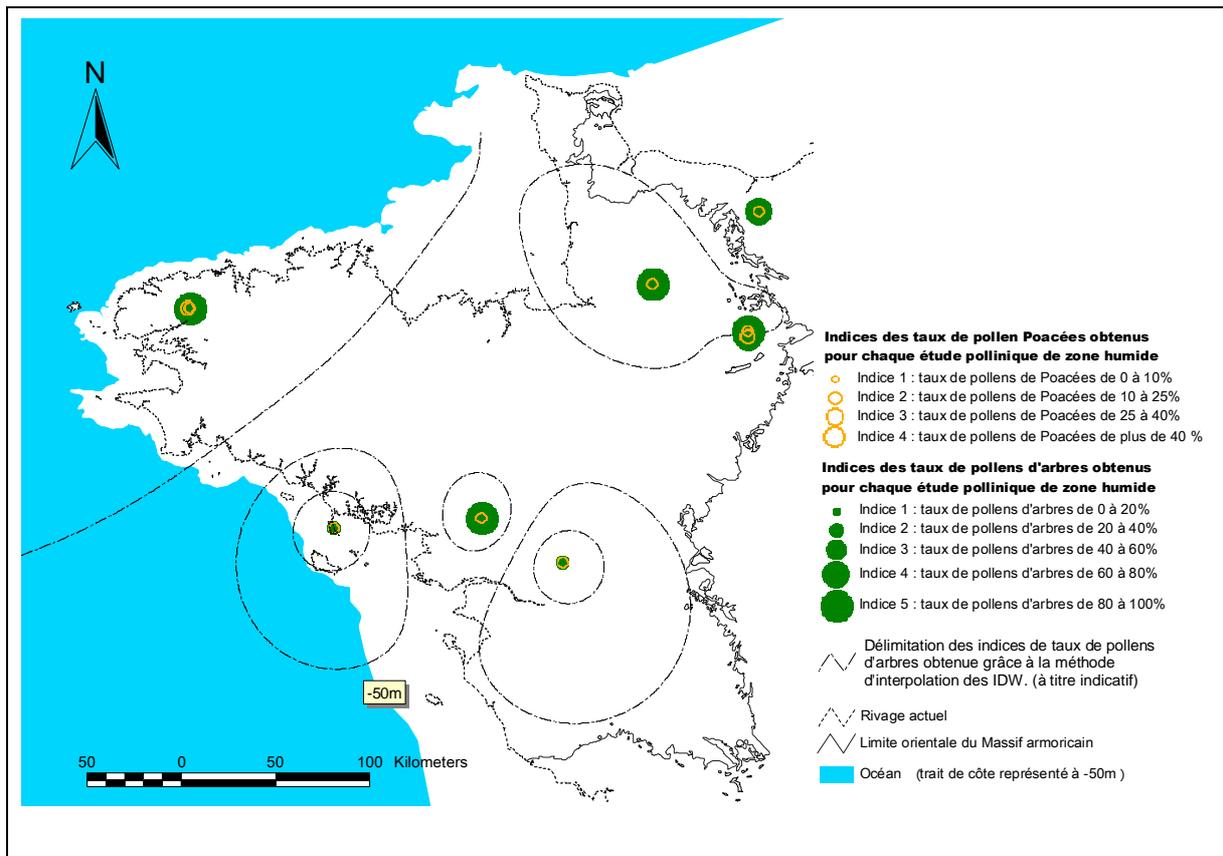


Fig. 176 Représentation et distribution géographique des taux de pollens de Poacées et d'arbres pour la période du début du Boréal. A titre indicatif, une délimitation des grandes tendances de la répartition régionale des taux de pollens d'arbres a été calculée par la méthode d'interpolation des IDW.

La moyenne des indices des taux de pollens d'arbres annonce des taux oscillant autour de 60 à 80%. Ces fortes valeurs sont néanmoins à modérer au regard de la nature des taxons pollinique observés. Les pollens d'arbres sont principalement composés de pollens de noisetier, de chêne et dans une moindre mesure de bouleau. Or, ces trois taxons sont reconnus pour leur sur-représentation pollinique. Par ailleurs, à côté d'études présentant des taux de pollens d'arbres très forts (entre 80 et 100% pour les études de Lignière-Orgère La vie (Barbier, 1999), Redon marais sondage 36, rade de Brest sonde N-O et NS (Morzadec-Kerfourn, 1974), Gathémo (Lechevalier, 1986), Trémaouezan Langazel 1 5Marguerie et Marcoux, 2000), on trouve des études avec peu de pollens d'arbres (étude du site de Poupinière et de Rohu-Pargo à Quiberon encore éloigné de la côte (chapitre C). Il n'est évidemment pas possible de tirer de conclusions fiables à cause du faible effectif d'études. Néanmoins, il semble que le paysage végétal armoricain soit assez contrasté avec des endroits forts boisés et d'autres, plus rares, encore très ouverts (Fig. 176).

- Principaux groupements « régionaux »

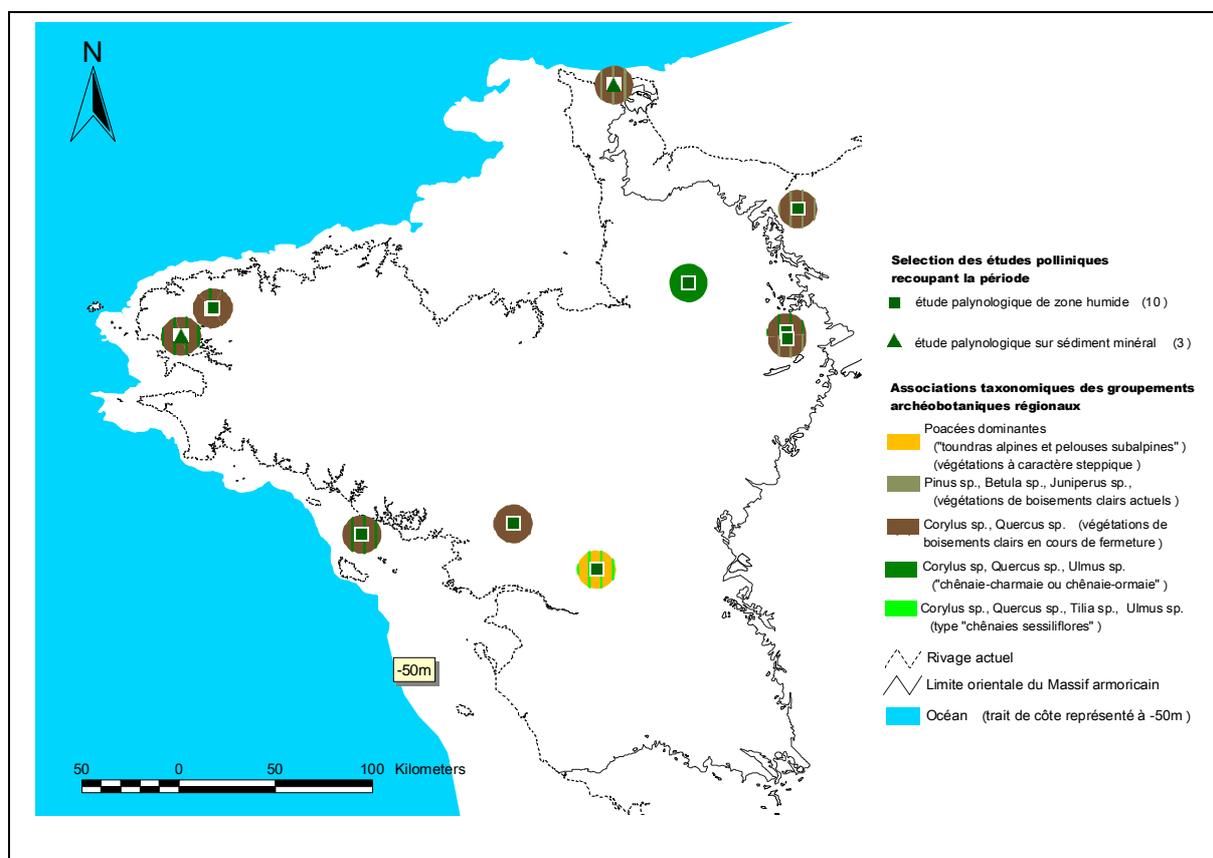


Fig. 177 Distribution géographique des deux principaux groupements archéobotaniques issus de l'apport pollinique « régional » identifiés dans chaque étude et représentés sous la forme de disques de 10 kilomètres de rayon pour la période du début Boréal.

En ce qui concerne la composition du couvert végétal, ce sont des boisements dominés par le noisetier, le chêne et le bouleau que l'on trouve sur la plus grande partie du Massif armoricain (cf. fréquences des occurrences de ces taxons, Fig. 106, Fig. 107 et Fig. 105). Le pin apparaît quant à lui toujours au moins en « bruit de fond » et parfois dans des proportions non négligeables. En effet, les attestations polliniques de *Pinus* apparaissent classées parmi les trois taxons polliniques d'arbres dominants, dans environ une étude sur deux (Fig. 108). L'orme est détecté en faible proportion dans bon nombre d'études. Enfin quelques rares attestations de tilleul sont à noter.

L'étude du site de la Poupinière (Ouguerram, 2002) présente une composition pollinique atypique par rapport aux résultats obtenus dans les autres études (avec d'ailleurs un taux de pollens d'arbres très faible). L'attribution chronologique de ce résultat est basée sur une date radiocarbone (A10727: 8790 ± 230 BP : 8600 (95,4%) 7300 cal. BC). Néanmoins, la forte marge d'erreur pourrait très bien aussi faire coïncider ce résultat avec la période du Préboréal.

B.4.4.2 La fin du Boréal (8350 - 7800 BP)

- Inventaire

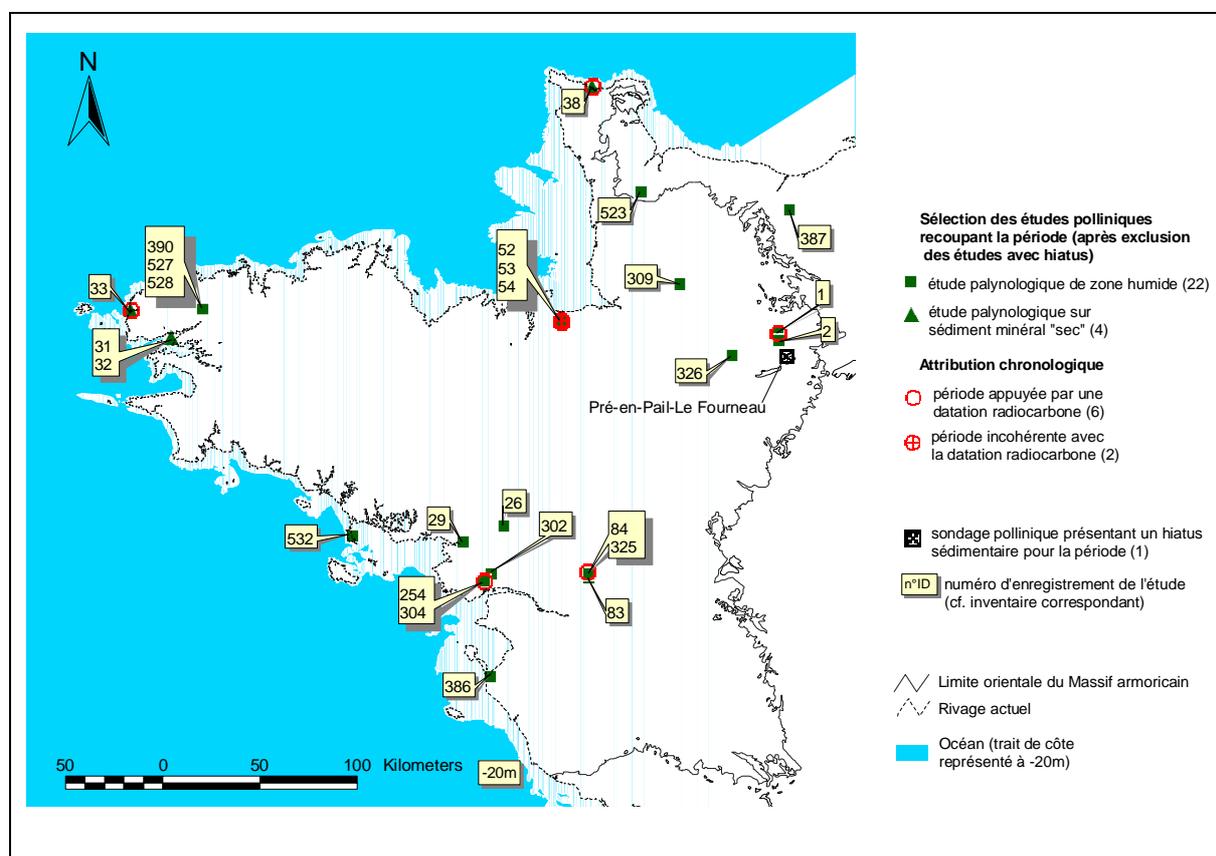


Fig. 178 Carte de répartition des études recoupant la fin du Boréal.

Vingt-six études polliniques, dont vingt-deux réalisées dans des zones humides, recoupent la période de la fin du Boréal. Par ailleurs, huit datations dont six cohérentes, ont été obtenues dans les niveaux polliniques correspondants (Fig. 178 et inventaire en annexe).

Ces études sont surtout réparties dans la partie nord-est et dans les environs de l'estuaire de la Loire (Fig. 178).

Les vingt études polliniques de zones humides permettent un traitement spatial des valeurs des taux de pollens d'arbres par krigeage. Les grandes tendances de la répartition des taux de pollens d'arbres obtenues sont néanmoins à interpréter avec beaucoup de précaution dans les secteurs vides de points de sondage (ex. centre-Bretagne) (Fig. 179 et Fig. 180).

- Taux de pollens d'arbres et de Poacées

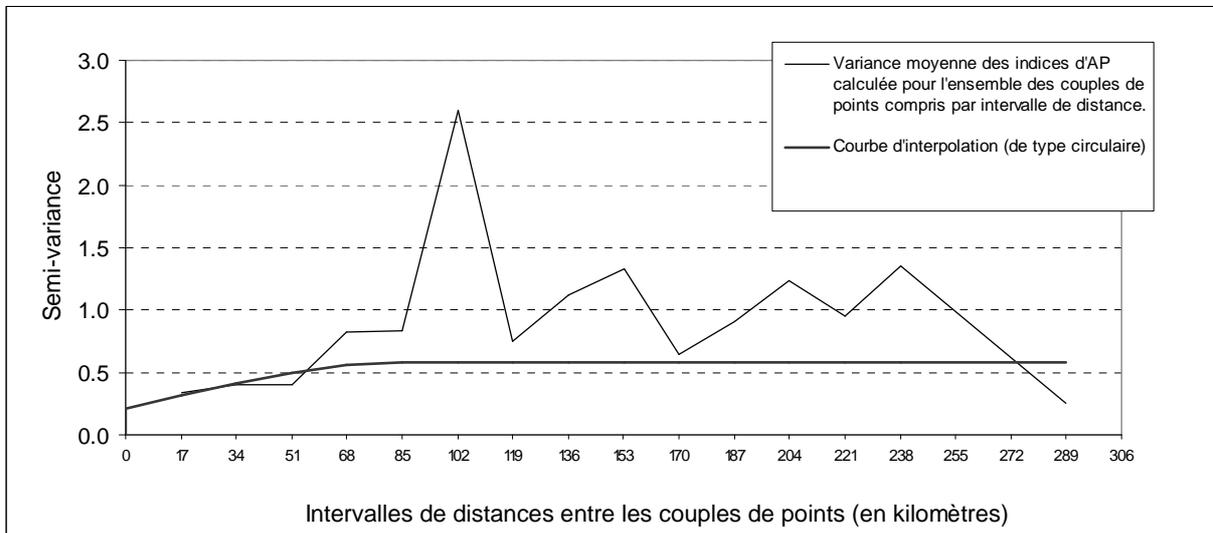


Fig. 179 Semi-variogramme et courbe d'interpolation des indices des taux de pollens d'arbres de la fin du Boréal (lag interval = 17000 mètres et courbe d'interpolation de type circulaire) ayant permis la construction de la carte d'interpolation des taux de pollens d'arbres. (RMS error = 0,77).

Le semi-variogramme montre une augmentation conjointe entre les variances d'AP et les distances de l'ensemble des couples de points sur les cent premiers kilomètres environ. Au-delà, les variances obtenues entre les couples de points deviennent très fortes. Autrement dit, la répartition des taux de pollens d'arbres proposée par chaque sondage, montre des tendances paysagères lorsque ces sondages sont séparés sur moins de cent kilomètres. Lorsque les points de sondages sont séparés de plus de cent kilomètres, il semble ne plus exister de relation entre les valeurs des taux de pollens d'arbres obtenus.

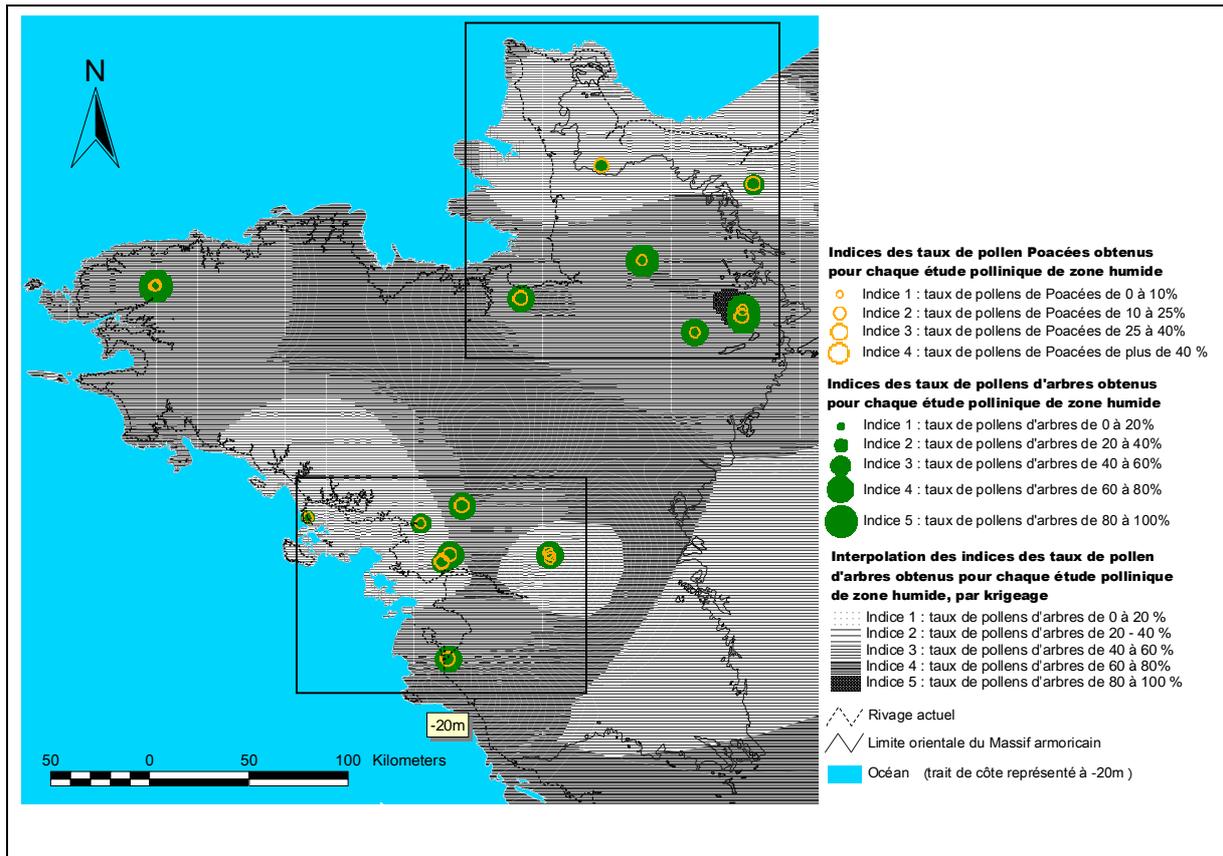


Fig. 180 Représentation et distribution géographique des taux de pollens de Poacées et d'arbres pour la période de la fin du Boréal. Le fond de carte est issu de l'interpolation des taux de pollens d'arbres à partir des études de zones humides et après exclusion des études présentant des datations en décalage chronologique. Deux fenêtres ont été sélectionnées en raison du nombre d'études palynologiques présent dans ces secteurs.

La moyenne des indices des taux de pollens d'arbres obtenue oscille entre les indices 3 et 4 (Fig. 89), ce qui est cohérent avec la carte obtenue (Fig. 180). Ces indices sont synonymes de forts boisements. La carte d'interpolation montre cependant quelques différences dans la distribution spatiale des valeurs.

Si l'on écarte les secteurs ne présentant pas de sondage pollinique, deux fenêtres se prêtent assez bien à l'analyse de l'effet de la continentalité. Une fenêtre comprenant sept études, qui couvrirait la partie nord-est du Massif armoricain et une fenêtre correspondant aux environs de l'embouchure de la Loire (fenêtre comprenant dix études Fig. 181).

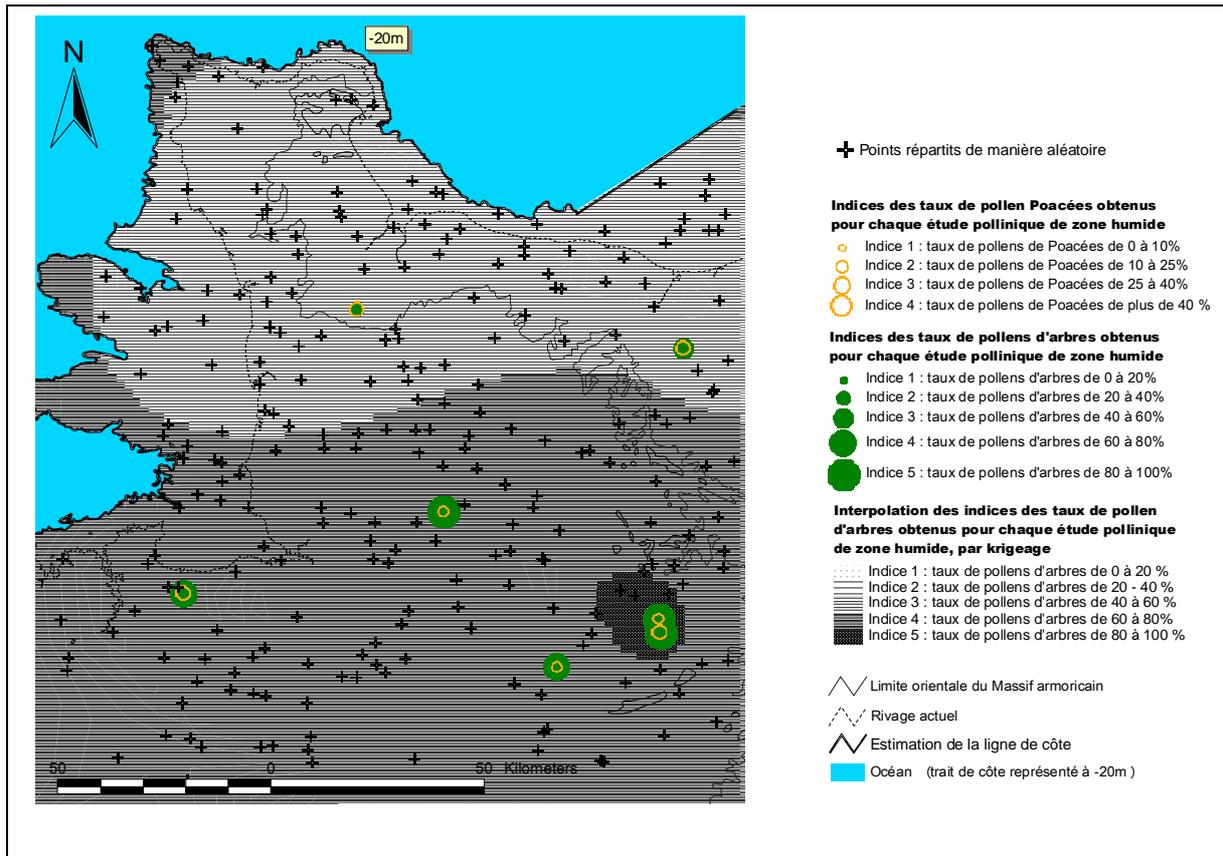


Fig. 181 Représentation et distribution géographique des taux de pollens de Poacées et d'arbres pour la fenêtre de la partie nord-est du Massif armoricain à la période de la fin du Boréal. Le fond de carte est issu de l'interpolation des taux de pollens d'arbres à partir des études de zones humides et après exclusion des études présentant des datations en décalage chronologique. Des valeurs de distances par rapport au rivage et des taux de pollens d'arbres interpolés ont été attribués à 242 points répartis de manière aléatoire à la surface de ce secteur.

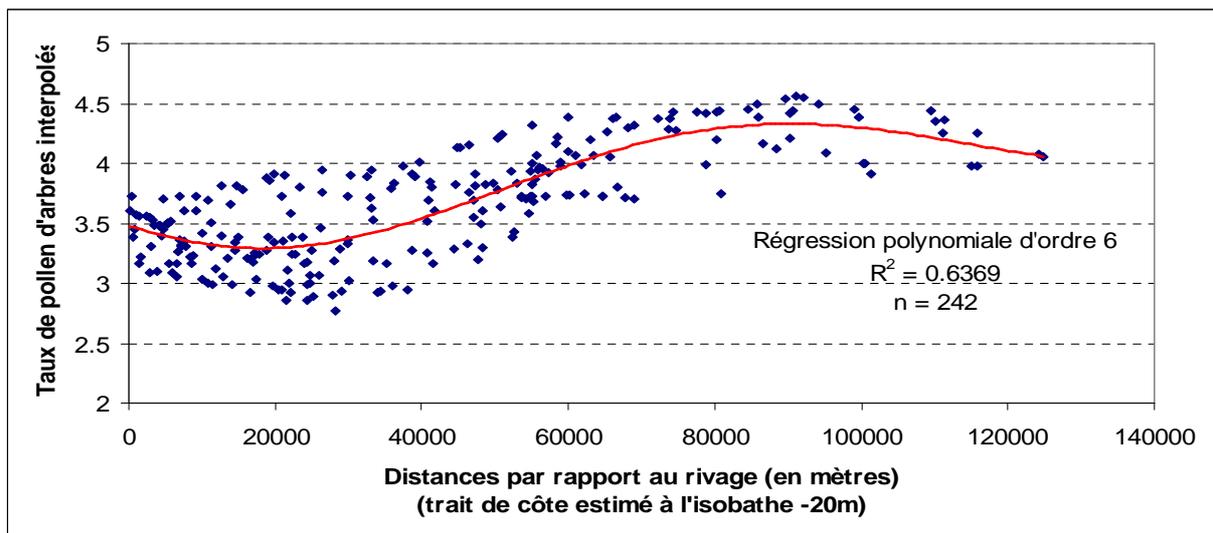


Fig. 182 Relation entre les indices des taux de pollens d'arbres interpolés (cf. codages des indices des taux de pollens d'arbres § B.2.2.2.42) et la distance au rivage estimé à la fin du Boréal dans la partie nord-est du Massif armoricain.

On constate assez logiquement un effet de la continentalité puisque les paysages littoraux apparaissent les plus ouverts. L'effet du littoral semble se faire sentir sur soixante

kilomètres environ. (cf. carte sur la fenêtre du nord-est du Massif armoricain Fig. 181 et courbe mettant en relation la distance par rapport au rivage et les taux de pollens d'arbres interpolés au niveau de 242 points répartis de manière aléatoire dans cette fenêtre, Fig. 182). Notons la valeur de l'indice de détermination qui est assez bonne ($R^2 = 0,64$), ce qui tend à appuyer l'existence de cette relation entre la distance au littoral et les taux de pollens d'arbres interpolés, sur l'ensemble de la fenêtre.

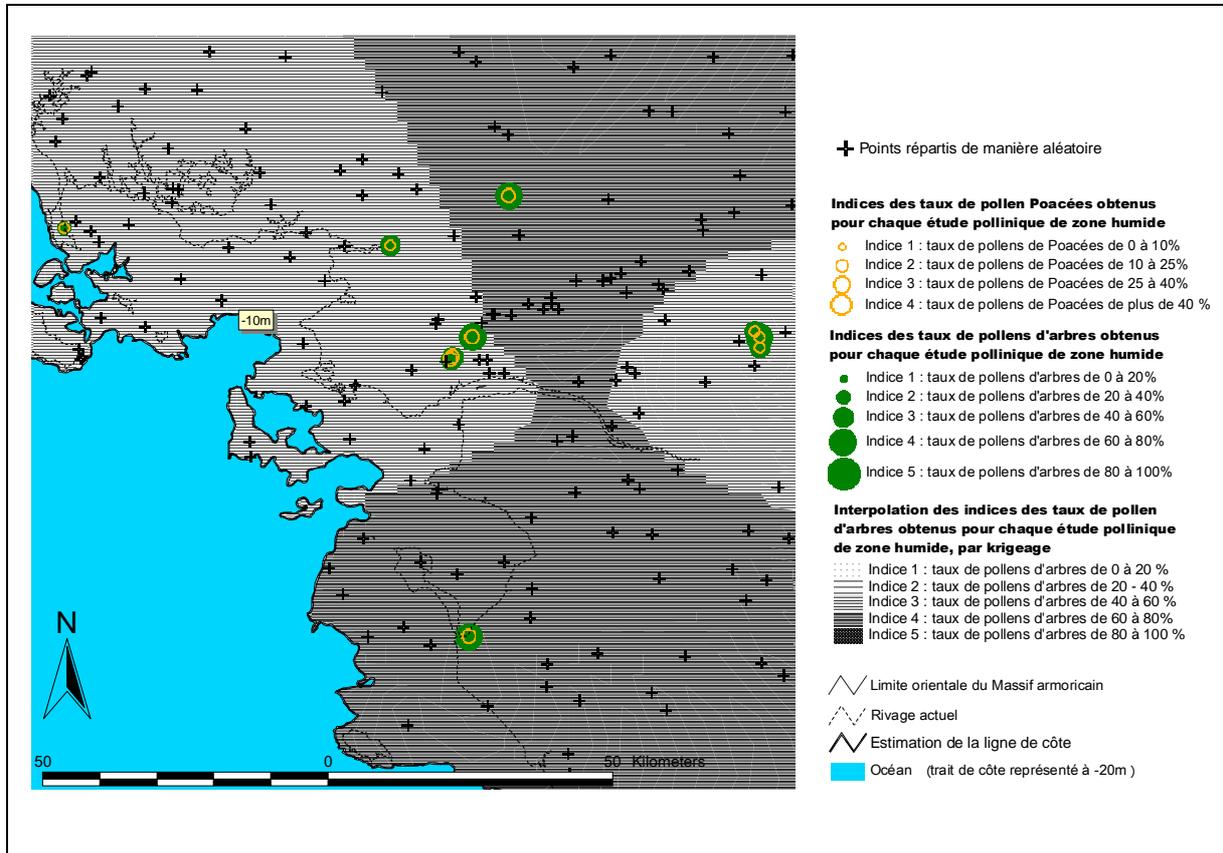


Fig. 183 Représentation et distribution géographique des taux de pollens de Poacées et d'arbres pour la fenêtre de la partie sud du Massif armoricain à la période de la fin du Boréal. Le fond de carte est issu de l'interpolation des taux de pollens d'arbres à partir des études de zones humides et après exclusion des études présentant des datations douteuses. Des valeurs de distances par rapport au rivage et des taux de pollens d'arbres interpolés ont été attribuées à 153 points répartis de manière aléatoire à la surface de ce secteur.

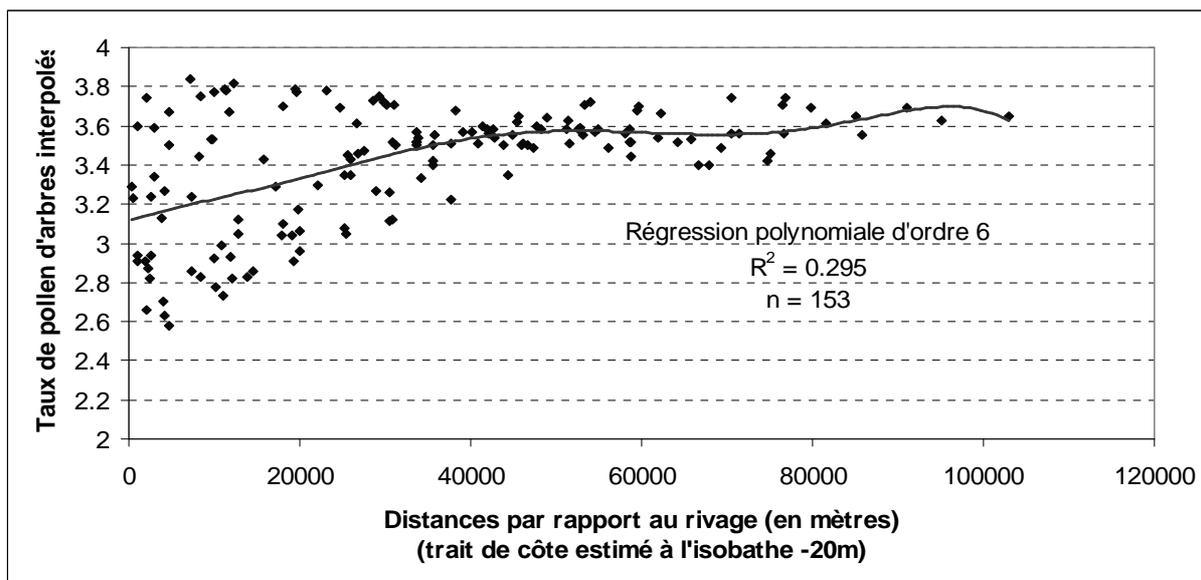


Fig. 184 Relation entre les indices des taux de pollens d'arbres interpolés (cf. codages des indices des taux de pollens d'arbres § B.2.2.2.42) et la distance au rivage estimé à la fin du Boréal dans la fenêtre sud-est du Massif armoricain.

Les taux de pollens d'arbres interpolés du secteur de l'estuaire de la Loire sont soumis au phénomène de la continentalité mais cet effet apparaît plus nuancé ou plus hétérogène que pour la fenêtre nord ($R^2 = 0,3$). Plusieurs autres phénomènes peuvent en effet jouer sur les grandes tendances spatiales des valeurs des taux de pollens d'arbres. En plus de certains effets locaux (ex. le taux d'AP de l'étude de Barre-de-Monts, Verger et Florschütz, 1960), qui peuvent toujours biaiser les tendances régionales et ce malgré le lissage des valeurs atypiques par la méthode du krigeage, le réseau hydrographique tel que celui de la Loire a pu engendrer l'existence de nombreuses plaines alluviales soumises aux « caprices » du fleuve (et notamment des inondations). Ce chevelu hydrographique offre ainsi des paysages probablement un peu plus ouverts, tels que ceux qui semblent se dégager autour des points de sondages des marais de l'Erdre (Petit-Mars, Planchais, 1971 ; Mazerolles et Poupinière, Ouguerram, 2002, Fig. 183).

- Principaux groupements « régionaux »

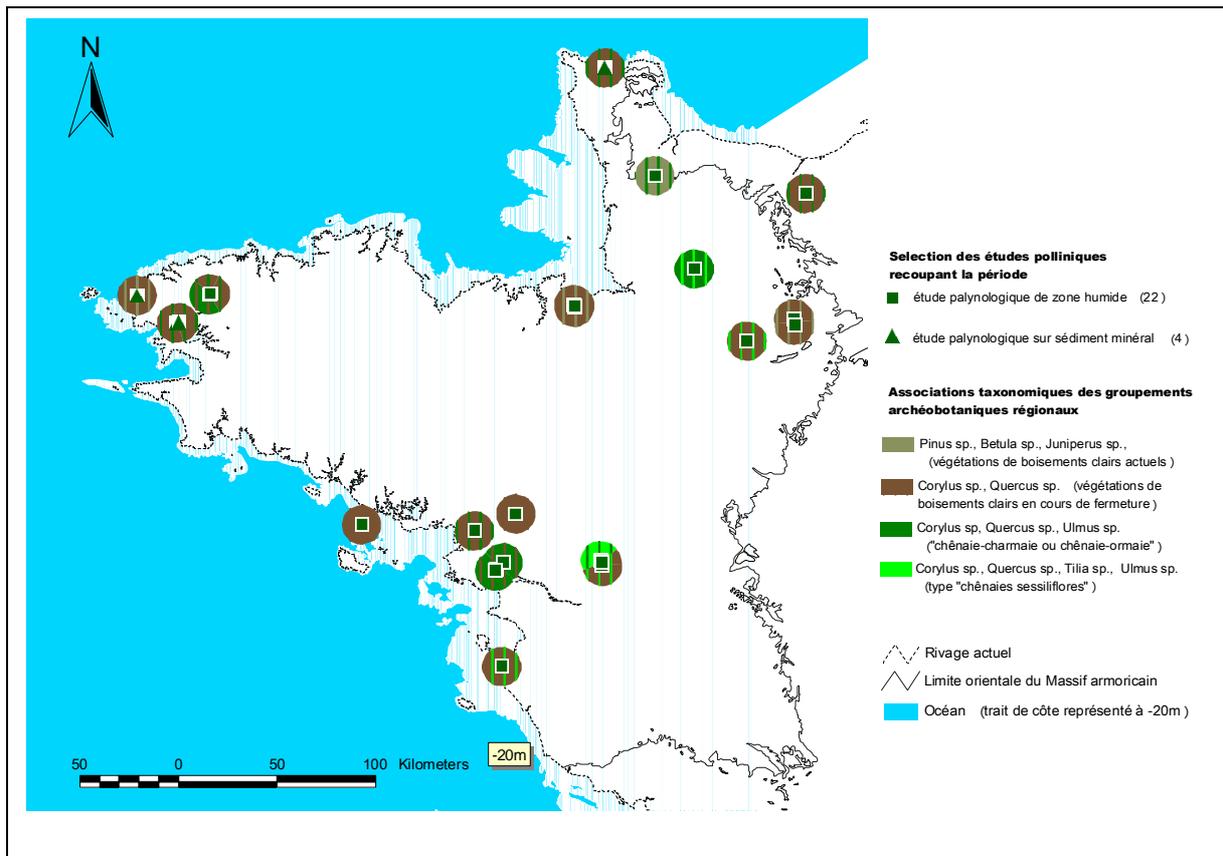


Fig. 185 Distribution géographique des deux principaux groupements archéobotaniques issus de l'apport pollinique « régional » identifiés dans chaque étude et représentés sous la forme de disques de 10 kilomètres de rayon pour la période de la fin du Boréal.

Tout comme au début du Boréal, c'est l'association pollinique régionale « *Corylus, Quercus* » qui domine, devant le groupement de « *Corylus, Quercus, Ulmus* ». On trouve dans une moindre mesure les groupements à « *Corylus, Quercus, Tilia, Ulmus* » et à « *Pinus, Betula, Juniperus* » (Fig. 104). Le paysage armoricain de cette fin du Boréal est donc dominé par des végétations à base de noisetiers et chênes. Les attestations polliniques de pin sont systématiquement présentes. Les fréquences polliniques du pin arrivent bien souvent en troisième position après le noisetier et le chêne. Il est donc probable que quelques bosquets de pins se sont aussi développés sur le Massif armoricain. Le pin est néanmoins reconnu pour sa forte production pollinique. Les taux polliniques relativement modérés de pin qui ont généralement été constatés, ne traduisent donc pas des végétations dominantes. Par ailleurs, une part de ces pollens provient sans doute de l'extérieur du Massif armoricain.

- Explication de la répartition régionale des groupements polliniques « régionaux » par les paramètres abiotiques : analyse de co-inertie

1. Analyse Factorielle des Correspondances des groupements polliniques « régionaux » identifiés dans les études polliniques de zones humides de la seconde moitié du Boréal

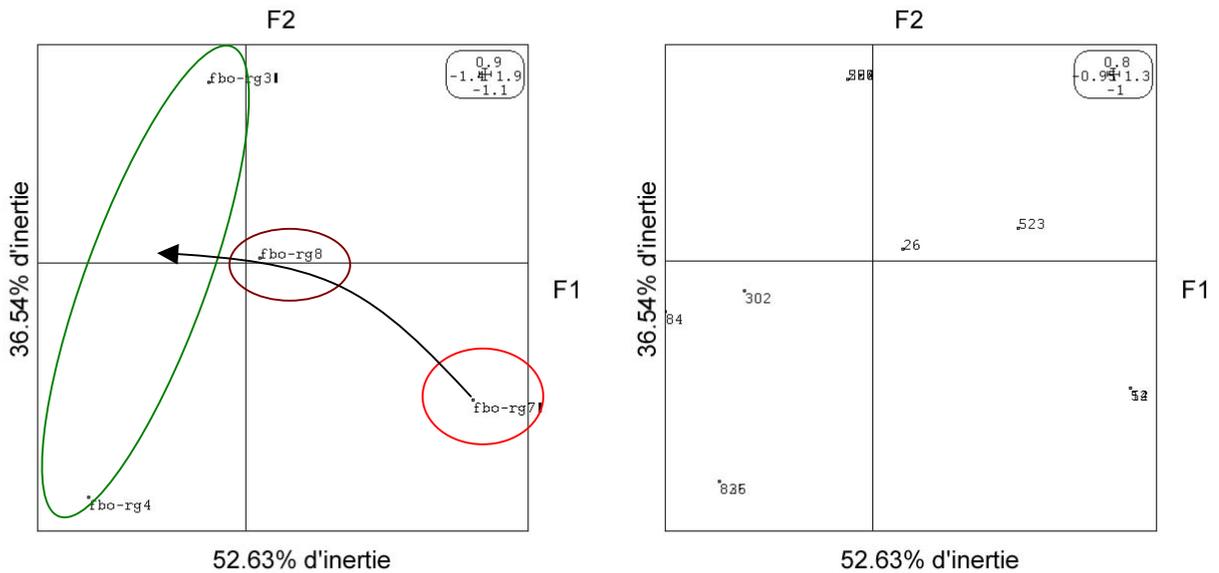


Fig. 186 AFC des groupements archéobotaniques régionaux de la fin du Boréal identifié dans les études polliniques de zones humides (rg3 : « *Corylus, Quercus, Ulmus* » ; rg4 : « *Corylus, Quercus, Ulmus, Tilia* » ; rg7 : « *Pinus, Betula, Juniperus* » ; rg8 : « *Corylus, Quercus* »). Le groupement n°2, « *Quercus* dominant », identifié dans une étude a été retiré de l'analyse car il prenait alors une grande part de l'inertie. Le plan factoriel de droite représente la position des études dans le plan factoriel 1-2.

L'axe F1 qui représente 52.63% de l'inertie totale permet de dissocier les études possédant l'association rg7, végétation de recolonisation de moins en moins fréquente, vis-à-vis des études présentant les groupements de chênaies : les groupements n°4 et n°3. Le groupement n°8, à base de noisetier, est présent dans presque toutes les études ce qui explique la position « centrale » de ce groupement dans le plan factoriel 1-2. Il ressort de cette première analyse, un sens de « colonisation végétale » allant du groupement n°7 vers les groupements de chênaies n°3 et n°4 et suivant globalement le sens inverse de l'axe F1 (cf. flèche dans la Fig. 186).

2. Analyse des Composantes Principales des paramètres abiotiques des études polliniques de zones humides recoupant la seconde moitié du Boréal

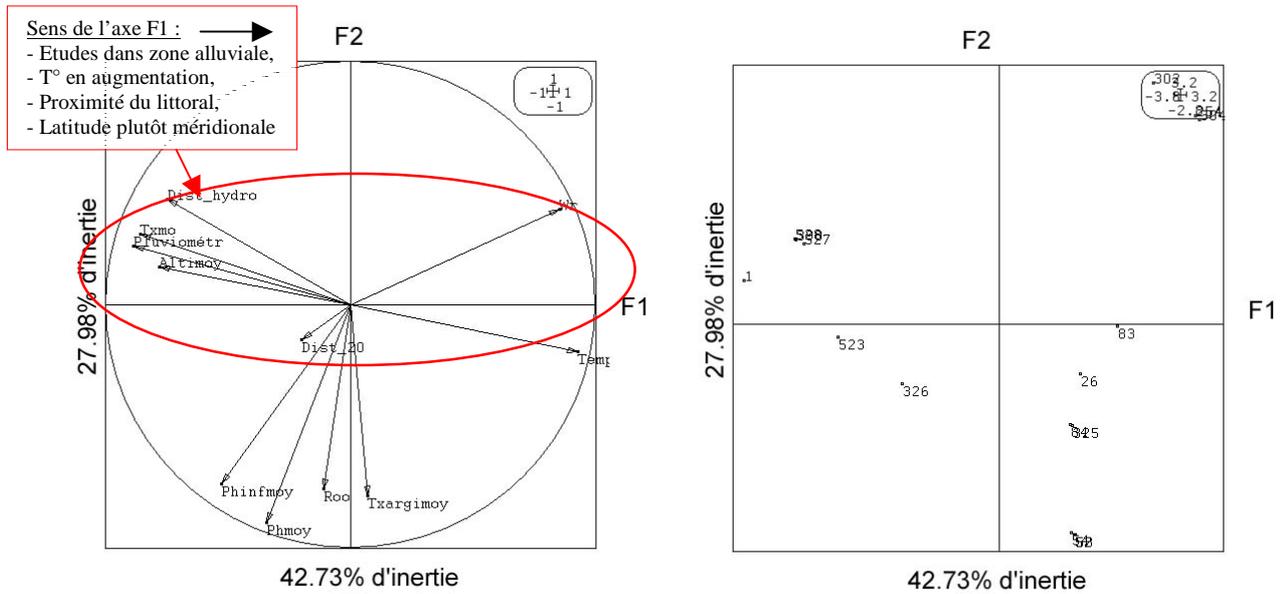


Fig. 187 ACP des paramètres abiotiques des études recoupant la fin du Boréal. Un certain nombre d'études a été retiré de cette analyse à cause de l'absence de données concernant un ou plusieurs facteurs environnementaux. Les paramètres pris en compte sont les suivants : « Temp » : température moyenne annuelle actuelle au point d'étude ; « Wr » : régime hydrique ; « Txargimoy » : taux d'argile moyen pour le canton ; « Phmoy » : Ph moyen des sols pour le canton ; « Phinf » : Ph inférieur des sols par canton ; « Dist_20 » : distance du point d'étude par rapport à l'isobathe des -20m ; « Dist_hydro » : Distance de chaque point de sondage par rapport au réseau hydrique principal ; « Altimoy » : altitude moyenne des environs du point de sondage ; « Pluviométr » : pluviométrie annuelle moyenne actuelle au point d'étude ; « Txmo » : Taux de matière organique moyen par canton.

L'axe F1 qui représente 43% de l'inertie totale est principalement expliqué par le régime hydrique, ce qui va de pair avec l'éloignement du réseau hydrique (« Dist_hydro »). La répartition des températures explique aussi une part de l'axe principal. Ces températures augmentent probablement avec une latitude plus méridionale et avec la proximité du rivage.

3. Analyse de co-inertie à partir de l'AFC des groupements régionaux et de l'ACP des paramètres abiotiques des études recoupant la seconde moitié du Boréal

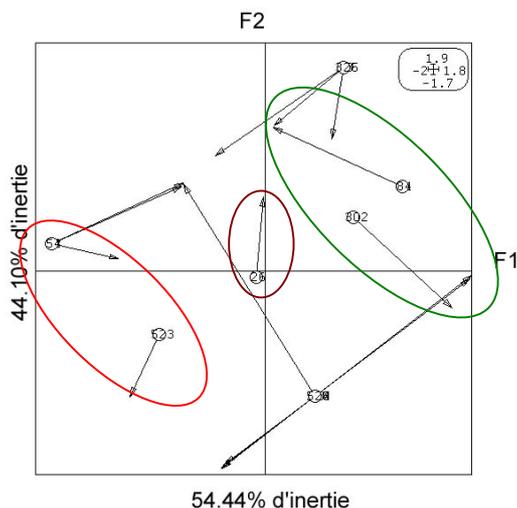


Fig. 188 Analyse de co-inertie à partir de l'AFC des groupements régionaux et de l'ACP des paramètres abiotiques des études polliniques de zones humides recoupant la seconde moitié du Boréal. Les études sont signalées par leur numéro d'enregistrement. Un test de Monte Carlo (1000 permutations aléatoires réalisées sur les valeurs des deux tables) a montré que la relation obtenue par l'analyse de co-inertie n'est pas due au hasard à 72,5%.

Il ne ressort pas de véritable cohérence entre les analyses multivariées de l'ACP et de l'AFC. Cette incohérence apparaît notamment avec l'instabilité de bon nombre d'études, représentée par la longueur de leur flèche. On peut néanmoins noter la stabilité de quelques points vis-à-vis de l'axe F1: c'est le cas des études « 523 », « 26 », « 302 ». Ces quelques points permettent d'associer le groupement n°7 à des stations plutôt éloignées des vallées alluviales et du littoral avec des températures plus fraîches. Ce groupement n°7 (entouré en rouge) est plutôt localisé dans les études de la moitié nord du Massif armoricain.

L'omniprésence du groupement n°8 dans l'ensemble des études et des stations est marquée par la stabilité de l'étude « 26 » au centre des deux plans factoriels.

Enfin, les groupements de chênaies n°3 et n°4 (entourés en vert) sont plutôt localisés dans les vallées alluviales (notamment la vallée de la Loire) et à proximité du littoral. Ces groupements sont légèrement plus présents dans la moitié sud littoral avec des températures plus douces. Ce seraient donc plutôt par ces secteurs que les chênaies auraient commencé à remplacer les boisements à base de noisetiers à la fin du Boréal, même si la diversité des cas de figures règne (cf. Fig. 185).

B.4.5 La période de l'Atlantique (7800 – 5700 BP)

B.4.5.1 Le début de l'Atlantique (7800 – 6750 BP)

- Inventaire

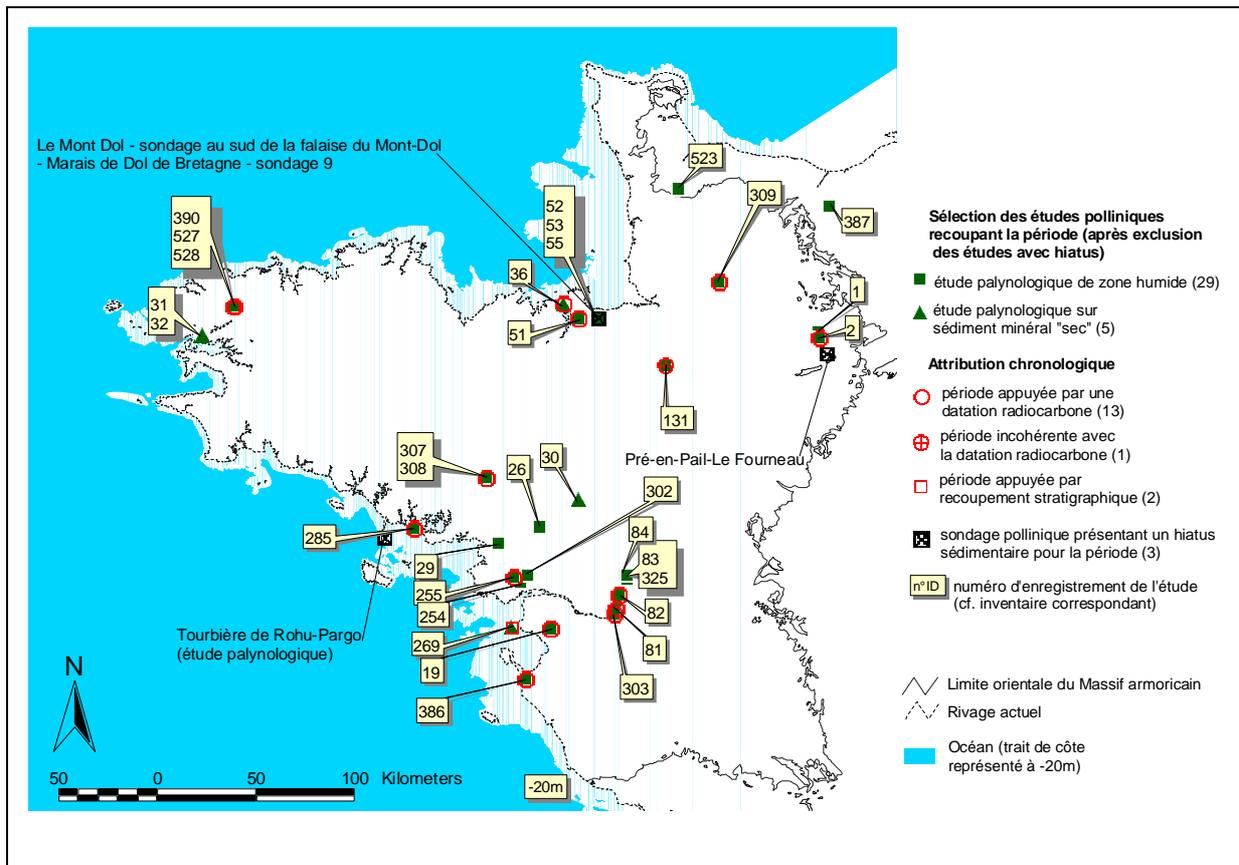


Fig. 189 Carte de répartition des études recoupant la première moitié de la période Atlantique.

Le début de la période Atlantique est renseigné par trente quatre études palynologiques dont vingt-neuf études en provenance de zones humides et quatre études réalisées en contextes minéraux.

L'ensemble de ces études est plutôt concentré dans la moitié orientale du Massif armoricain.

Ces résultats sont appuyés par treize datations radiocarboniques « cohérentes » (Fig. 189).

Enfin, pour cette période seulement trois études polliniques présentent des hiatus ou de forts ralentissements de la sédimentation, il s'agit des études de Rohu-Pargo à Quiberon (cf. chapitre C de ce mémoire), du sondage n°9 réalisé dans les marais du Mont-Dol à Dol-de-Bretagne (Morzadec-Kerfourn, 1974), et de l'étude de Pré-en-Faille Le Fourneau (Barbier, 1999).

- Taux de pollens d'arbres et de Poacées

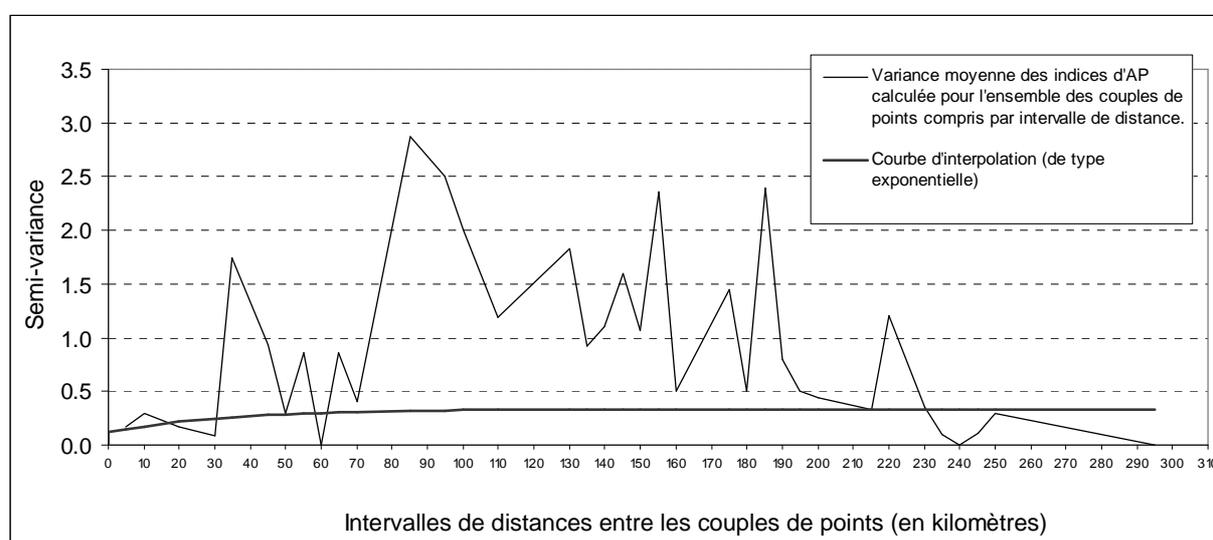


Fig. 190 Semi-variogramme et courbe d'interpolation des indices des taux de pollens d'arbres du début de l'Atlantique (lag interval = 5000 mètres et courbe d'interpolation de type exponentiel) ayant permis la construction de la carte d'interpolation des taux de pollens d'arbres. (RMS error = 1,04).

Le semi-variogramme calculé à partir des indices des taux de pollens d'arbres met en évidence une hétérogénéité importante des valeurs à partir d'un intervalle d'environ quarante kilomètres seulement. Au-delà de quarante kilomètres, les valeurs de pollens d'arbres semblent en moyenne répondre à des zones de diffusions polliniques différentes. A partir de cette distance, il n'y a alors plus de pondérations dans le calcul par krigeage des valeurs de chaque pixel (cf. annexe concernant les interpolations).

Ce semi-variogramme traduit donc globalement une hétérogénéité des densités polliniques d'arbres sur de « faibles » distances, puisque les variances entre valeurs de taux de pollens d'arbres sont importantes dès quarante kilomètres de distance.

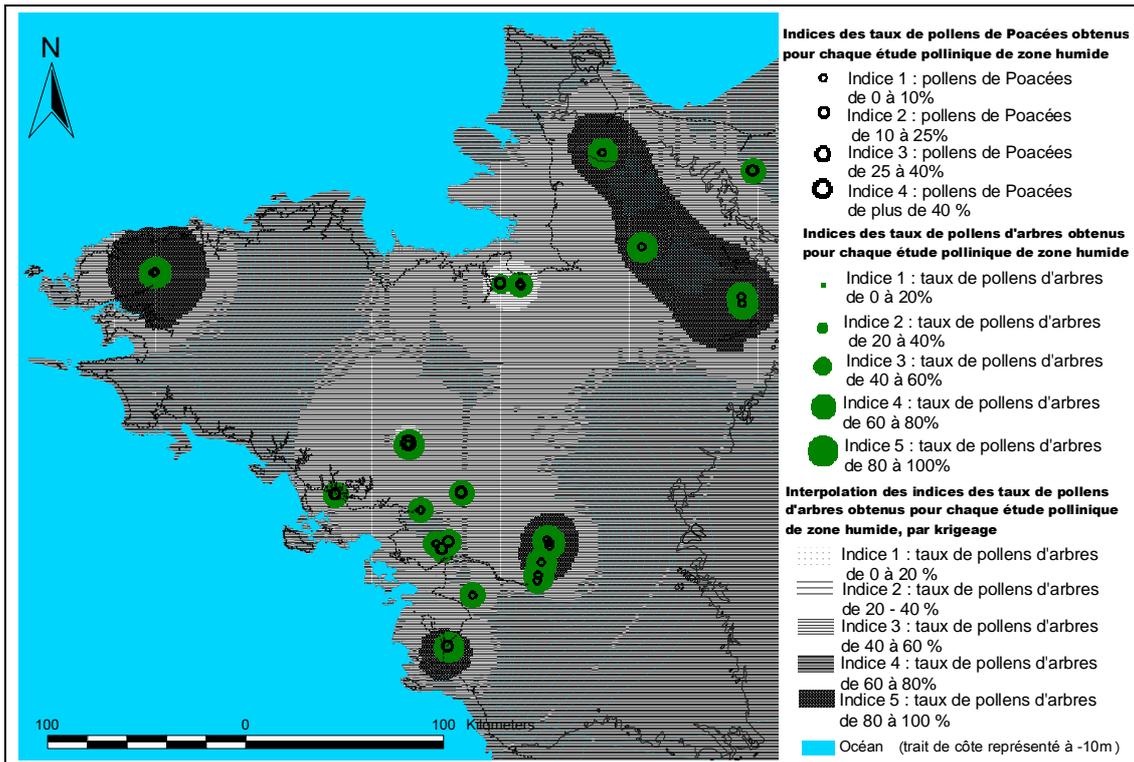


Fig. 191 Représentation et distribution géographique des taux de pollens de Poacées et d'arbres pour la période du début de l'Atlantique. Le fond de carte est issu de l'interpolation des taux de pollens d'arbres à partir des études de zones humides et après exclusion des études présentant des datations en décalage chronologique.

Les taux de pollens d'arbres et la carte d'interpolation obtenus montrent des valeurs maximum dans l'histoire végétale du Massif armoricain, puisque la moyenne des taux de pollens d'arbres obtenue dépasse l'indice 4 des taux de pollens d'arbres (valeurs oscillant entre 60 à 80%) (Fig. 89). Ces forts flux polliniques d'arbres traduisent donc probablement des paysages très boisés.

A cause de l'hétérogénéité spatiale des taux d'AP sur de faibles distances (cf. semi-variogramme Fig. 190), la pondération des valeurs interpolées n'est prise en compte que dans un faible périmètre autour des points de sondage. Ce constat explique la qualité relativement « médiocre » de l'interpolation avec des valeurs krigées dépendant essentiellement de la valeur du point de sondage le plus proche.

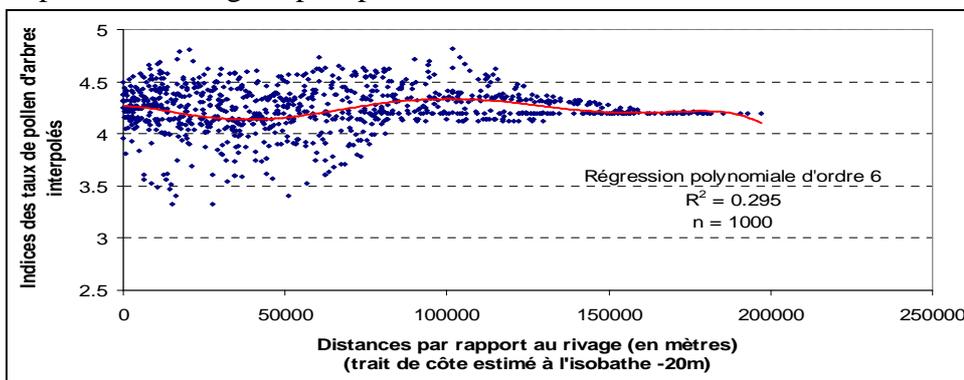


Fig. 192 Relation entre les taux de pollens d'arbres interpolés et la distance au rivage estimée au début de la période Atlantique pour le Massif armoricain. Ce calcul a été réalisé à partir des valeurs de taux de pollens d'arbres interpolés et la distance par rapport au rivage de 1000 points répartis de manière aléatoire à la surface de la carte d'interpolation du début de la période Atlantique.

Au regard de la carte d'interpolation obtenue à l'échelle du Massif armoricain, l'effet de la continentalité sur les taux de pollens d'arbres paraît inexistant pour cette période (Fig.192). Il est probable que les conditions climatiques favorables du début de la période Atlantique ont en quelque sorte supplanté l'effet négatif occasionné par les contraintes marines.

- Principaux groupements « régionaux »

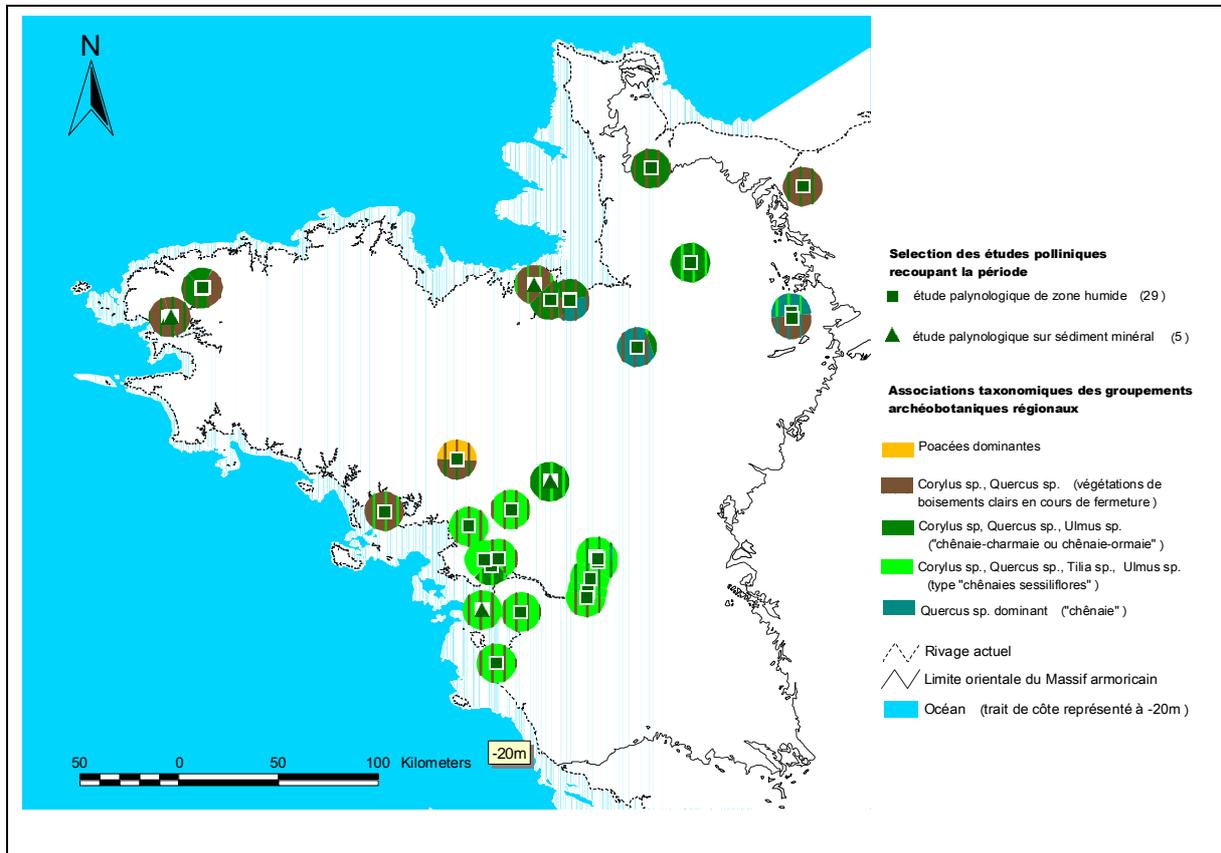


Fig. 193 Distribution géographique des deux principaux groupements archéobotaniques issus de l'apport pollinique « régional » identifiés dans chaque étude et représentés sous la forme de disques de 10 kilomètres de rayon, pour la période du début de l'Atlantique.

Les compositions polliniques à consonances « régionales » sont désormais dominées par trois groupements (Fig. 104). La composition pollinique de « *Corylus*, *Quercus* » est toujours dominante à l'échelle du Massif armoricain (groupement identifié dans 90% des études), suit ensuite l'association « *Corylus*, *Quercus*, *Tilia*, *Ulmus* » (occurrences dans 51% des études) et l'association « *Corylus*, *Quercus*, *Ulmus* » (occurrences dans 48% des études).

Notons que la fréquence des occurrences du groupement « *Corylus*, *Quercus*, *Tilia*, *Ulmus* » se développe véritablement sur le Massif armoricain à partir de cette période (Fig. 104). De plus, la localisation de l'association pollinique « *Corylus*, *Quercus*, *Tilia*, *Ulmus* » est remarquable puisqu'on trouve la quasi-totalité de ce groupement dans les études situées dans le sud-ouest du Massif armoricain et plus particulièrement autour de l'embouchure de la Loire (Fig. 193). Afin d'expliquer cette répartition nous avons réalisé le test de U Mann et Withney (test non paramétrique) à partir des valeurs de précipitations et de températures attribuées à deux sélections de points de sondages polliniques : une sélection des études ayant enregistré le groupement pollinique « *Corylus*, *Quercus*, *Tilia*, *Ulmus* » et une sélection présentant l'absence du groupement pollinique. Or, le test montre des différences

significatives entre les deux sélections de valeurs, que ce soit au regard des valeurs de précipitations ou bien des valeurs de températures (cf. histogrammes ci-dessous : Fig. 194 et Fig. 195). Autrement dit, la répartition des études présentant l'association pollinique « *Corylus, Quercus, Tilia, Ulmus* » sont plutôt localisées dans les régions les plus chaudes et les moins pluvieuses du Massif armoricain et ce de manière significative.

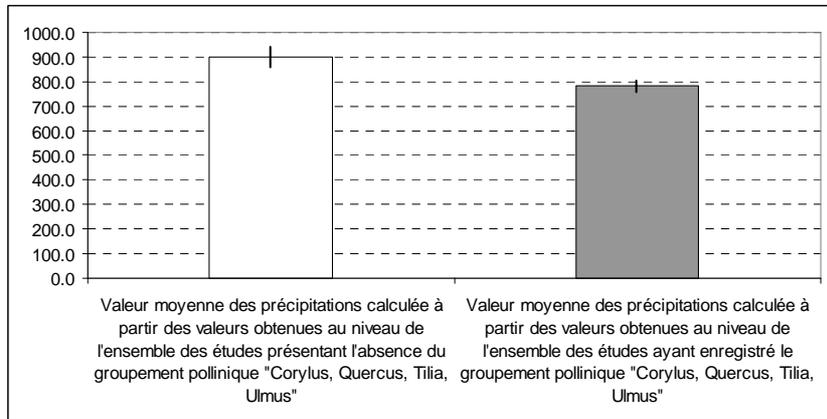


Fig. 194 Le test non paramétrique de U Mann et Whitney (ou Kruskal – Wallis) a été réalisé entre les valeurs de pluviométries obtenues au niveau de chaque sondage palynologique. Une moyenne de 900mm (erreur standard = 42) est apparue pour les études (n=11) n'ayant pas enregistré le groupement pollinique de *Corylus, Quercus, Tilia, Ulmus*. Une moyenne de 781,25mm (erreur standard = 23,22) était

obtenue pour les études (n=16) ayant enregistré l'association pollinique. Le calcul du test a donné la valeur : $H = 41,39$; H critique = 3,748 ; P -Value = 0,00 ; $dll = 1$. Au seuil de signification $\alpha = 0.050$ on peut rejeter l'hypothèse nulle d'absence de différence entre les 2 groupes. Autrement dit, la différence entre les groupes est significative.

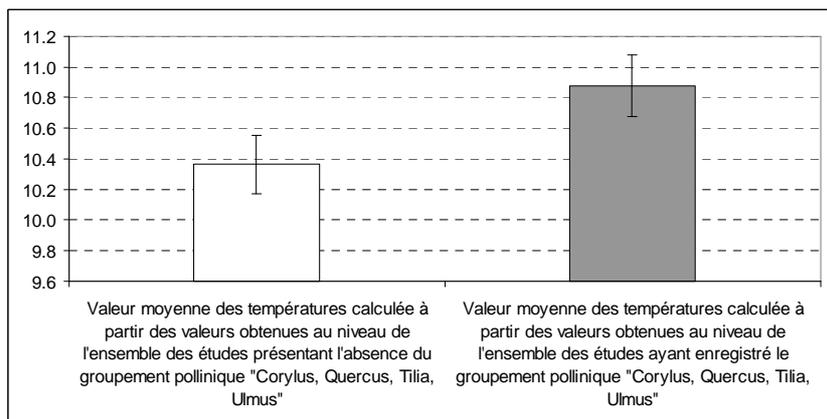


Fig. 195 Le test de U Mann et Whitney (ou Kruskal – Wallis) a été réalisé entre les valeurs de températures obtenues au niveau de chaque sondage palynologique. Une moyenne de 10,36°C (erreur standard = 0,19) est apparue pour les études (n=11) n'ayant pas enregistré le groupement pollinique de *Corylus, Quercus, Tilia, Ulmus*. Une moyenne de 10,88°C (erreur standard = 0,2) a été obtenue pour les études (n=16) ayant enregistré

l'association pollinique. Le calcul du test a donné la valeur : $H = 41,103$; H critique = 3,748 ; P -Value = 0,00 ; $dll = 1$. Au seuil de signification $\alpha = 0.050$ on peut rejeter l'hypothèse nulle d'absence de différence entre les 2 groupes. Autrement dit, la différence entre les groupes est significative.

Remarque : les valeurs des températures et des précipitations correspondent aux valeurs actuelles. Ces valeurs ont évolué au cours des périodes climatiques mais la distribution spatiale des valeurs relatives est probablement restée sensiblement la même. (ex. les précipitations plus importantes des Monts d'Arrée sont restées dépendantes du relief à toutes les époques).

- Explication de la répartition régionale des groupements « régionaux » par les paramètres abiotiques : analyse de co-inertie

1. Analyse Factorielle des Correspondances des groupements polliniques « régionaux » de la première moitié de l'Atlantique

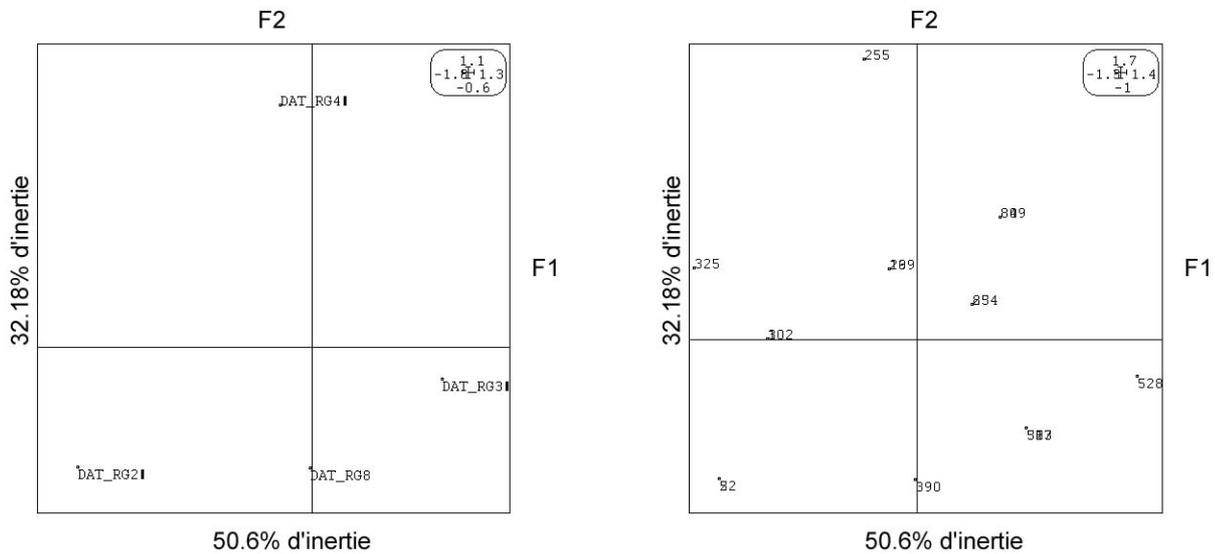


Fig. 196 AFC des groupements archéobotaniques régionaux de la première moitié de l'Atlantique (rg2 : « *Quercus* dominant » ; rg3 : « *Corylus, Quercus, Ulmus* » ; rg4 : « *Corylus, Quercus, Ulmus, Tilia* » et rg8 : « *Corylus, Quercus* »). Le groupement n°7 « *Pinus, Betula, Juniperus* » et n°5 « Poacées dominantes » identifiés dans quelques études ont été retirés de l'analyse car ils prenaient alors une grande part de l'inertie totale. Le plan factoriel de droite représente la position des études dans le plan factoriel 1-2.

L'axe F1 représentant 50,6% de l'inertie totale permet de dissocier les groupements n°2, 8 et 3. Le groupement n°8 est toujours le plus fréquemment rencontré et il est souvent associé soit au groupement 2 ou 3. Le groupement n°4 est un peu plus excentré par rapport aux trois premiers groupements. Il est expliqué par l'axe F2 (32.18% de l'inertie totale) et opposé au groupement n°8 sur cet axe.

2. Analyse des Composantes Principales des paramètres abiotiques des études polliniques de zones humides recoupant la première moitié de l'Atlantique

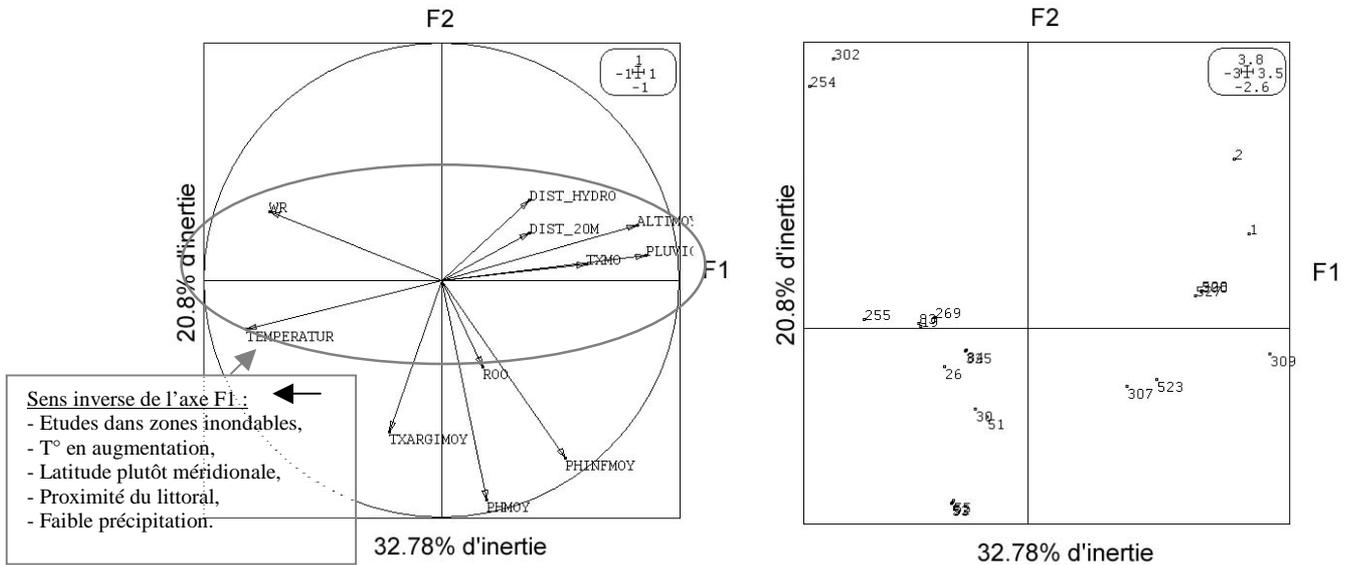


Fig. 197 ACP des paramètres abiotiques des études recoupant le début de l'Atlantique. Un certain nombre d'études a été retiré de cette analyse à cause de l'absence de données concernant un ou plusieurs facteurs environnementaux. Les paramètres pris en compte sont les suivants : « Température » : température moyenne annuelle actuelle au point d'étude ; « Wr » : régime hydrique ou durée des sols engorgés ; « Txargimoy » : taux d'argile moyen pour le canton ; « Phmoy » : Ph moyen des sols pour le canton ; « Phinf » : Ph inférieur des sols par canton ; « Dist_20 » : distance du point d'étude par rapport à l'isobathe des - 20 m ; « Dist_hydr » : Distance de chaque point de sondage par rapport au réseau hydrique principal ; « Altimoy » : altitude moyenne des environs du point de sondage ; « Pluvio » : pluviométrie annuelle moyenne actuelle au point d'étude ; « Txmo » : Taux de matière organique moyen par canton.

L'axe F1 est principalement expliqué par le régime hydrique (Wr) et la température (sens inverse de l'axe F1). Ces paramètres sont corrélés de manière inverse avec l'éloignement au réseau hydrique principal (Dist_hydro) et l'effet de la continentalité (augmentation de la distance à l'isobathe « Dist_20m », de l'altitude et de la pluviométrie).

3. Analyse de co-inertie à partir de l'AFC des groupements régionaux et de l'ACP des paramètres abiotiques des études recoupant la première moitié de l'Atlantique

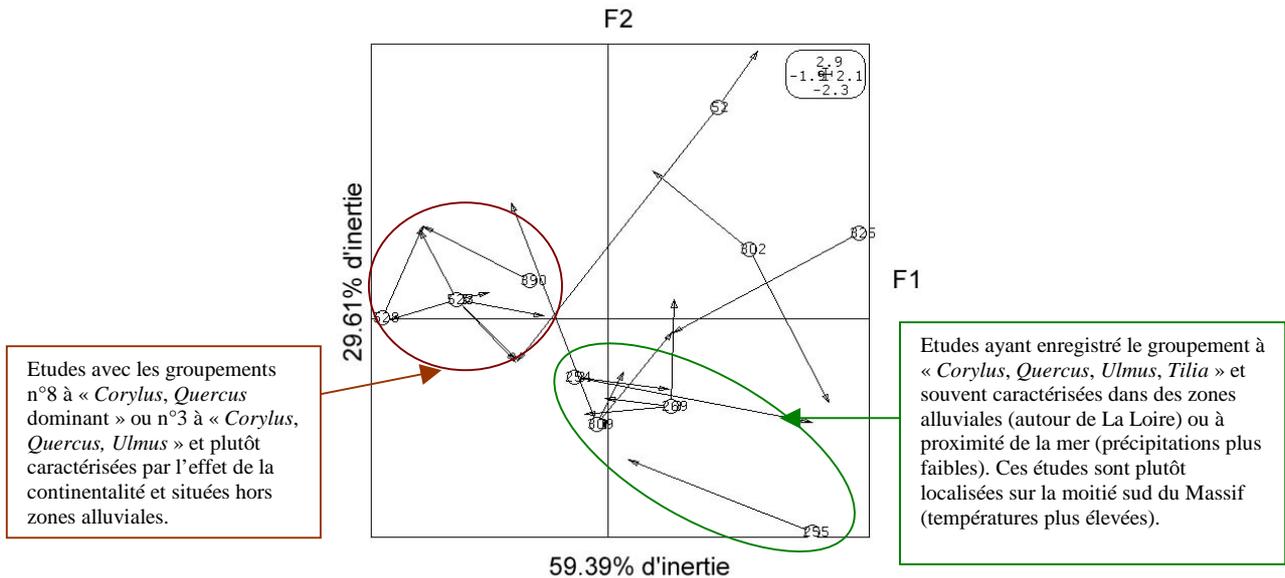


Fig. 198 Analyse de co-inertie à partir de l'AFC des groupements régionaux et de l'ACP des paramètres abiotiques des études recoupant la première moitié de l'Atlantique. Les études sont signalées par leur numéro d'enregistrement. Un test de Monte Carlo (1000 permutations aléatoires réalisées sur les valeurs des deux tables) a montré que la relation obtenue par l'analyse de co-inertie n'est pas due au hasard à 40,5%.

L'analyse de co-inertie montre un certain nombre d'études relativement stables vis à vis de l'axe F1. On reconnaît sur le côté gauche de l'axe F1, les études 528, 527, 523, 390, comportant les groupements n°8 ou n°3 et caractérisées par des conditions plutôt continentales (augmentation des précipitations et de l'altitude) et situées en dehors des zones inondées (cf. AFC et ACP précédentes Fig. 196 et Fig. 197).

Les études 84, 254, 269, 309, 255 (malgré une certaine instabilité pour cette dernière étude) ont toutes enregistré le groupement n°4 à « *Corylus, Quercus, Ulmus, Tilia* ». Ces études sont par ailleurs marquées par des sols engorgés (W_r) et plus proches du littoral que les études précédentes. Au regard de la carte de répartition des groupements « régionaux », ces études et ce groupement sont plutôt localisées sur la moitié sud du Massif armoricain et notamment dans la vallée de la Loire. Ce résultat s'inscrit donc dans la continuité des premières implantations de ce groupement au cours de la fin du Boréal (Fig. 188). D'autre part, les résultats concernant le groupement n°4 sont cohérents avec les constatations obtenues avec les tests de U Mann et Withney (Fig. 194 et Fig. 195). En effet, au regard de l'analyse de co-inertie, on trouve plutôt le groupement n°4 dans des stations avec des faibles précipitations et des températures plus élevées que la moyenne.

Le groupement n°2 est quant à lui enregistré par des études apparaissant instables dans le plan de co-inertie (ex. 302, 1, 52, 325). Ce résultat peut s'expliquer de deux façons : soit le groupement n°2, en l'occurrence la chênaie « pure », s'implante dans des environnements abiotiques très divers, soit l'association « *Quercus* dominant » ne décrit pas une entité archéobotanique existante, auquel cas il est normal de la retrouver dans des environnements aléatoires et divers.

B.4.5.2 La fin de l'Atlantique (6750 – 5700 BP)

- Inventaire

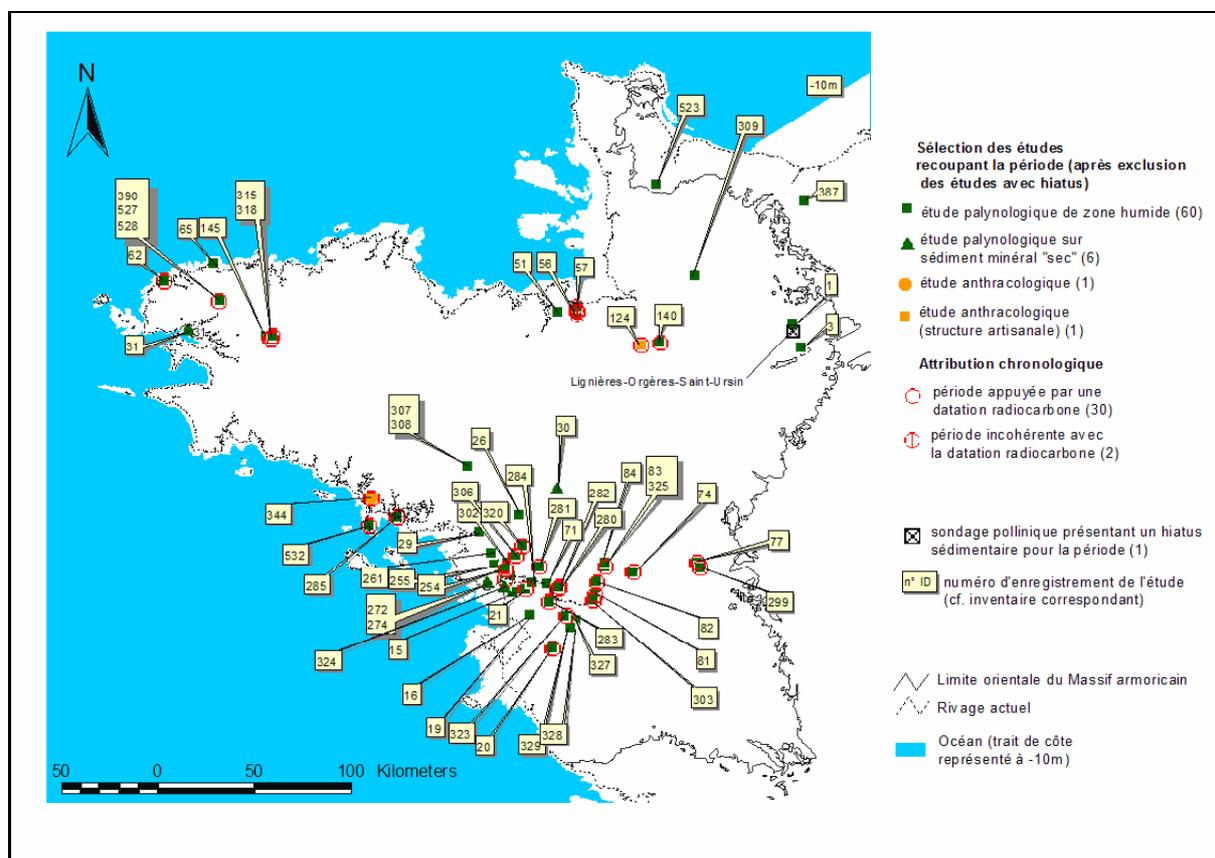


Fig. 199 Carte de répartition des études recoupant la seconde moitié de la période Atlantique.

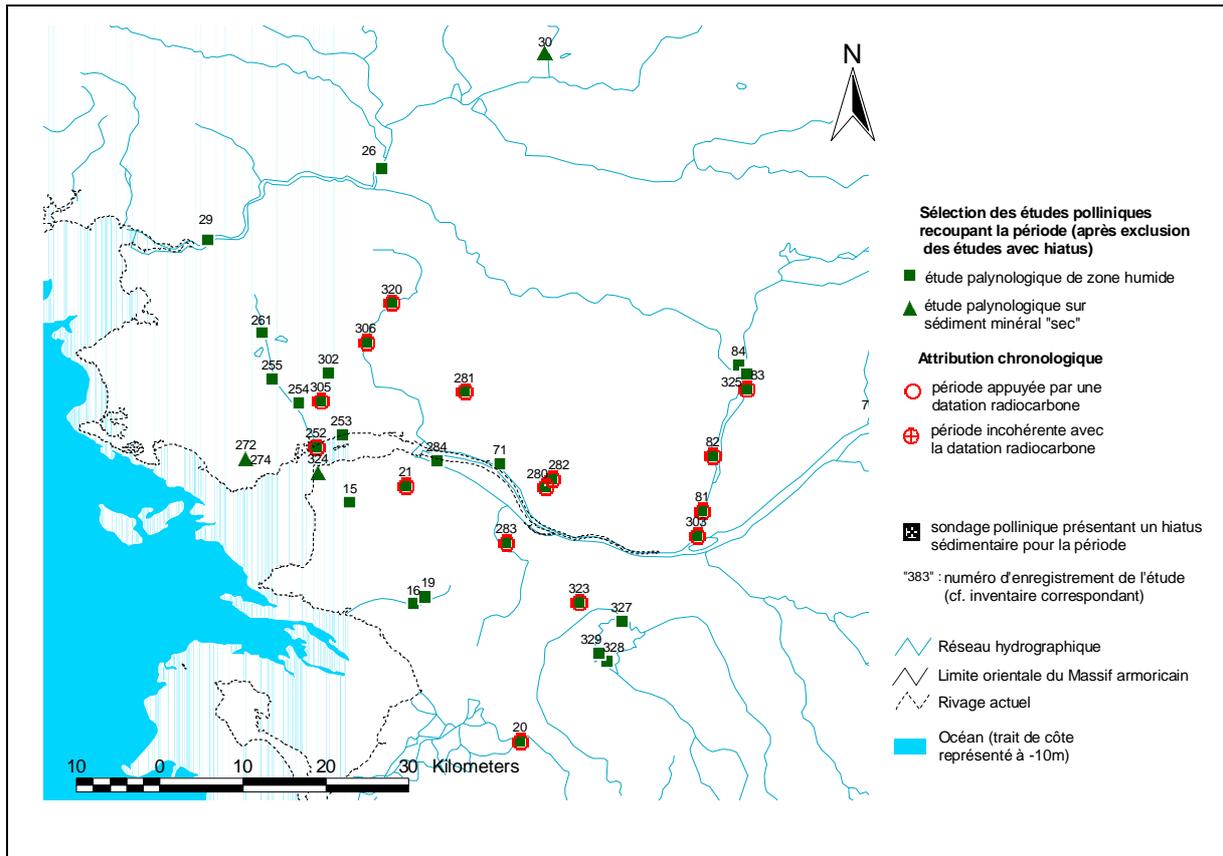


Fig. 200 Carte de répartition des études regroupées autour des marais de la Brière et de la vallée de la Loire, pour la seconde moitié de la période Atlantique.

66 études palynologiques recourent la fin de l'Atlantique, dont 60 études de zones humides. Seules deux études anthracologiques ont permis de fournir de l'information relative à cette période. Ces résultats sont appuyés par 30 datations radiocarboniques.

- Taux de pollens d'arbres et de Poacées

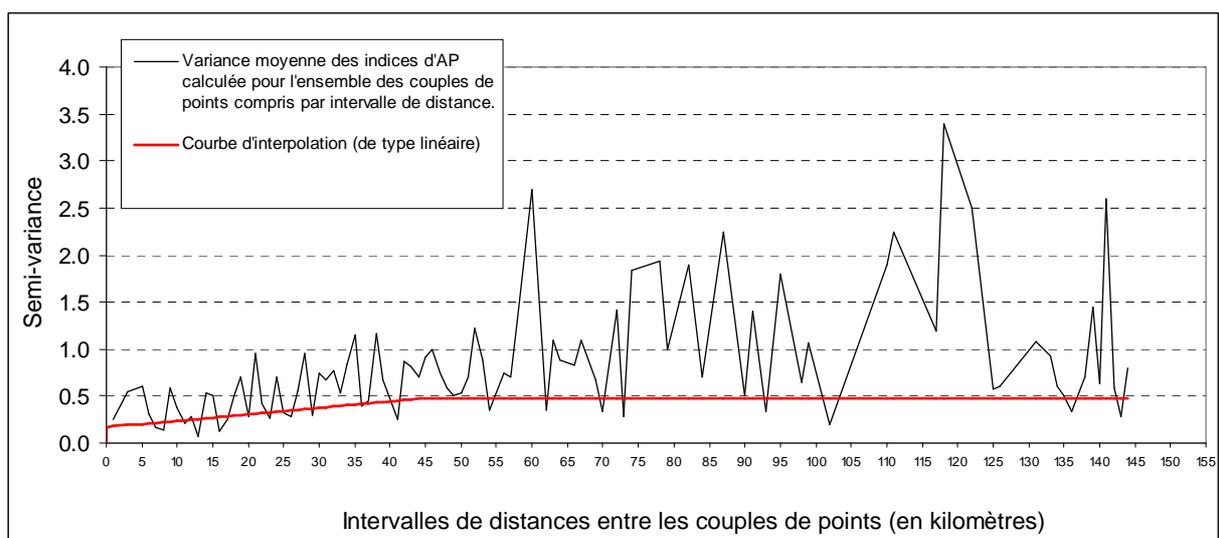


Fig. 201 Semi-variogramme et courbe d'interpolation des indices des taux de pollens d'arbres de la seconde moitié de l'Atlantique (lag interval = 1000 mètres et courbe d'interpolation de type linéaire) ayant permis la construction de la carte d'interpolation des taux de pollens d'arbres ci-après. (RMS error = 0,74).

Les valeurs des taux de pollens d'arbres prises deux à deux possèdent des variances proportionnelles avec les distances de chaque couple de points de sondage sur environ quarante-cinq kilomètres. Au-delà, les couples de valeurs de taux de pollens d'arbres montrent en moyenne des variances plus élevées et non proportionnelles avec la distance séparant chaque couple de sondages polliniques.

Autrement-dit, les valeurs interpolées en chaque pixel sont particulièrement dépendantes des valeurs d'AP issues des points de sondages compris dans un périmètre de moins de quarante cinq kilomètres et ce d'autant plus que le point de sondage est proche de l'emplacement du pixel. Ce type de relation explique les « auréoles » de valeurs d'AP interpolées sur quelques dizaines de kilomètres autour des études polliniques isolées et affichant un taux de pollens d'arbres atypique. C'est là un effet normal puisque la distribution spatiale des taux de pollens d'arbres apparaît hétérogène à partir du moment où les valeurs d'AP prises deux à deux sont séparées de plus de quarante cinq kilomètres.

Les interpolations obtenues dans les secteurs vides de sondages polliniques (à plus de quarante-cinq kilomètres d'un sondage) sont calculées à partir des douze points de sondages les plus proches sans qu'il y ait alors de pondérations de chacune des douze valeurs. La valeur de l'interpolation obtenue est alors la moyenne des douze valeurs (cf. annexe concernant les interpolations).

La moyenne des indices d'AP calculée à partir de l'ensemble des soixante études étant légèrement inférieure à quatre (Fig. 89), il est logique de retrouver des valeurs interpolées dans les secteurs vides de sondages polliniques oscillant autour de l'indice « quatre », ce qui correspond à des valeurs de l'ordre de 60 à 80% de pollens d'arbres (Fig. 202).

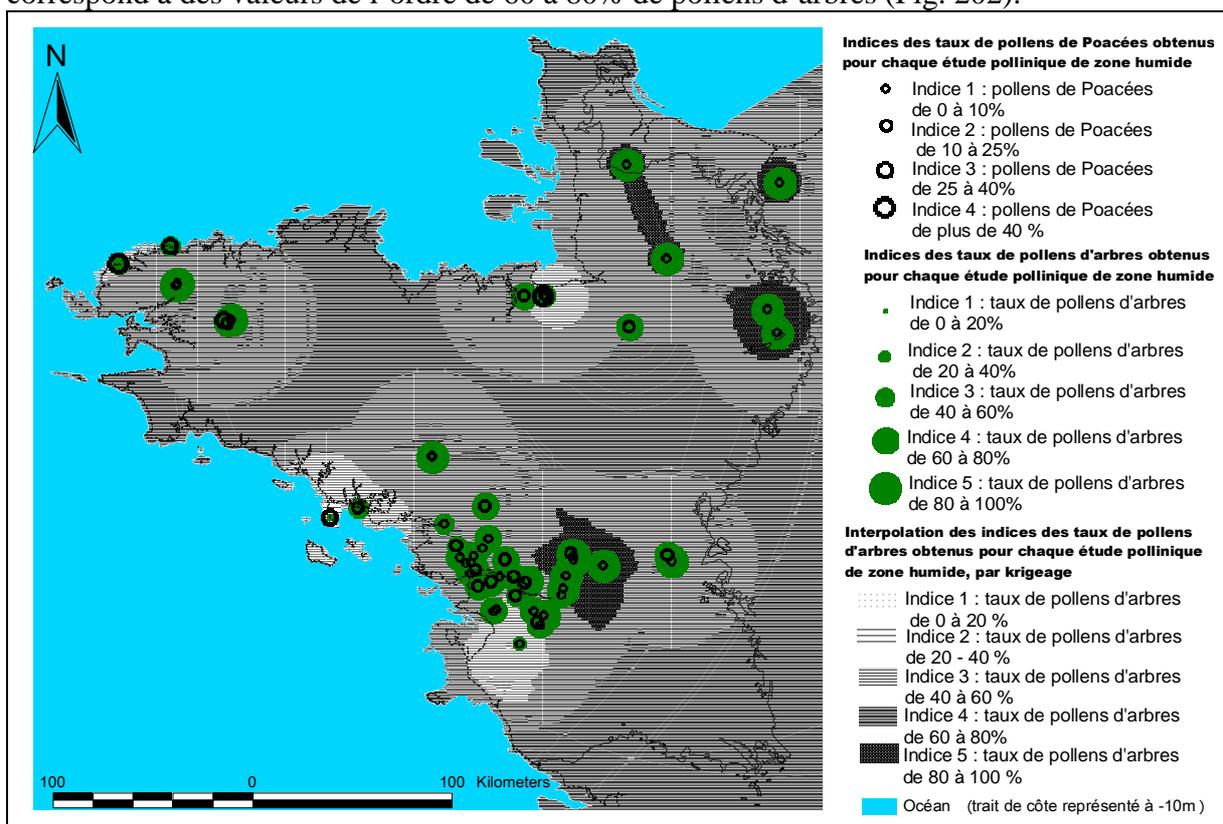


Fig. 202 Représentation et distribution géographique des taux de pollens de Poacées et d'arbres pour la période de la fin de l'Atlantique. Le fond de carte est issu de l'interpolation des taux de pollens d'arbres à partir des études de zones humides et après exclusion des études présentant des datations en décalage chronologique.

Afin d'étudier la distribution spatiale des valeurs interpolées et notamment au regard de l'effet de la proximité de la mer, une courbe mettant en relation la distance par rapport au

rivage et les valeurs d'indices de taux de pollens d'arbres interpolés a été calculée. Pour cela, un millier de points a été généré et réparti de manière aléatoire sur la surface de la carte interpolée pour le Massif armoricain. Par la suite, une valeur de la distance par rapport au rivage (trait de côte estimé à -10 m) et une valeur de l'indice du taux de pollens d'arbres interpolé ont été attribués pour chacun de ces points (Fig. 203).

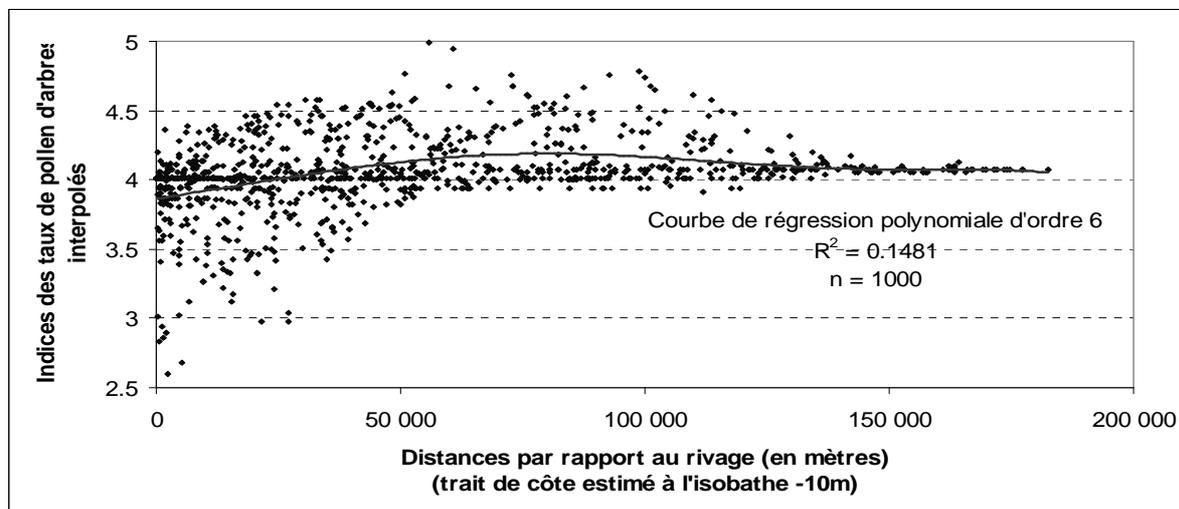


Fig. 203 Relation entre les taux de pollens d'arbres interpolés et la distance au rivage estimé à la fin de la période Atlantique pour le Massif armoricain. Ce calcul a été réalisé à partir des valeurs de taux de pollens d'arbres interpolés et la distance par rapport au rivage de 1000 points répartis de manière aléatoire à la surface de la carte d'interpolation de la seconde moitié de la période Atlantique.

Le graphique montre des indices de taux de pollens d'arbres interpolés légèrement plus ouverts sur la côte par rapport à l'intérieur des terres. Contrairement à la période précédente, la proximité de la mer semble donc avoir un effet sur les taux de pollens d'arbres. Néanmoins, cet effet est très disparate (coefficient de détermination = 0,15). Par ailleurs, une grande partie du trait de côte ne possède aucune étude pollinique proche. Aussi, il nous a semblé intéressant de focaliser cet effet sur trois fenêtres particulièrement fournies en études (Fig. 204).

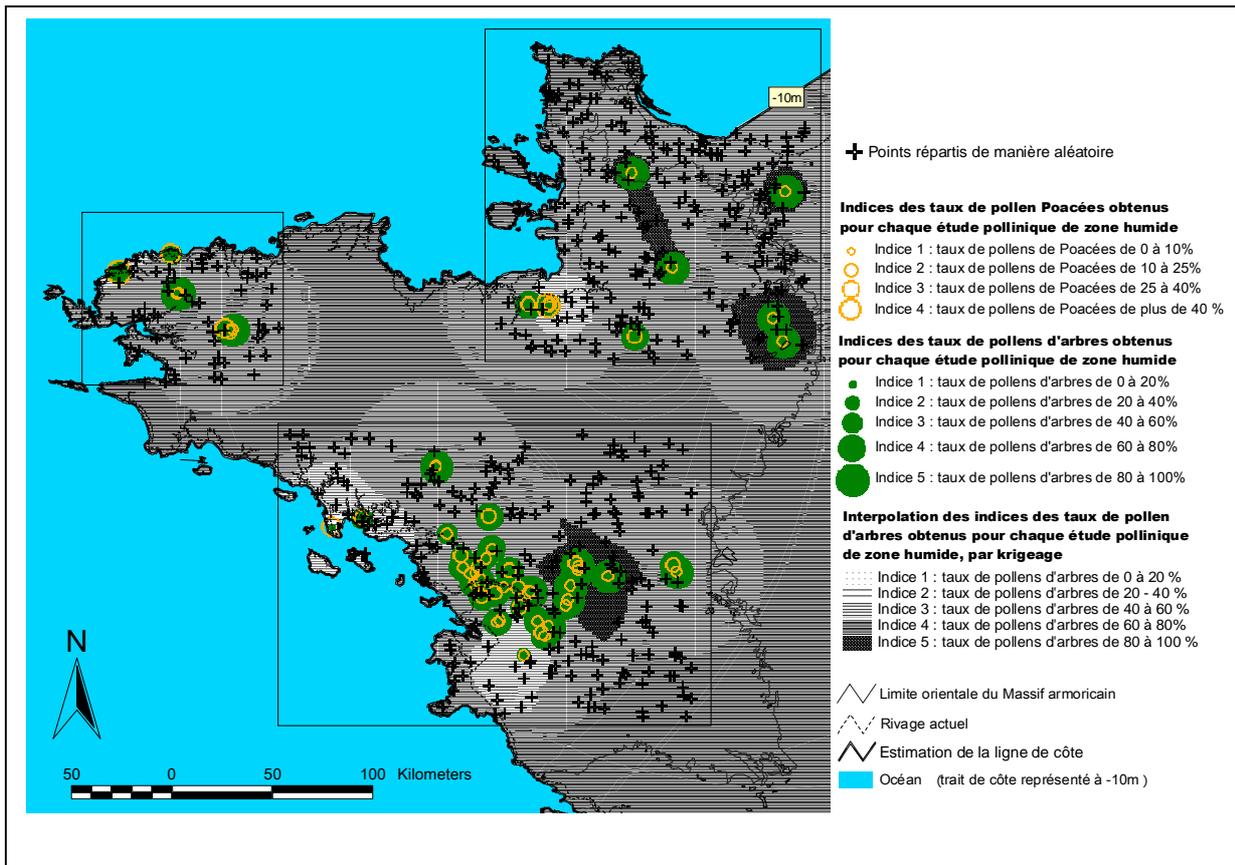


Fig. 204 Trois fenêtres présentant des concentrations d'études polliniques ont été définies. Une fenêtre sur l'extrémité de la péninsule bretonne (fenêtre nord-ouest), une fenêtre couvrant la partie normande du Massif armoricain (fenêtre nord-est) et une fenêtre couvrant une grande partie sud du Massif (fenêtre sud). Pour chacune de ces fenêtres, des points ont été générés et répartis de manière aléatoire.

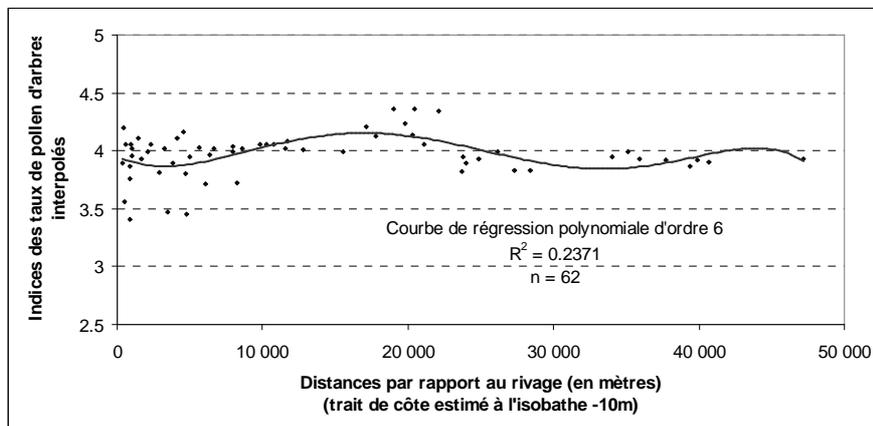


Fig. 205 Indices des taux de pollens d'arbres interpolés en fonction de la distance au rivage pour la fenêtre nord-ouest.

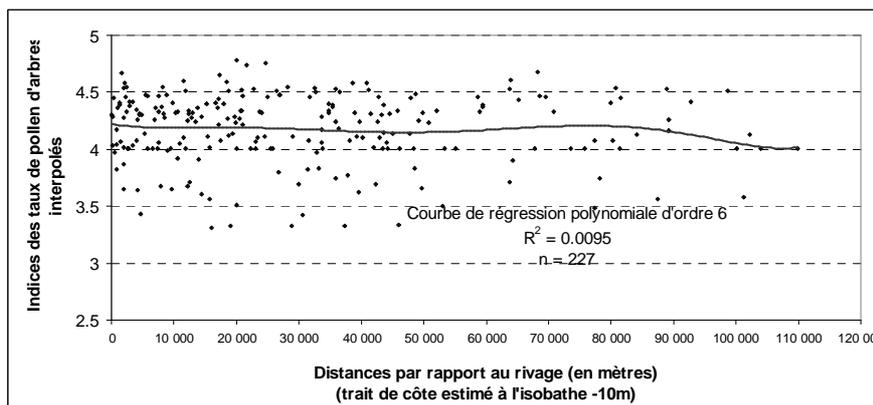


Fig. 206 Indices des taux de pollens d'arbres interpolés en fonction de la distance au rivage pour la fenêtre nord-est (fenêtre normande).

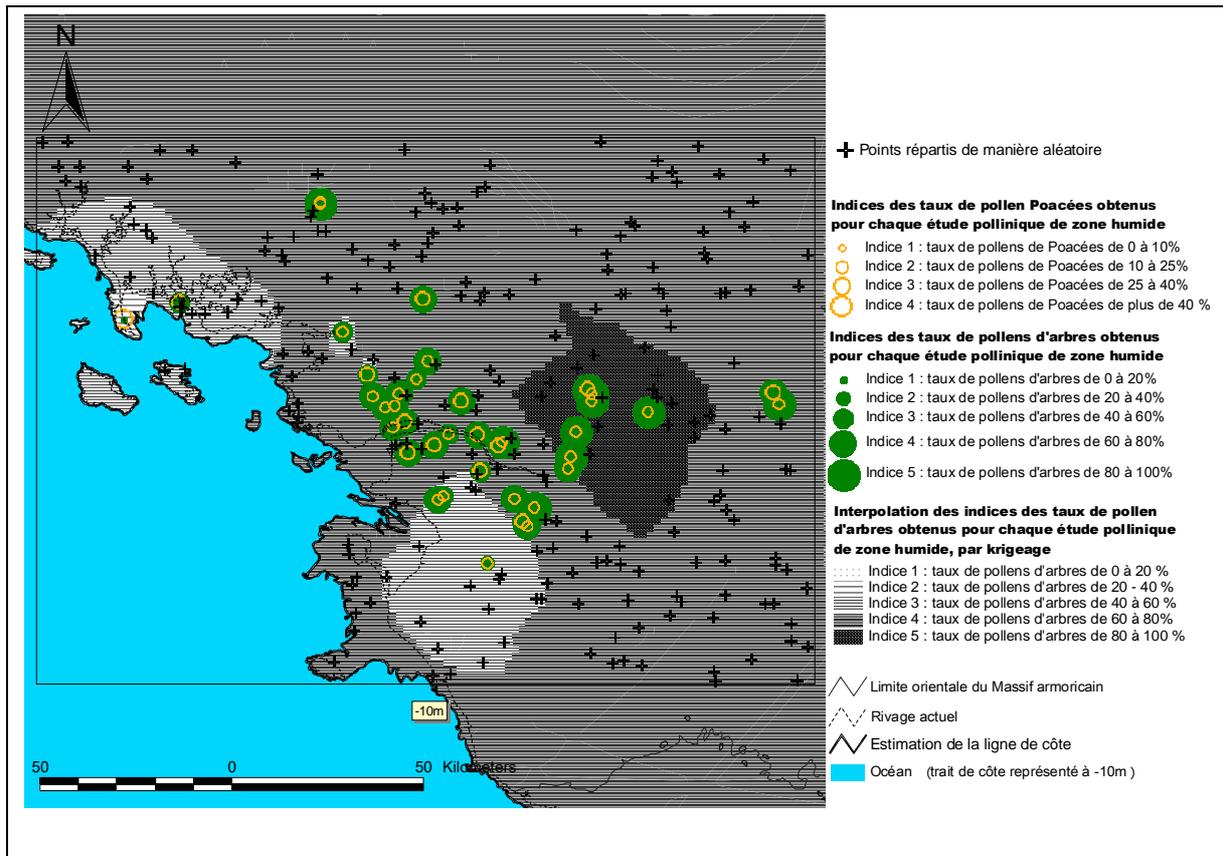


Fig. 207 Représentation et distribution géographique des taux de pollens de Poacées et d'arbres pour la fenêtre de la partie sud du Massif armoricain correspondant à la seconde moitié de l'Atlantique. Le fond de carte est issu de l'interpolation des taux de pollens d'arbres à partir des études de zones humides et après exclusion des études présentant des datations douteuses. Des valeurs de distances par rapport au rivage et des taux de pollens d'arbres interpolés ont été attribuées à 226 points répartis de manière aléatoire à la surface de ce secteur.

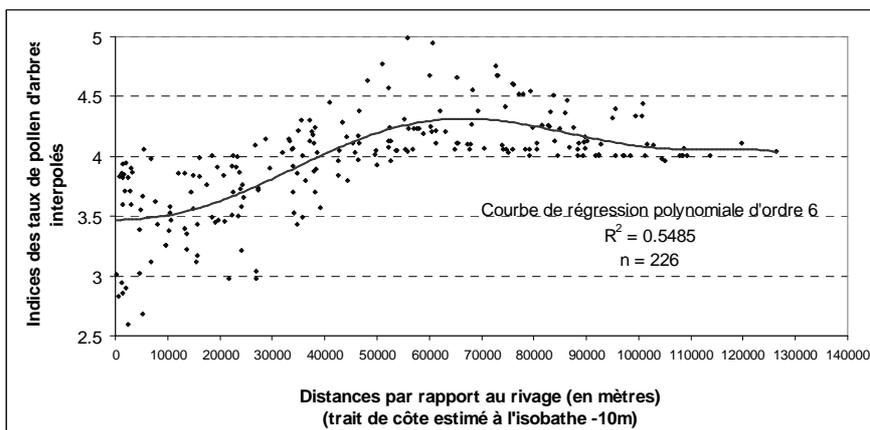


Fig. 208 Indices des taux de pollens d'arbres interpolés en fonction de la distance au rivage pour la fenêtre sud.

Sur les trois graphiques, seul celui de la fenêtre couvrant la côte sud du Massif armoricain (Fig. 207 et Fig. 208) montre assez nettement une relation entre les indices des taux de pollens d'arbres interpolés et la distance au rivage (coefficient de détermination = 0,55 et interpolation basée sur 39 études polliniques). En effet, sur les cinquante premiers kilomètres environ, on voit une augmentation des taux de pollens d'arbres interpolés au fur et à mesure que l'on s'éloigne du rivage. Cet effet, localisé, est probablement d'origine naturelle (météorologique ?). On peut supposer que les contraintes littorales (l'effet des vents d'ouest et

des embruns notamment) qui se sont exercées durant tout ce millénaire, ont peu à peu supplanté les conditions climatiques, pourtant favorables (chaudes et humides) de la période Atlantique.

L'hypothèse anthropique est bien entendu envisageable, mais reste mal étayée au regard des indices polliniques et d'anthropisation pour cette période. Sur ce dernier point, une tentative de corrélation entre une carte de répartition des sites archéologiques solidement attestés (données non disponibles dans le cadre de ce mémoire) et une carte d'interpolation des taux de pollens d'arbres pourrait peut-être permettre de trancher... (cf. aussi les « perspectives » en fin de mémoire).

- Principaux groupements « régionaux »

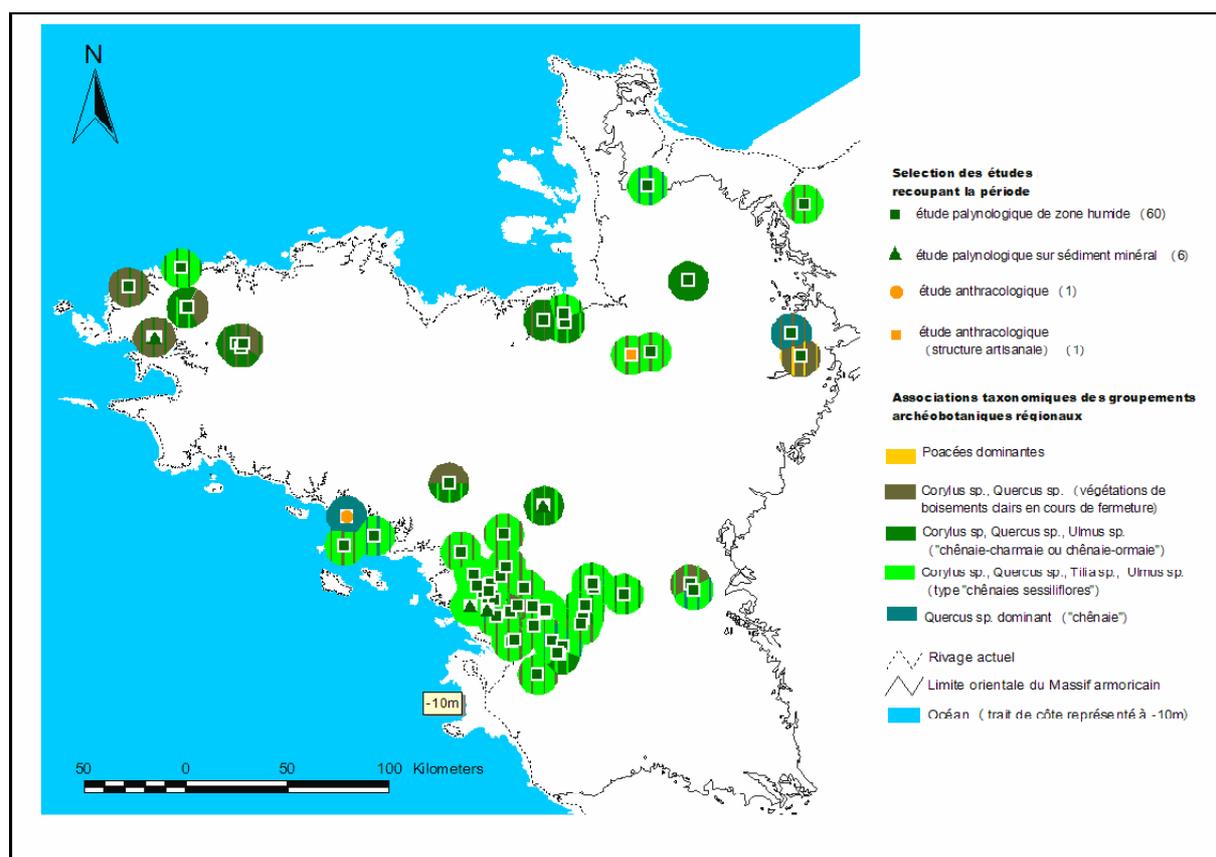


Fig. 209 Distribution géographique des deux principaux groupements archéobotaniques issus de l'apport pollinique « régional » identifiés dans chaque étude et représentés sous la forme de disques de 10 kilomètres de rayon pour la seconde moitié de l'Atlantique.

En ce qui concerne le caractère qualitatif des groupements archéobotaniques de diffusion pollinique régionale, on constate que le groupement à « *Corylus*, *Quercus*, *Tilia*, *Ulmus* » est devenu majoritaire (occurrences dans plus de 75% des études polliniques même si la concentration des études situées à l'embouchure de la Loire, endroit favorable à ce groupement biaise probablement le résultat Fig. 104).

Ce groupement qui était jusqu'alors cantonné dans la partie méridionale du Massif (Fig. 193 pour le début de l'Atlantique) est désormais aussi identifié dans les études normandes ainsi qu'à l'extrémité de la péninsule bretonne (étude de Brignogan : Plage des chardons bleus : Morzadec-Kerfourn, 1974). Il est probable que cette diffusion du groupement soit lié au moins à une stabilisation des conditions climatiques du début de la période, voire à

une augmentation des températures et une diminution des conditions de précipitations, conditions a priori plus favorables au développement du groupement.

La période est généralement caractérisée par la prédominance des taux polliniques du chêne (ex. délimitation de la chronologie climatique de Bernard, 1996). Pourtant, au regard de l'ensemble des études recoupant la seconde moitié de l'Atlantique, les taux polliniques du noisetier sont supérieurs à ceux du chêne dans 15 études sur 66 soit 22% des cas (Fig. 210). Ces études étant principalement localisées au niveau des légers reliefs des Monts d'Arrée et dans la partie nord-est du Massif armoricain, nous avons cherché à comparer cette distribution à celle des précipitations actuelles qui semblait présenter des tendances spatiales similaires (Fig. 9). Pour cela, les valeurs des précipitations actuelles ont été attribuées d'une part à l'ensemble des études présentant des taux polliniques de noisetiers supérieurs au chêne et d'autre part à l'ensemble des études présentant des taux polliniques de chêne supérieurs (Fig. 210). Un test de Mann et Withney a ensuite été calculé sur les deux séries de valeurs, montrant ainsi une différence significative au regard des valeurs de précipitations (Fig. 211).

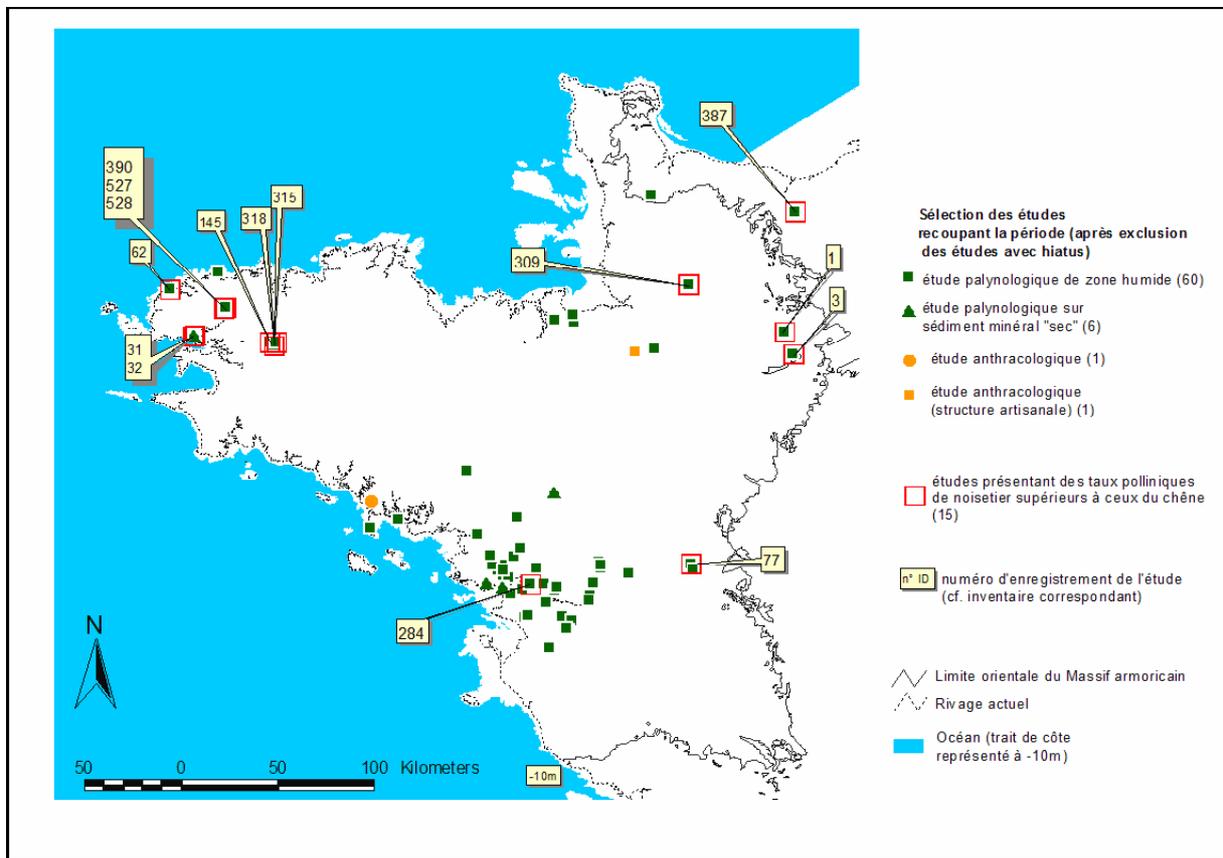


Fig. 210 Sélection des études présentant un taux de *Corylus* supérieur ou égal au taux de *Quercus* parmi l'ensemble des études palynologiques armoricaines recoupant la fin de l'Atlantique.

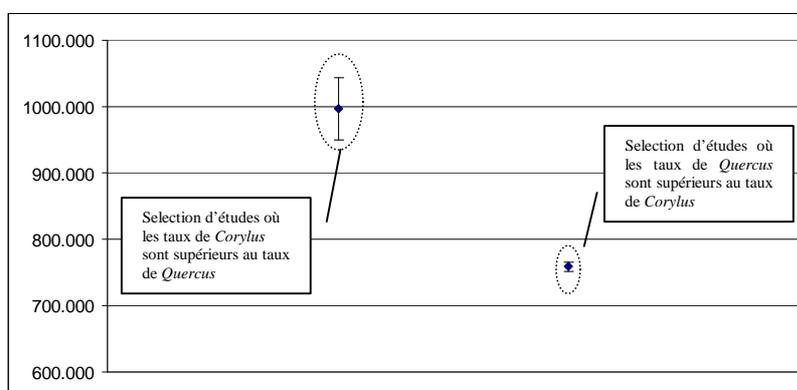


Fig. 211 Un test non paramétrique de U Mann et Whitney a été réalisé entre les valeurs de pluviométries (valeurs actuelles

mais qui révèlent une distribution des pluies passées dépendantes notamment du relief) obtenues au niveau de chaque sondage palynologique. Une moyenne de 997 mm (erreur standard = 53,77) est apparue pour les études (n=15) présentant des taux de pollens de *Corylus* supérieurs aux taux de *Quercus*. Une moyenne de 759 mm (erreur standard = 7,37) était obtenue pour les études (n=51) présentant un taux de *Quercus* supérieurs au *Corylus*. Le calcul du test a donné la valeur observée de U Mann-Whitney = 589,5 ; la variance de U = 2547,4 ; Le U de Mann-Whitney est centré réduit et testé par rapport à la loi normale. La valeur observée z de la statistique est alors de 4,745. La valeur critique de la valeur z = 1,96. z est donc supérieur à 1,96. Au seuil de signification $\alpha/2 = 0.025$ (test bilatéral) on peut rejeter l'hypothèse nulle d'absence de différence entre les échantillons. Autrement dit, la différence entre les groupes est significative.

Le résultat de cette comparaison montre que les études présentant des taux polliniques de noisetier supérieurs au chêne sont plutôt dans les régions les plus humides du Massif armoricain et ce de manière significative.

- Explication de la répartition régionale des groupements archéobotaniques « régionaux » par les paramètres abiotiques : analyse de co-inertie

1. Analyse Factorielle des Correspondances des groupements polliniques « régionaux » de la seconde moitié de l'Atlantique

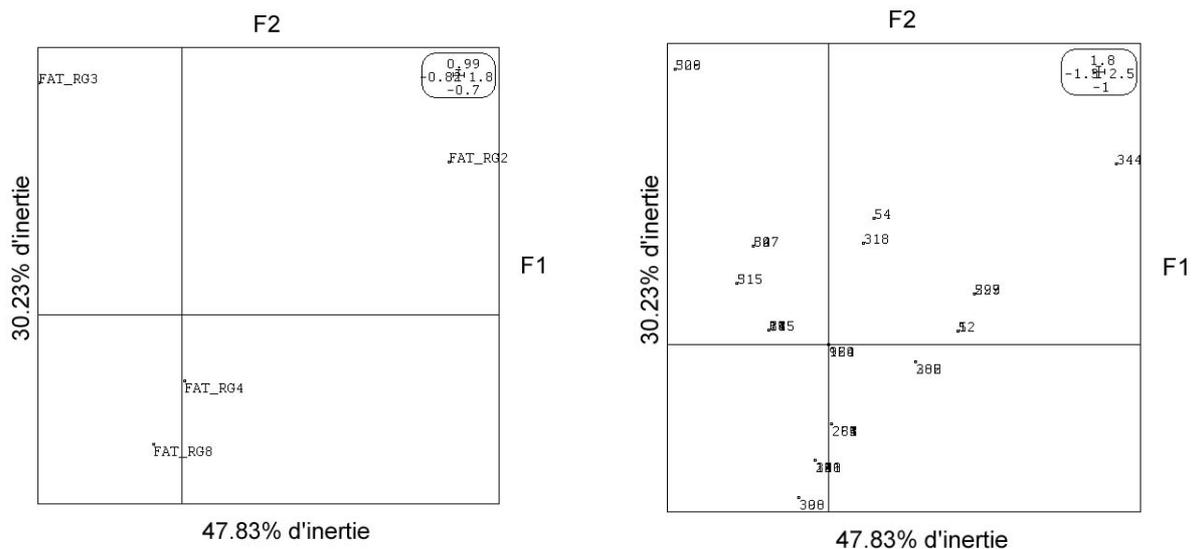


Fig. 212 AFC des groupements archéobotaniques régionaux de la seconde moitié de l'Atlantique (rg2 : « *Quercus* dominant » ; rg3 : « *Corylus*, *Quercus*, *Ulmus* » ; rg4 : « *Corylus*, *Quercus*, *Ulmus*, *Tilia* » et rg8 : « *Corylus*, *Quercus* »). Le groupement n°5 « Poacées dominantes » identifiés dans quelques études a été retiré de l'analyse car il prenait alors une grande part de l'inertie totale. Le plan factoriel de droite représente la position des études dans le plan factoriel 1-2.

L'axe F1 qui représente 47,83% de l'explication totale permet de dissocier les groupements n°2 et n°3. En revanche, les groupements n°4 et n°8 ne sont pas séparés sur cet axe. Ce résultat signifie que les deux groupements 4 et 8 sont souvent associés dans les enregistrements polliniques, contrairement aux groupements n°2 et n°3 qui sont enregistrés séparément. Par ailleurs, la position relativement centrale des groupements n°4 et 8 indique des enregistrements fréquents sur l'ensemble des études (et ce notamment pour le groupement n°4).

2. Analyse des Composantes Principales des paramètres abiotiques des études polliniques de zones humides recoupant la première moitié de l'Atlantique

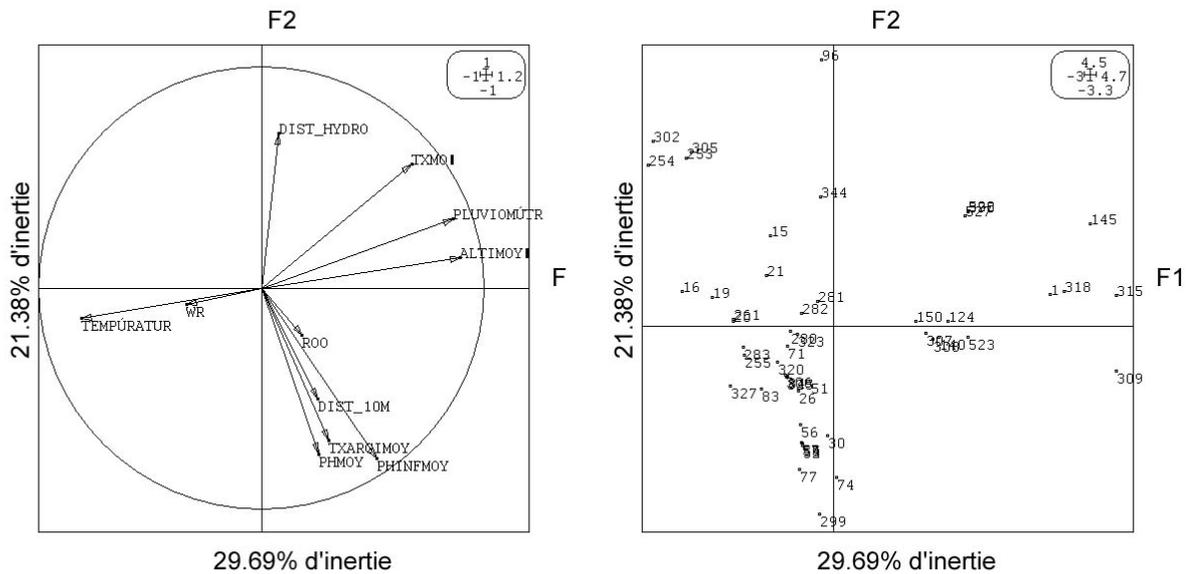


Fig. 213 ACP des paramètres abiotiques des études polliniques de zones humides recoupant la fin de l'Atlantique. Un certain nombre d'études a été retiré de cette analyse à cause de l'absence de données concernant un ou plusieurs facteurs environnementaux. Les paramètres pris en compte sont les suivants : « Température » : température moyenne annuelle actuelle au point d'étude ; « Wr » : régime hydrique ou durée des sols engorgés ; « Txargimoy » : taux d'argile moyen pour le canton ; « Phmoy » : Ph moyen des sols pour le canton ; « Phinf » : Ph inférieur des sols par canton ; « Dist_20 » : distance du point d'étude par rapport à l'isobathe des -20 m ; « Dist_hydr » : Distance de chaque point de sondage par rapport au réseau hydrique principal ; « Altimoy » : altitude moyenne des environs du point de sondage ; « Pluviométrie » : pluviométrie annuelle moyenne actuelle au point d'étude ; « Txmo » : Taux de matière organique moyen par canton.

L'axe F1 (29,69% de l'inertie totale) traduit principalement l'effet de la latitude et de la continentalité (plutôt vers le bas du plan factoriel). On constate en effet dans le sens de l'axe F1 (vers la droite du plan), une augmentation des valeurs de l'altitude, de la pluviométrie, et dans une moindre mesure des valeurs de la distance par rapport à l'isobathe « -10m » (expliqué par l'axe F2). L'augmentation des valeurs des taux de matière organique sur l'axe F1 est aussi à noter.

Dans le sens inverse, on observe une augmentation de la température moyenne annuelle qui traduit probablement l'effet de la proximité de la mer cumulée au caractère méridionale de bon nombre d'études (ex. études n°16, 19, 254, 255). Toujours dans le sens inverse de l'axe F1, on constate l'augmentation des valeurs du régime hydrique (Wr), c'est à dire que les études alors disposées sur le côté gauche de l'axe F1 sont souvent soumises à des inondations de durées relativement longues. C'est là un effet issu des sondages réalisés notamment en Brière (ex. études n°253, 254, 255, 305, 261).

3. Analyse de co-inertie à partir de l'AFC des groupements régionaux et de l'ACP des paramètres abiotiques des études polliniques de zones humides recoupant la seconde moitié de l'Atlantique

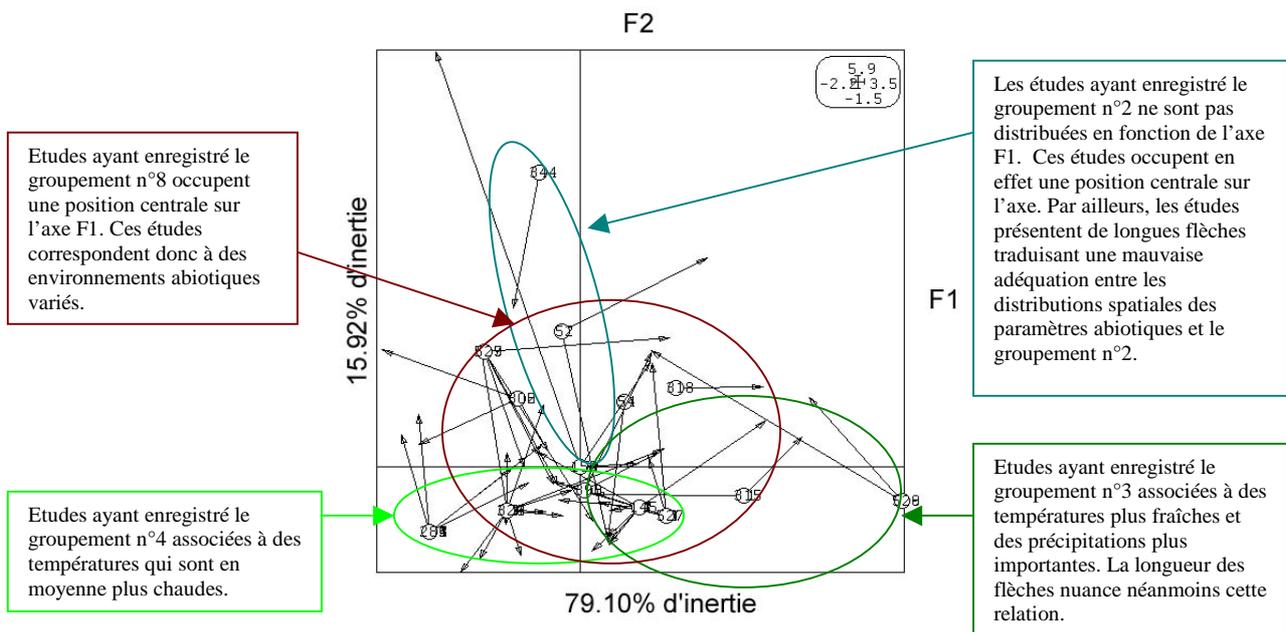


Fig. 214 Analyse de co-inertie à partir de l'AFC des groupements régionaux et de l'ACP des paramètres abiotiques des études recoupant la seconde moitié de l'Atlantique. Les études sont signalées par leur numéro d'enregistrement. Un test de Monte Carlo (1000 permutations aléatoires réalisées sur les valeurs des deux tables) a montré que la relation obtenue par l'analyse de co-inertie n'est pas due au hasard à 75,2%.

On retrouve globalement avec l'axe F1 de l'analyse de co-inertie, la répartition des études obtenue avec l'axe F1 de l'ACP des paramètres abiotiques. En effet, on retrouve sur le côté droit de l'axe des études plutôt continentales, situées sur la moitié nord du Massif et soumises au régime des pluies (ex. études 315 et 528) alors que les études identifiées comme plus chaudes, plus littorales et probablement plus méridionales sont identifiées sur le côté gauche de l'axe (ex. 282). Le sens de l'axe F1 de l'analyse de co-inertie traduit donc tout comme l'axe F1 de l'ACP, l'effet de l'augmentation des températures, la distance des études par rapport au littoral et le degré du régime hydrique (cf. ACP précédente). Le sens de l'axe F1 correspond à des pluies, des altitudes et des taux de matière organique plus importantes.

L'analyse de co-inertie permet ainsi de mettre en correspondance la répartition spatiale des groupements n°3, 8 et 4 discernés selon l'axe F1 et la distribution spatiale des paramètres abiotiques décrite grâce à ce même axe.

On obtient alors le groupement n°3 localisé plutôt au nord et à l'intérieur du Massif avec des précipitations et des altitudes plus élevées. Notons que les études ayant enregistré ce groupement sont instables dans le plan factoriel résultant de l'analyse de co-inertie. Ce résultat traduit donc le caractère non systématique de cette interprétation.

Le groupement n°4 est associé à des températures plus importantes liées à des latitudes plus méridionales et à la proximité de la mer. Là encore, il existe quelques études ayant enregistré le groupement n°4 apparaissant assez instables dans l'analyse de co-inertie, ce qui nuance l'interprétation.

Le groupement n°8 est quant à lui enregistré dans l'ensemble des différents types d'environnements abiotiques (les études caractérisées par ce groupement sont instables dans le plan de co-inertie).

Le groupement n°2 occupe lui aussi une position assez centrale sur l'axe F1. Par ailleurs, les études correspondant à ce groupement sont globalement instables (longues flèches), il est donc difficile d'attribuer un type d'environnement abiotique à ce groupement.

B.4.6 La période du Subboréal (5700 – 3600 BP)

B.4.6.1 Le début du Subboréal (5700 - 4650 BP)

- Inventaire

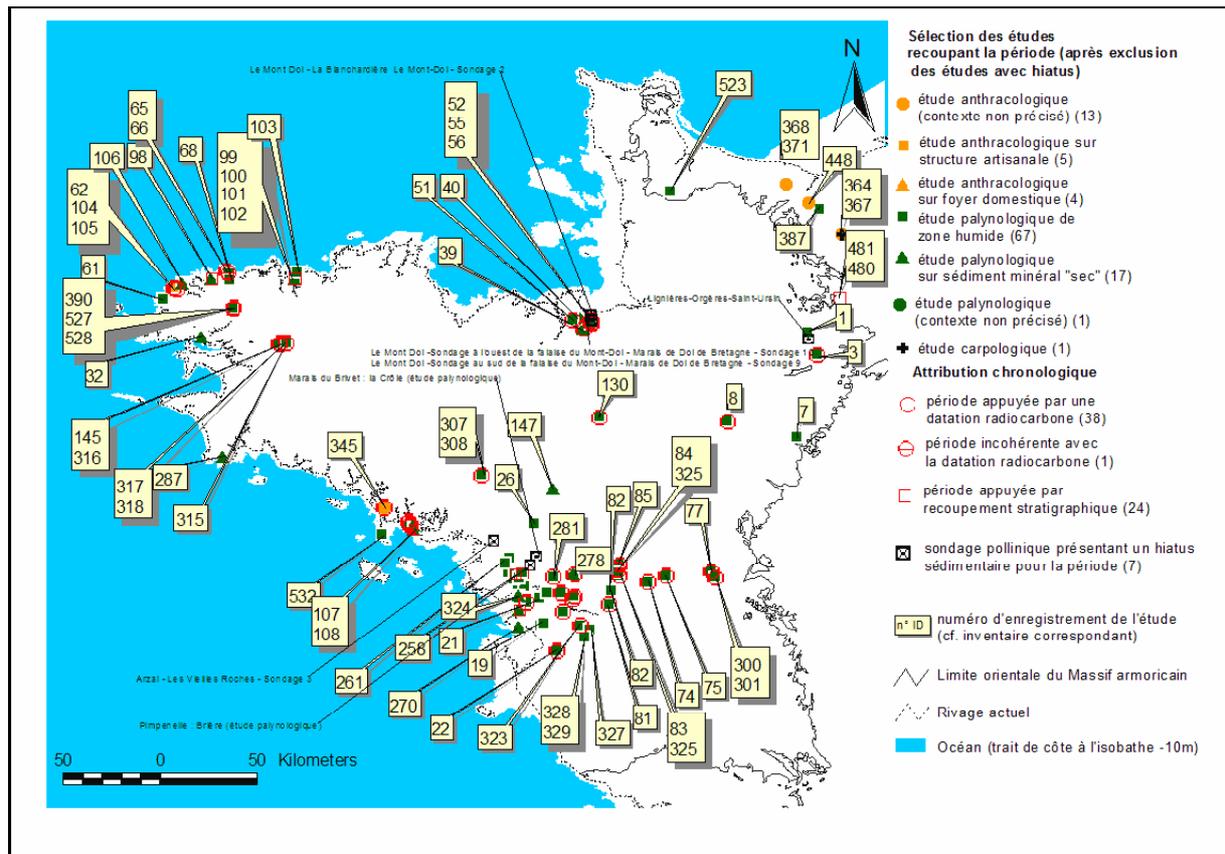


Fig. 215 Carte de répartition des études recoupant la première moitié du Subboréal.

La première moitié du Subboréal est très fournie en informations paléo-paysagères puisque 115 études ont enregistré des attestations archéobotaniques pour cette période. Ce sont à nouveau les études polliniques qui sont les plus nombreuses avec 92 études dont 74 réalisées dans des zones humides.

La répartition spatiale des études apparaît, une nouvelle fois, en agrégats (cf. § B.3.2). Si la région de la vallée de la Loire est très richement dotée en études, le centre-bretagne est quasiment vide.

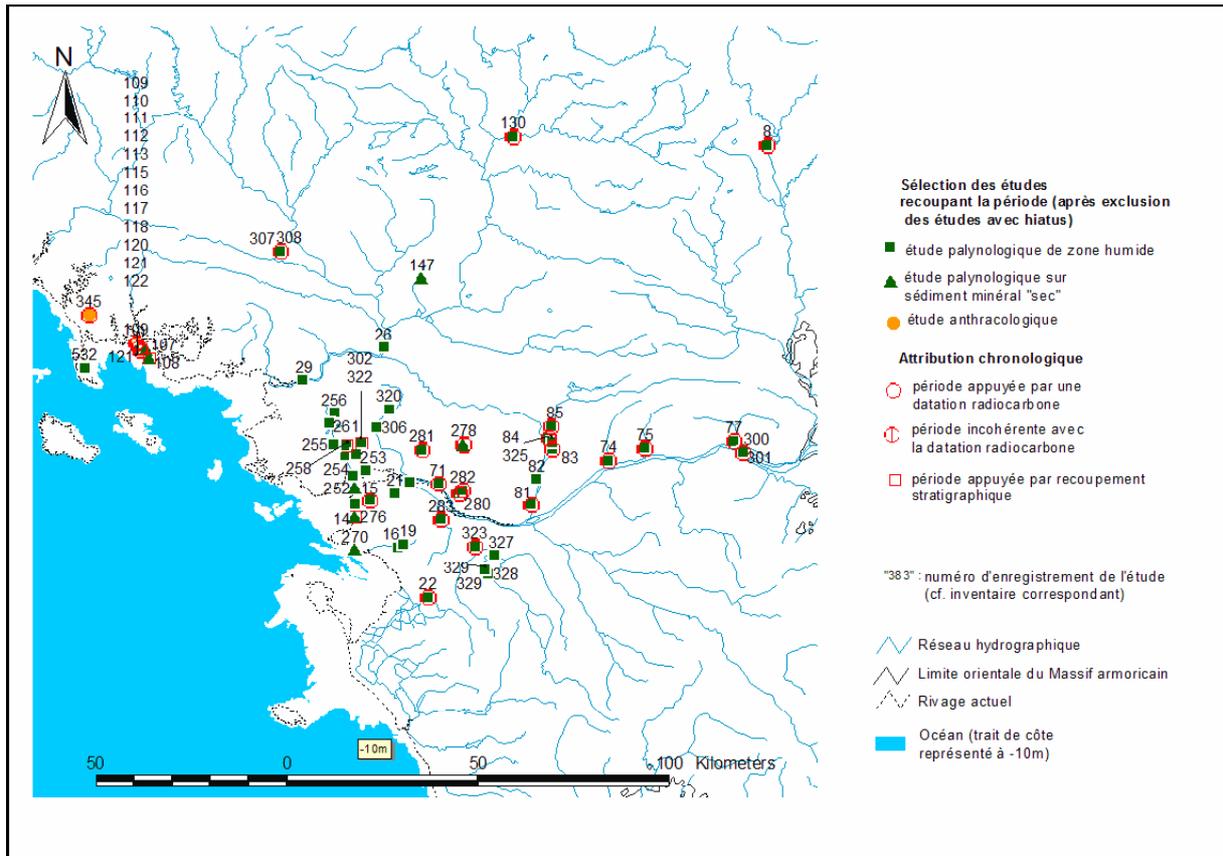


Fig. 216 Carte de répartition des études regroupées autour des marais de la Brière et de la vallée de la Loire, pour la première moitié du Subboréal.

- Taux de pollens d'arbres et de Poacées

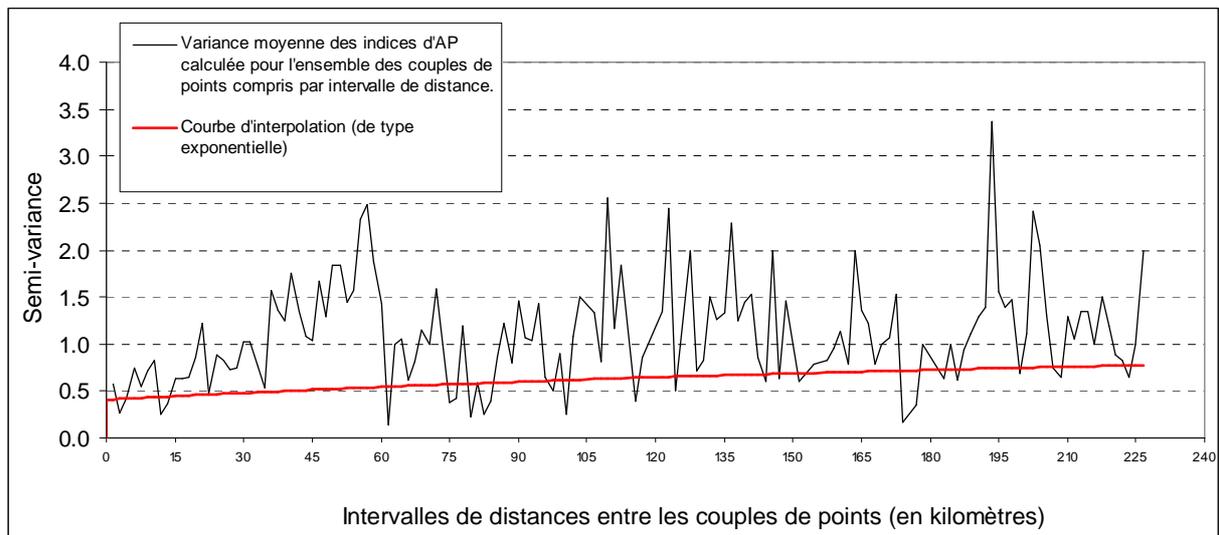


Fig. 217 Semi-variogramme et courbe d'interpolation des indices des taux de pollens d'arbres du début du Subboréal (lag interval = 1500 mètres et courbe d'interpolation de type exponentiel) ayant permis la construction de la carte d'interpolation des taux de pollens d'arbres ci-après. (RMS error = 0,73).

La courbe d'interpolation du semi-variogramme montre que les valeurs de variance entre les taux de pollens d'arbres augmentent légèrement et régulièrement au fur et à mesure que la distance entre les couples de points de sondages augmente. Il est tentant de voir là

l'impact de phénomènes influençant les taux de pollens d'arbres à l'échelle globale du Massif armoricain. En effet, la relation entre variances et distances affecte tous les intervalles de distances, de quelques kilomètres à deux cent vingt-cinq kilomètres.

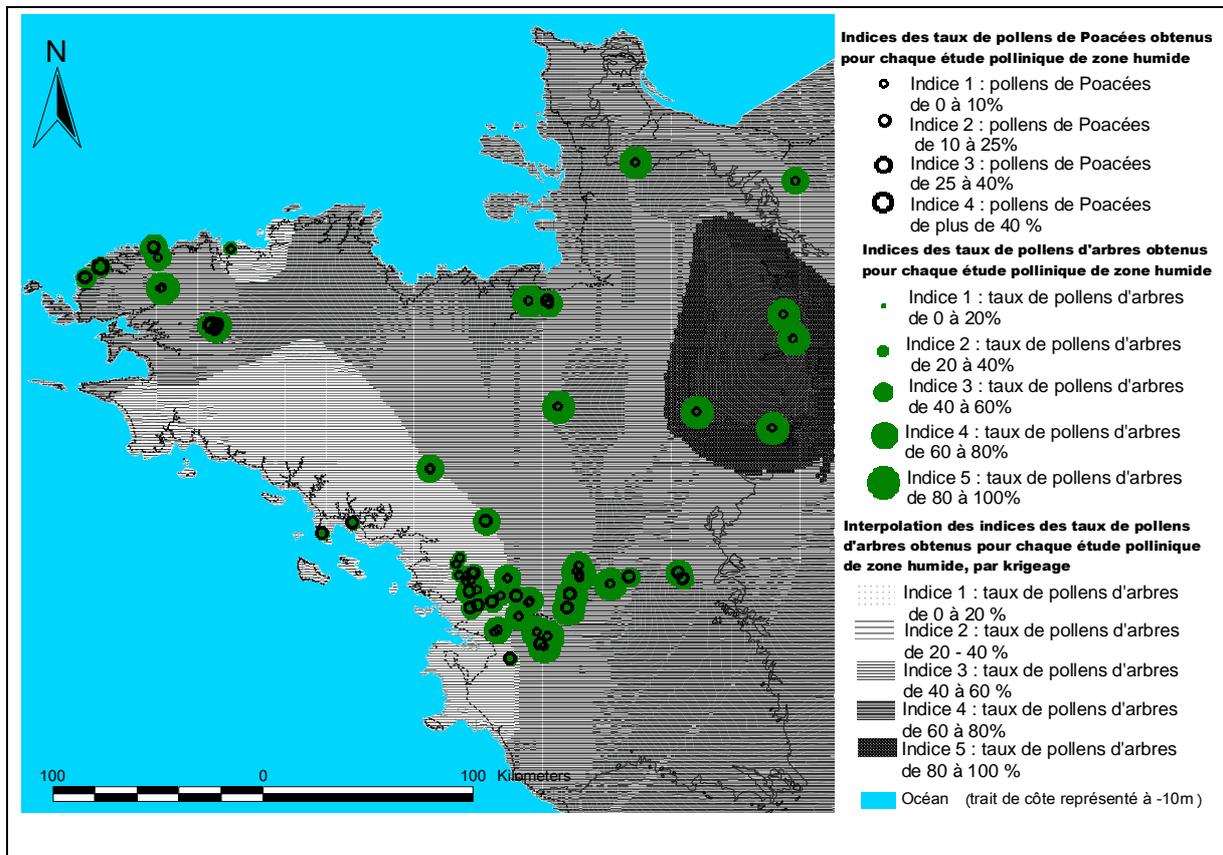


Fig. 218 Représentation et distribution géographique des taux de pollens de Poacées et d'arbres pour la période du début du Subboréal. Le fond de carte est issu de l'interpolation des taux de pollens d'arbres calculé à partir du semi-variogramme doté d'un « lag interval » de 1500 mètres (cf. semi-variogramme Fig. 217). L'interpolation est issue d'une sélection des études polliniques de zones humides et après exclusion des études présentant des datations en décalage.

La carte d'interpolation montre des zonations de taux de pollens d'arbres contrastées. Au regard des valeurs des taux de pollens d'arbres interpolés, la partie orientale du Massif armoricain apparaît plus « fermée » que la partie occidentale. L'ensemble de la marge sud littorale du Massif armoricain paraît quant à elle plus ouverte. Il faut néanmoins interpréter certaines tendances avec précaution (ex. les résultats du centre-Bretagne), à cause du manque de sondages polliniques dans certains secteurs.

En effet, une autre interpolation obtenue à partir d'un semi-variogramme basée sur un « lag interval » de 3000 mètres donne un résultat différent pour ce secteur. Cette différence est liée à la forme du semi-variogramme mettant alors en évidence une relation entre variance et distance beaucoup plus restreinte (environ 30 kilomètres) par rapport aux 225 kilomètres du premier variogramme (Fig. 219 et Fig. 220).

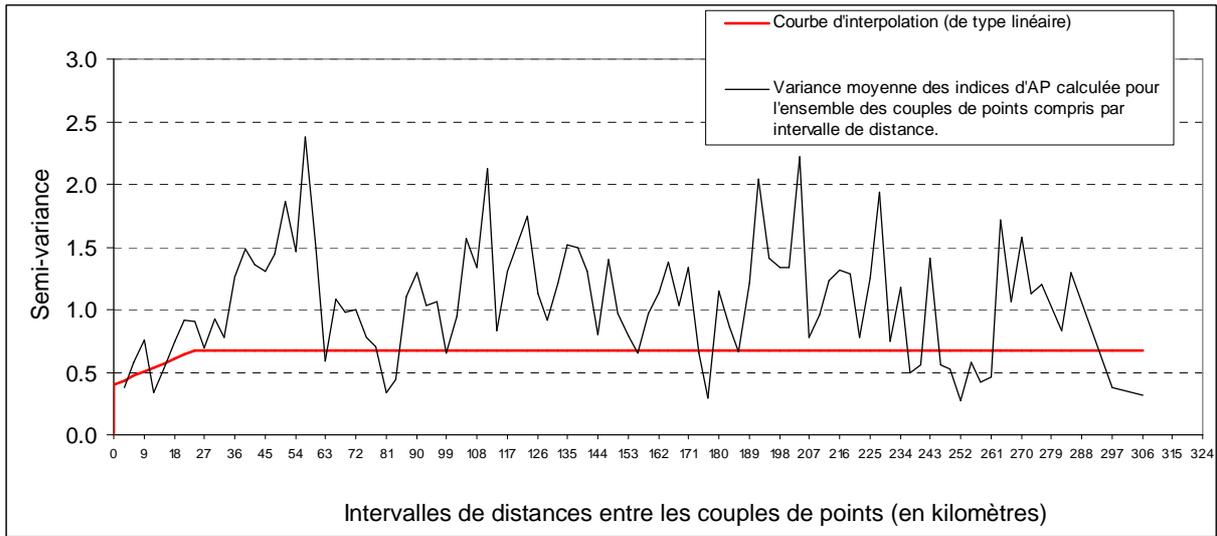


Fig. 219 Semi-variogramme et courbe d'interpolation des indices des taux de pollens d'arbres du début du Subboréal (lag interval = 3000 mètres et courbe d'interpolation de type linéaire) ayant permis la construction de la carte d'interpolation des taux de pollens d'arbres, Fig. 220 ci-après. (RMS error = 0,6).

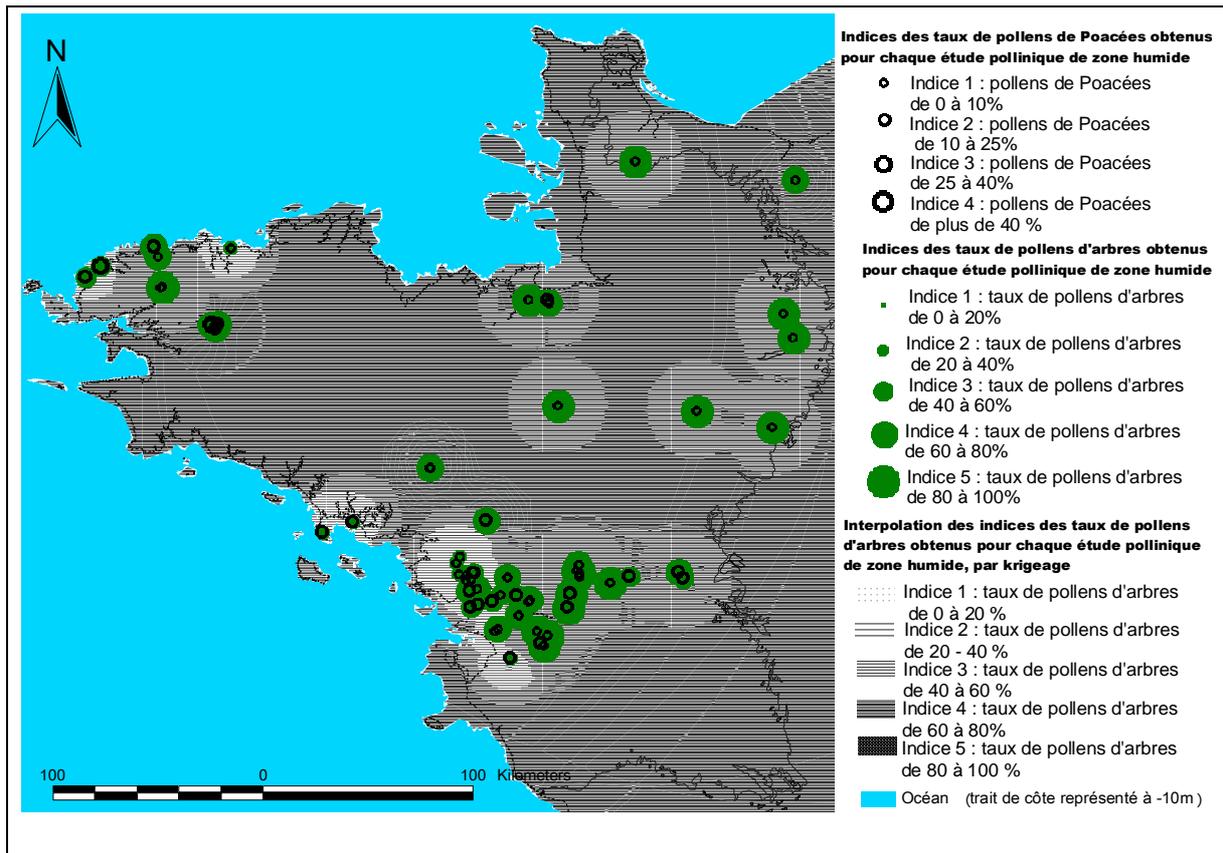


Fig. 220 Représentation et distribution géographique des taux de pollens de Poacées et d'arbres pour la période du début du Subboréal. Le fond de carte est issu de l'interpolation des taux de pollens d'arbres calculé à partir du semi-variogramme doté d'un « lag interval » de 3000 mètres (cf. semi-variogramme ci-dessus). L'interpolation est issue d'une sélection des études polliniques de zones humides et après exclusion des études présentant des datations en décalage.

Cette dernière interpolation est donc assez différente par rapport à la carte précédente. On constate néanmoins toujours un secteur présentant des flux polliniques d'arbres moins denses dans la région de l'embouchure de la Loire.

Il est possible d'obtenir tout un panel de semi-variogrammes en modifiant la valeur du « lag-interval » (cf. annexe concernant les interpolations) et il existe donc autant de cartes d'interpolation. Néanmoins le semi-variogramme obtenu avec l'intervalle de 3000 mètres semble être plus représentatif de l'ensemble du panel des semi-variogrammes obtenus (le RMS error est aussi plus faible). La carte d'interpolation basée sur le lag interval de 1500 mètres présente quant à elle l'avantage de faire ressortir davantage les grandes tendances des flux polliniques d'arbres (Fig. 218). C'est donc pour cela que nous avons choisi cette carte d'interpolation pour réaliser les tests statistiques (test U Mann et Withney) et l'étude de la continentalité ci-dessous.

Par rapport à la période précédente et au regard de la carte d'interpolation basée sur le lag interval 3000 mètres, on constate globalement une stabilité de la répartition spatiale des flux polliniques d'arbres. C'est la partie de l'embouchure de la Loire qui semble subir le plus de changements, avec une diminution manifeste des taux de pollens d'arbres dans certains sondages (résultat attendu au regard de l'évolution des taux moyen d'AP dans la Fig. 89). Ce phénomène peut-être interprété comme une ouverture de la végétation. Les études polliniques dans certains secteurs, notamment sur la côte sud bretonne, sont néanmoins trop rares pour pouvoir être totalement catégorique.

Une carte représentant les occurrences des groupements de cultures (avec ou sans « exclusion » des études présentant à la fois des groupements de côtes sableuses) est représentée ci-dessous (Fig. 221). Elle montre une répartition spatiale des enregistrements de cultures établie à l'ensemble du Massif armoricain.

Une comparaison des taux de pollens d'arbres interpolés (d'après la carte d'interpolation réalisée avec le lag interval = 3000 mètres) au niveau des études polliniques présentant des attestations de cultures (sans exclusion des groupements de côtes sableuses), vis-à-vis des valeurs interpolées correspondant aux études n'ayant pas enregistré de groupements de cultures (Fig. 221) a été réalisée grâce à un test de U Mann et Withney.

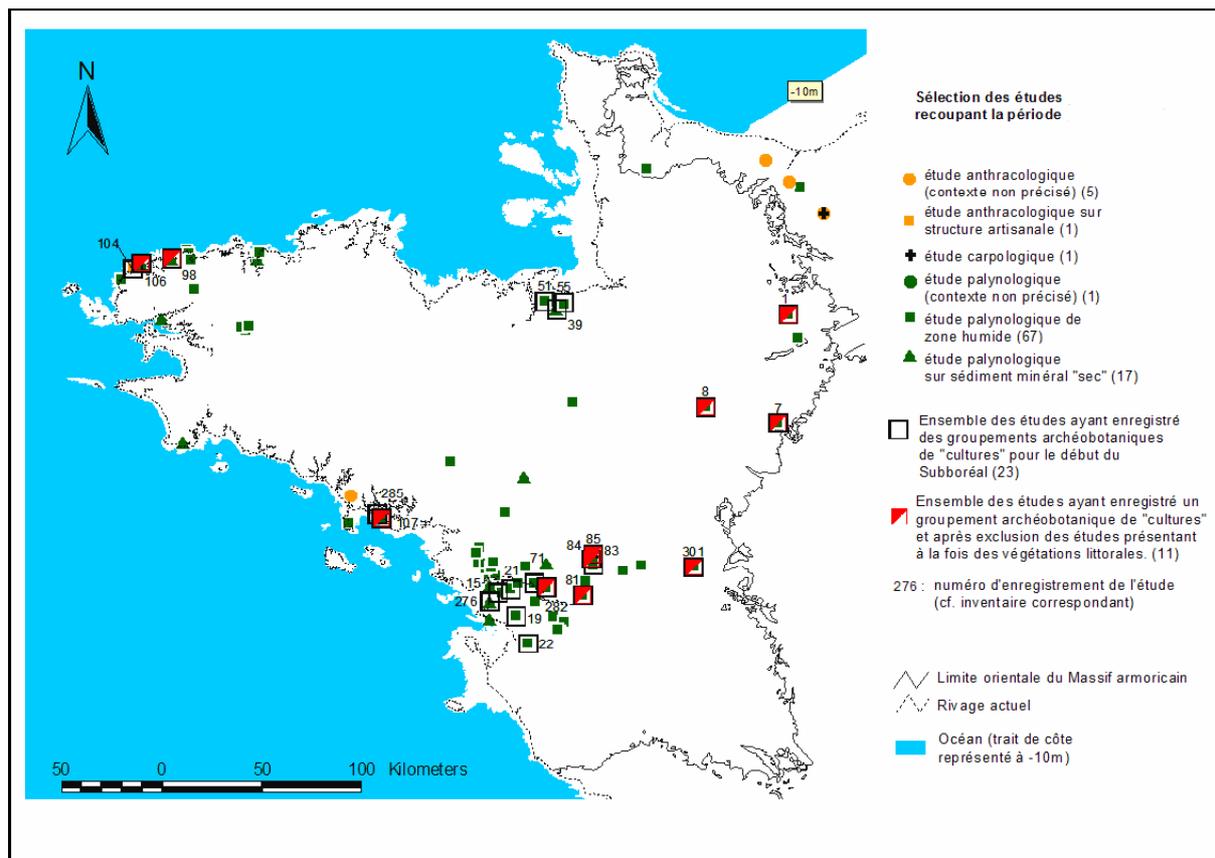


Fig. 221 Carte de répartition des études archéobotaniques de la première moitié du Subboréal avec sélections des études ayant enregistré des groupements archéobotaniques de cultures (cf. § B.2.2.2.37.2).

Le test a été réalisé sur deux séries de données. D'une part, sur les 62 études polliniques n'ayant pas enregistré de groupements de cultures et d'autre part sur les 23 études présentant des occurrences du groupement de cultures au début du Subboréal. La moyenne des indices d'AP pour les 23 études présentant un groupement de culture est de 3,73 (ec-type = 0,53) alors que la moyenne pour les études sans groupement de culture est de 3,59 (ec-type = 0,51)

Le test calculé sur les taux de pollens d'arbres interpolés sur chacune des deux séries ou groupes d'études a permis de montrer une valeur du H de de Kruskal-Wallis (ou Mann et Withney), distribué comme un khi² (ddl = 1) : 1,087 (avec P value = 0,297). La valeur critique du H de Kruskal-Wallis, étant distribué comme un khi² (ddl = 1) : 3,748 au seuil de signification alpha= 0.050 on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle d'absence de différence entre les 2 groupes. Autrement dit, la différence entre les groupes n'est pas significative.

La distribution des groupements de cultures apparaît donc indépendante de la distribution spatiale des taux de pollens d'arbres interpolés.

L'effet de la continentalité peut-être un paramètre explicatif majeur de la distribution des taux de pollens d'arbres. Pour appréhender ce phénomène, un millier de points a été généré et réparti de manière aléatoire sur la première carte d'interpolation (issue de l'interpolation avec le lag interval = 1500 mètres, Fig. 218). Deux valeurs ont ensuite été attribuées à chacun de ces points : une valeur de la distance par rapport au rivage et une valeur du taux de pollens d'arbres interpolé. Le graphique ci-dessous (Fig. 222) permet de mettre en relation ces deux paramètres.

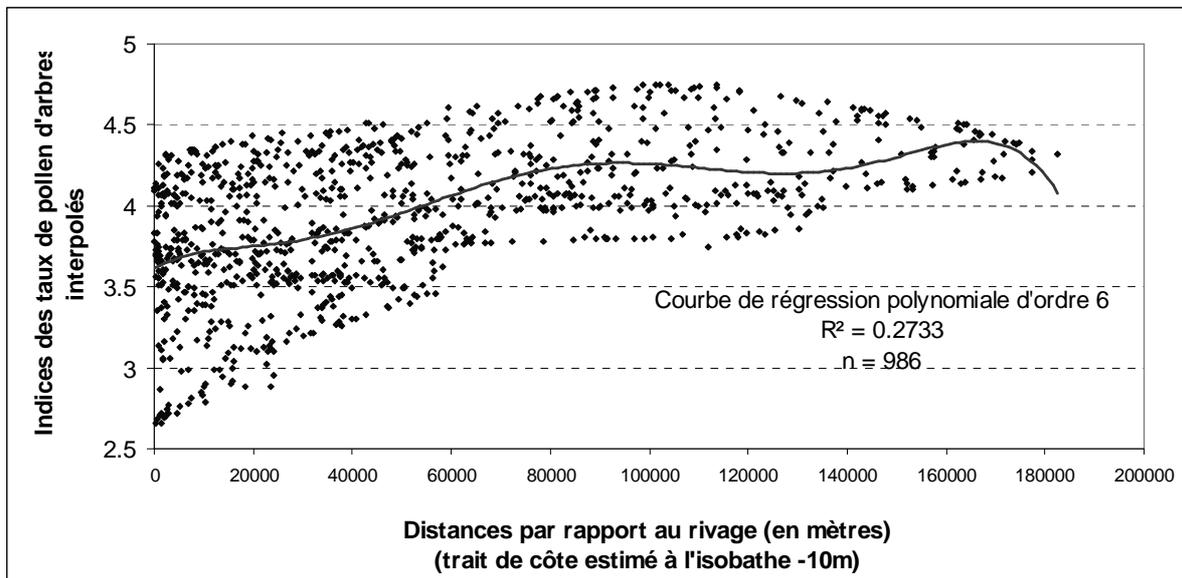


Fig. 222 Relation entre les taux de pollens d'arbres interpolés et la distance au rivage estimé au début du Subboréal pour le Massif armoricain. Ce calcul a été réalisé à partir des valeurs de taux de pollens d'arbres interpolés et la distance par rapport au rivage de 986 points répartis de manière aléatoire à la surface de la carte d'interpolation (lag interval = 1500 mètres), de la première moitié du Subboréal (Fig. 218).

Le graphique montre une assez bonne corrélation sur les quatre-vingt premiers kilomètres. Les paysages littoraux apparaissent comme les plus ouverts. Au-delà de ces quatre-vingt kilomètres, l'influence du rivage disparaît et les taux de pollens d'arbres interpolés stagnent au niveau d'un indice moyen de 4,25 (soient des taux de pollens d'arbres interpolés oscillant autour de 70 à 80%). Ce résultat décrit donc des paysages forestiers sous influence côtière sur la marge littorale et apparemment de structure dense et plus homogène à l'intérieur des terres. Notons que le coefficient de détermination n'est que de 0,27 car les taux de pollens d'arbres interpolés sont relativement disparates en fonction de la distance et notamment dans les secteurs côtiers.

Cet effet de « continentalité » apparaît de manière encore plus nette dans la fenêtre de la côte sud du Massif (Fig. 223 et Fig. 224 ci-dessous). Notons que cette fenêtre richement fournie en études polliniques présente un résultat interpolé avec le « lag interval » de 1500 mètres semblable à l'interpolation que l'on aurait obtenu avec le « lag interval » de 3000 mètres (cf. les deux cartes d'interpolation Fig. 218 et Fig. 220). Pour cette fenêtre, la corrélation obtenue reste donc globalement valable quelque soit la carte d'interpolation.

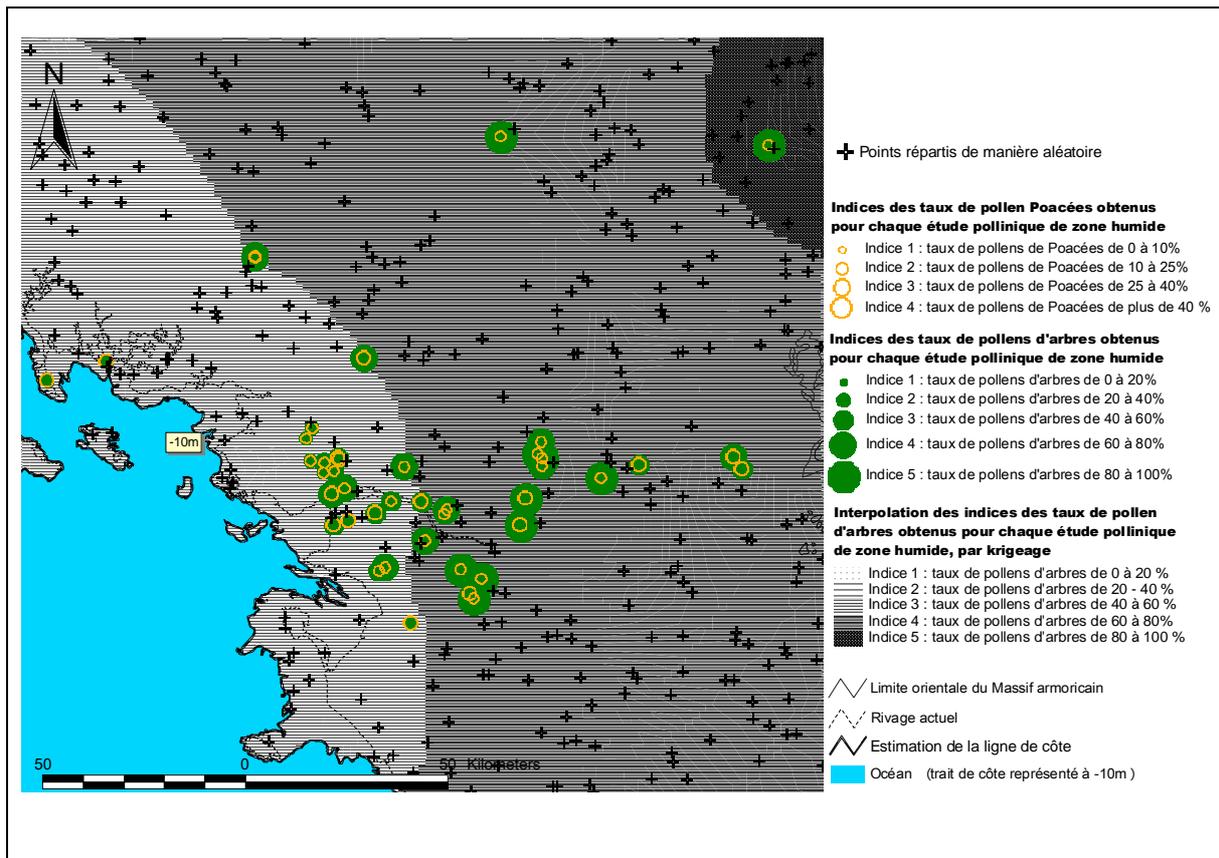


Fig. 223 Représentation et distribution géographique des taux de pollens de Poacées et d'arbres pour la fenêtre sud du Massif armoricain et pour la première moitié du Subboréal. Le fond de carte est directement issu de la première carte d'interpolation (avec le lag interval = 1500 m) réalisée à partir de l'ensemble des taux de pollens d'arbres des études de zones humides et après exclusion des résultats présentant des datations en décalage chronologique.

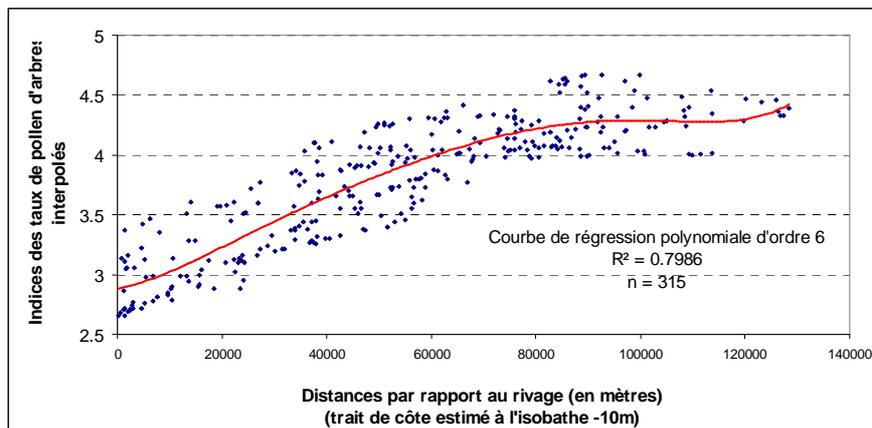


Fig. 224 Indices des taux de pollens d'arbres interpolés en fonction de la distance au rivage pour la fenêtre représentée dans la Fig. 223.

Le coefficient de détermination (R^2) entre les valeurs de taux de pollens d'arbres interpolés et les valeurs de distance au rivage est alors de 0,79. Cette valeur traduit une distribution spatiale homogène du phénomène. Là encore, l'influence du littoral paraît s'estomper au-delà de quatre-vingts kilomètres à l'intérieur des terres.

- Principaux groupements « régionaux »

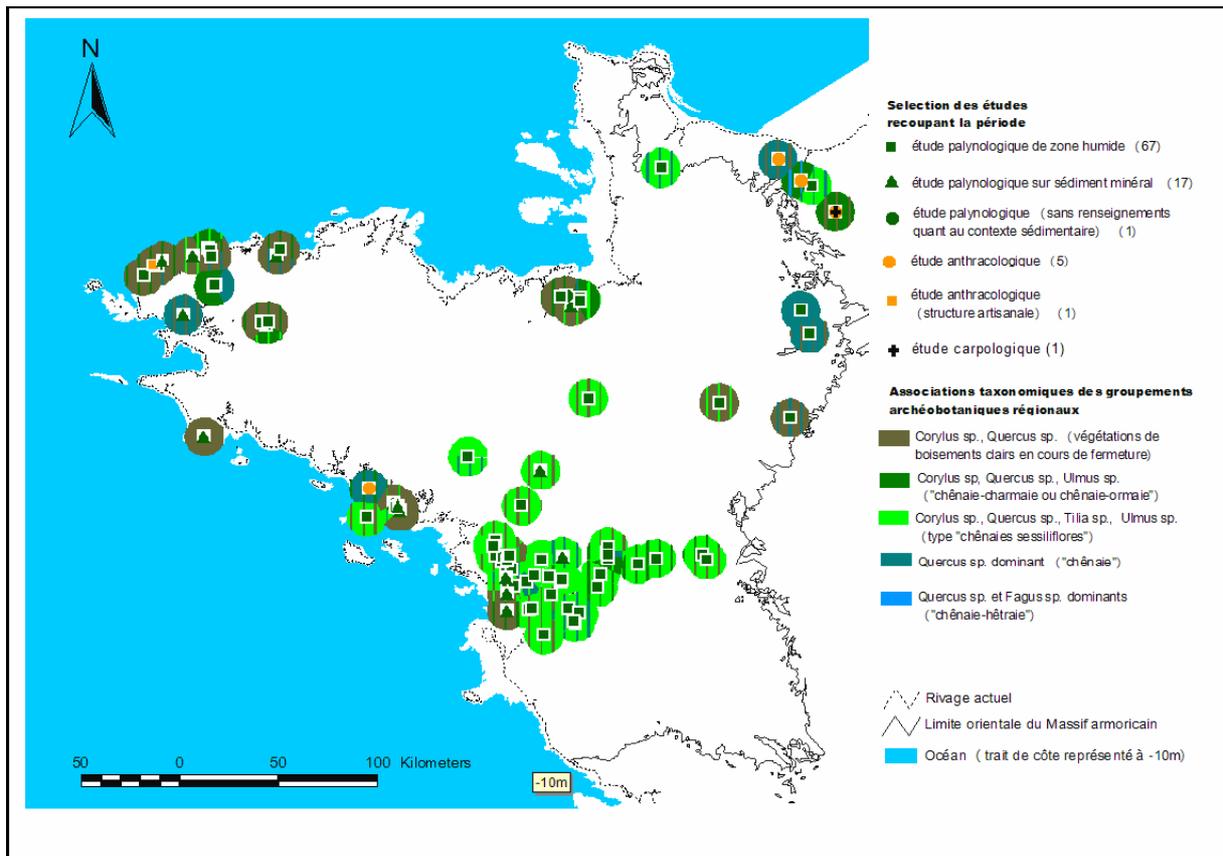


Fig. 225 Distribution géographique des deux principaux groupements archéobotaniques issus de l'apport pollinique « régional », identifiés dans chaque étude et représentés sous la forme de disques de 10 kilomètres de rayon pour la première moitié du Subboréal.

En ce qui concerne la composition qualitative des résultats, on constate que les occurrences des groupements de taxons d'arbres « *Corylus, Quercus* » et « *Corylus, Quercus, Tilia, Ulmus* » sont les plus fréquemment identifiées dans l'ensemble des études archéobotaniques. En effet, les occurrences de ces deux groupements sont enregistrées dans environ 55% des études (Fig. 104). Le groupement de « *Corylus, Quercus, Tilia, Ulmus* » est en retrait par rapport à la période précédente mais reste localisé dans la moitié sud du Massif armoricain et notamment dans le bassin de la Loire. Le groupement à « *Corylus, Quercus* » occupe plutôt les stations de la moitié septentrionale du Massif et notamment la péninsule bretonne. Les conditions abiotiques impliquées par la latitude et la proximité du littoral peuvent à nouveau être évoquées pour expliquer la répartition spatiale de ces groupements (cf. analyse de co-inertie de la fin de l'Atlantique, Fig. 214)

On note dans une moindre mesure les occurrences des groupements de « *Quercus* dominant » et « *Corylus, Quercus, Ulmus* » qui sont enregistrées dans environ 30% des études. Si le premier groupement tend à augmenter légèrement, le groupement à « *Corylus, Quercus, Ulmus* » est moins fréquemment identifié par rapport à la fin de l'Atlantique (Fig. 104).

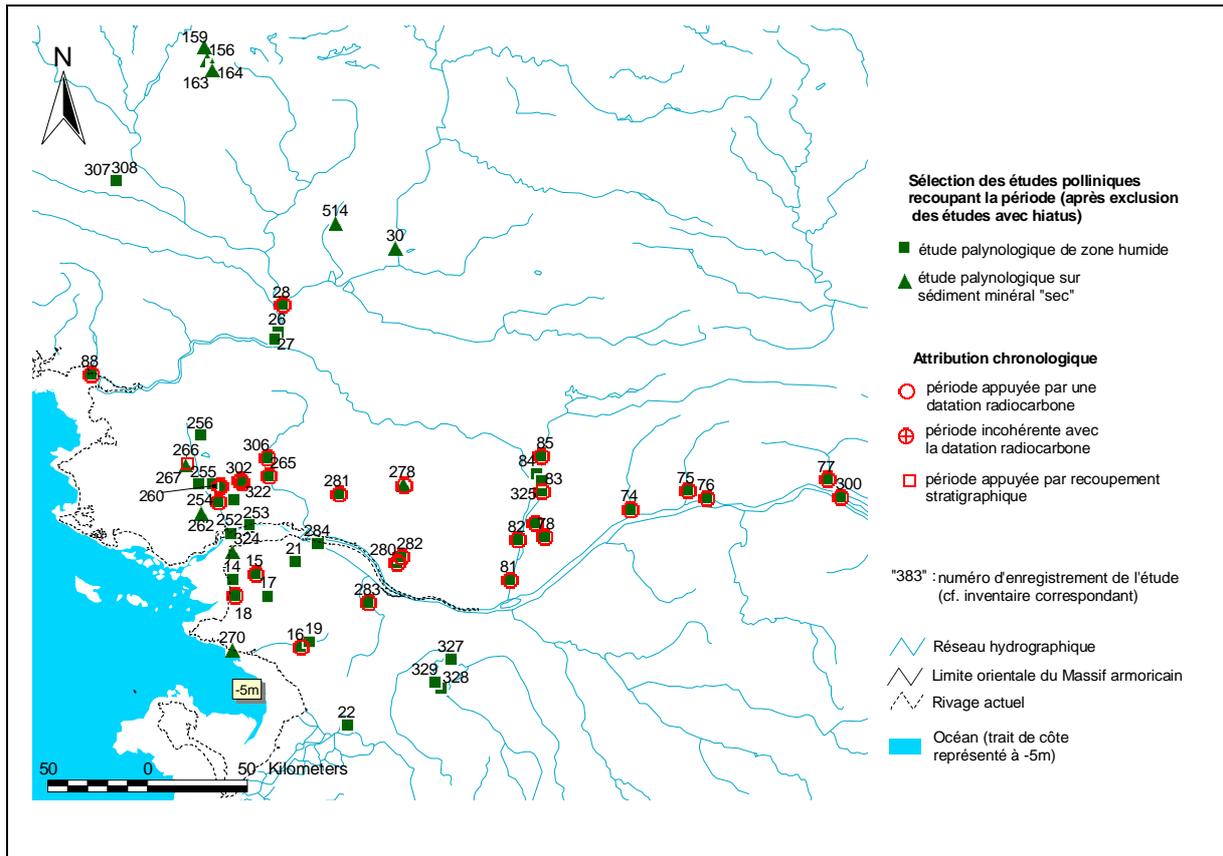


Fig. 227 Carte de répartition des études regroupées autour des marais de Brière et de la vallée de la Loire pour la seconde moitié du Subboréal.

- Taux de pollens d'arbres et de Poacées

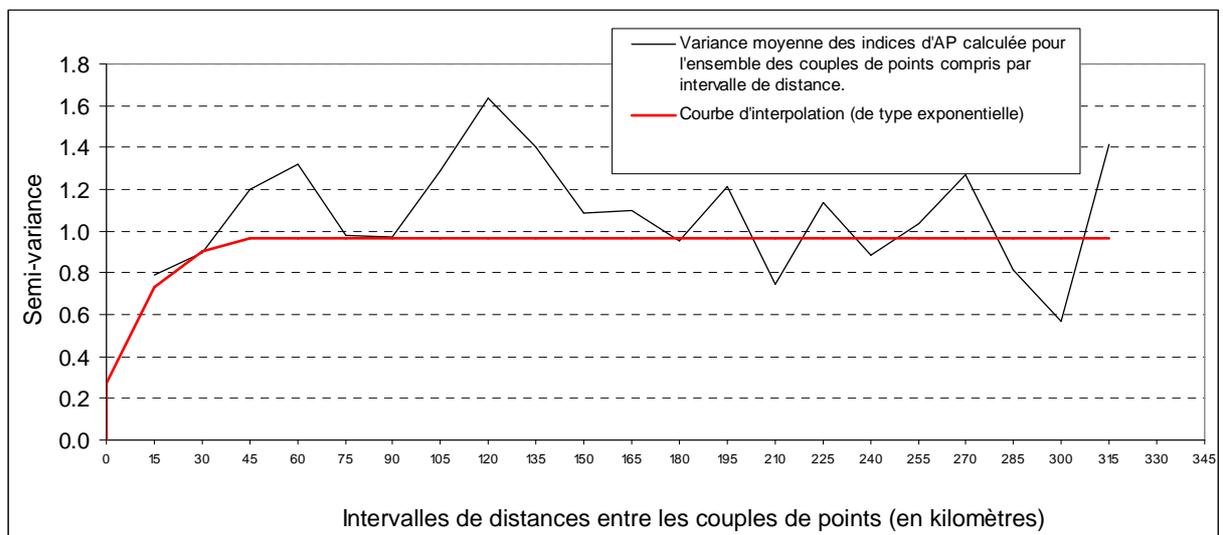


Fig. 228 Semi-variogramme et courbe d'interpolation des indices des taux de pollens d'arbres de l'ensemble des études polliniques de zone humide pour la fin du Subboréal (Lag interval = 15000 mètres et courbe d'interpolation de type exponentiel) et ayant permis la construction de la carte d'interpolation des taux de pollens d'arbres. (RMS error = 0,3).

Le semi-variogramme montre globalement des variances importantes quelles que soient les intervalles de distances. Les couples de taux de pollens d'arbres présentent donc des valeurs hétérogènes sur l'ensemble des intervalles de distances et y compris sur les faibles distances (seuls les couples de points compris dans des intervalles inférieurs ou égaux à 45 kilomètres montrent des variances légèrement plus faibles).

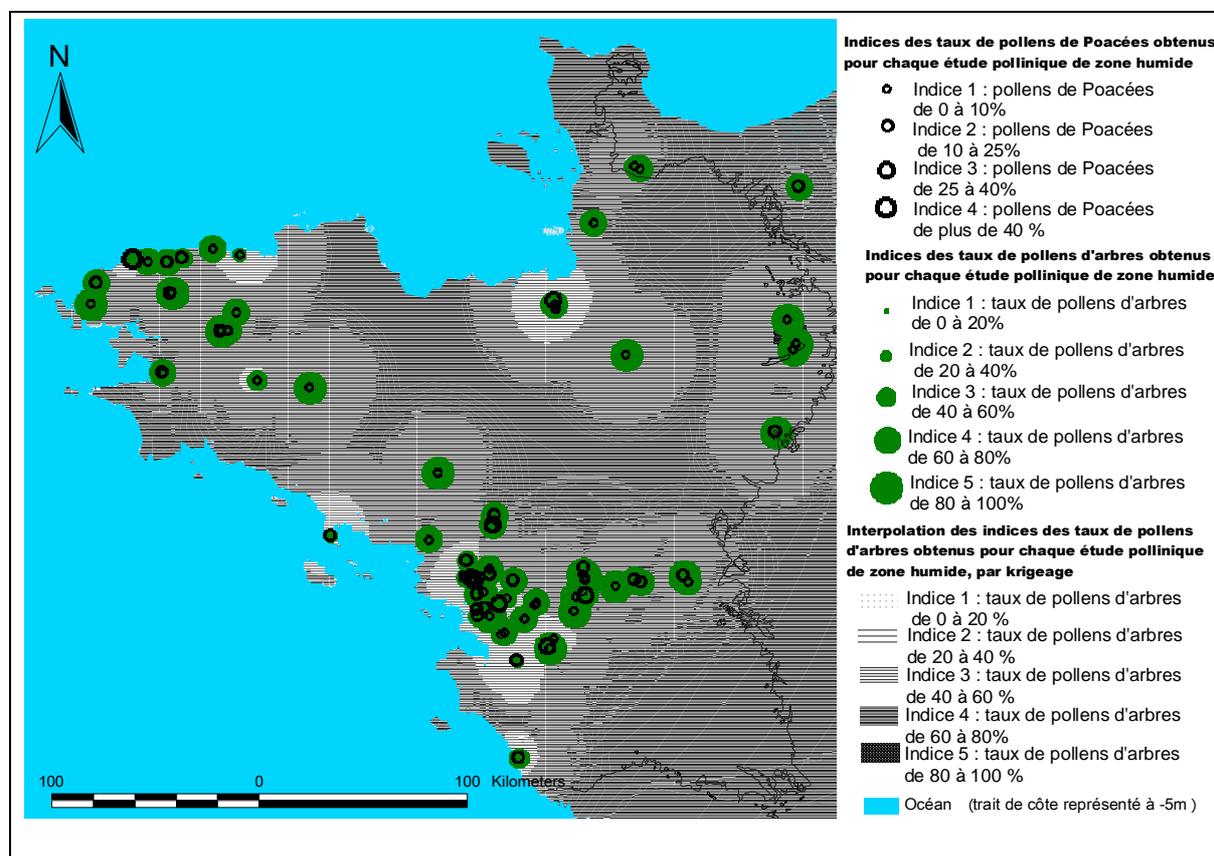


Fig. 229 Représentation et distribution géographique des taux de pollens de Poacées et d'arbres pour la seconde moitié du Subboréal. Le fond de carte est issu de l'interpolation des taux de pollens d'arbres à partir des études de zones humides et après exclusion des études présentant des datations en décalage (semi-variogramme avec un Lag interval = 15000 mètres et courbe d'interpolation de type exponentiel).

Tout comme le laissait présager la forme du semi-variogramme, aucune tendance générale de densité des flux polliniques d'arbres ne se dégage à l'échelle du Massif armoricain pour cette période.

La moyenne des indices des taux de pollens d'arbres qui est de l'ordre de 3,75 (cf. évolution des fréquences des indices d'AP par période climatique, Fig. 89) couvre l'ensemble des secteurs situés à plus de 45 kilomètres d'une étude pollinique. En effet, la courbe d'interpolation du semi-variogramme qui est utilisée pour pondérer les valeurs prises en compte dans le calcul du krigeage, montre une relation entre la distance et la variance des couples de valeurs de taux de pollens d'arbres sur 45 kilomètres maximum (Fig. 228 du semi-variogramme). Au-delà de ce périmètre, le calcul de la valeur moyenne pour chaque pixel est réalisé à partir des douze points voisins, sans pondération des valeurs d'AP.

Au regard de cette carte et malgré les problèmes liés à l'hétérogénéité de la distribution du flux pollinique d'arbres, la proximité du littoral semble entraîner une baisse des taux de pollens d'arbres. Ce constat apparaît assez flagrant pour les études de

l'embouchure de la Loire mais aussi pour des études « littorales », désormais un peu plus proches de la mer puisque les niveaux marins sont alors estimés aux environs de l'isobathe -5 mètres. L'effet de la proximité de la mer sur les taux de pollens d'arbres interpolés est exprimé dans le graphique suivant (Fig. 230).

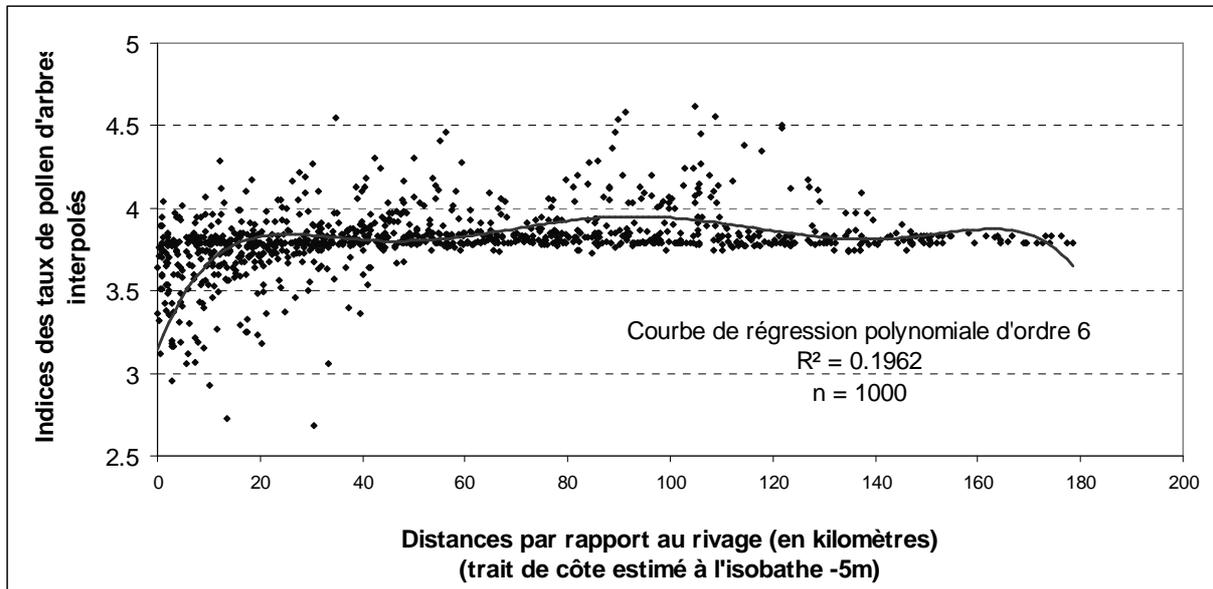


Fig. 230 Relation entre les taux de pollens d'arbres interpolés et la distance au rivage estimé à la fin de la période Subboréal pour le Massif armoricain. Ce calcul a été réalisé à partir des valeurs de taux de pollens d'arbres interpolés et la distance par rapport au rivage de 1000 points répartis de manière aléatoire à la surface de la carte d'interpolation de la seconde moitié du Subboréal.

Le graphique montre une très nette baisse des indices des taux de pollens d'arbres interpolés à la proximité immédiate du rivage. Néanmoins l'effet du littoral sur les indices des taux de pollens d'arbres s'estompe très rapidement après une vingtaine de kilomètres à l'intérieur des terres. A la fin du Subboréal, l'effet de la continentalité sur les indices des taux de pollens d'arbres interpolés paraît donc cantonné aux marges du littoral.

Au regard de ce graphique, on constate qu'au delà de 20 kilomètres environ, les indices d'AP interpolées oscillent autour de 3,8 et ce quel que soit l'éloignement par rapport à la côte. Ce résultat est lié aux valeurs moyennes interpolées dans les régions vides d'études polliniques. Aussi, pour étudier le phénomène de continentalité tout en écartant les valeurs interpolées dans les secteurs vides d'études polliniques, deux fenêtres ont été délimitées sur la base des nombreuses études polliniques réalisées dans ces secteurs.

Il s'agit de fenêtres couvrant la marge littorale sud du Massif armoricain (Fig. 233) et l'extrémité occidentale de la péninsule bretonne (Fig. 231).

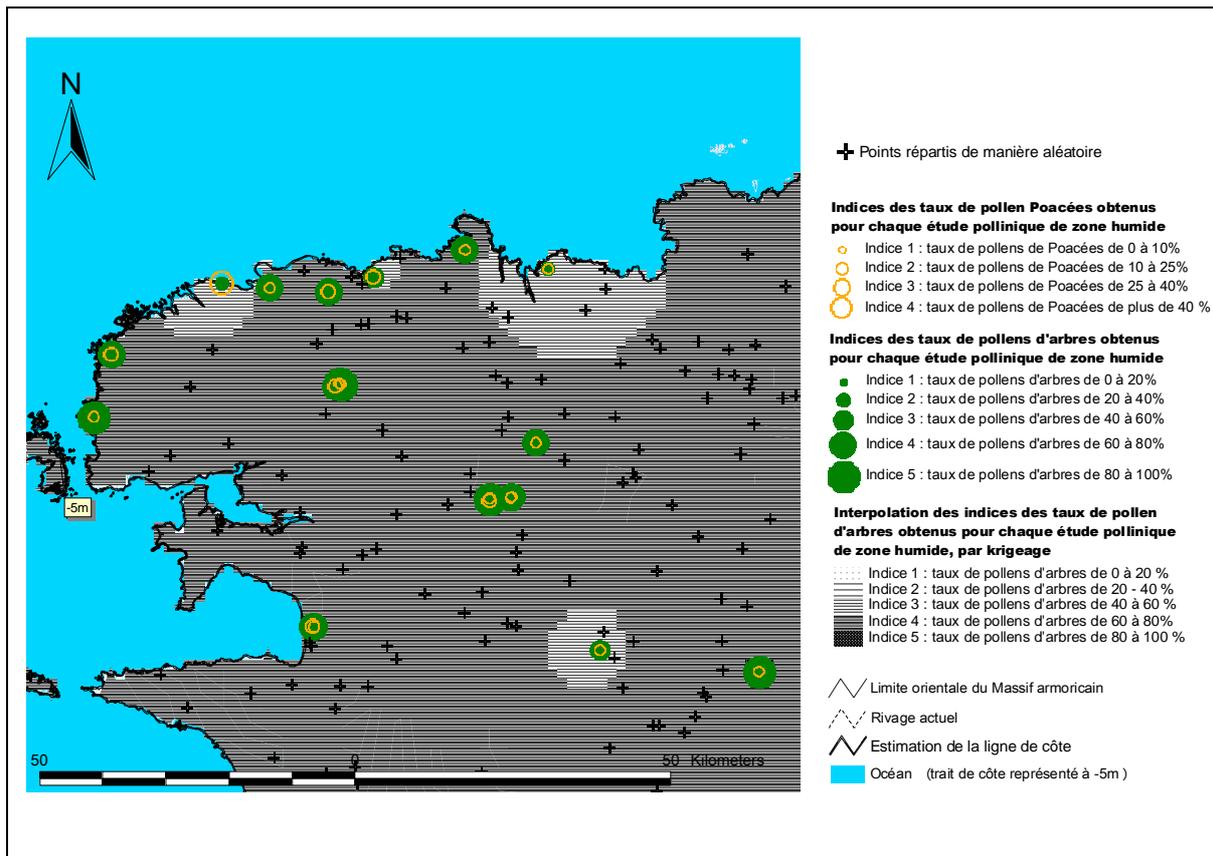


Fig. 231 Représentation et distribution géographique des taux de pollens de Poacées et d’arbres pour la fenêtre ouest du Massif armoricain et pour la période de la fin du Subboréal. Le fond de carte est directement issu de la carte d’interpolation réalisée à partir de l’ensemble des taux de pollens d’arbres des études de zones humides et après exclusion des résultats présentant des datations en décalage chronologique.

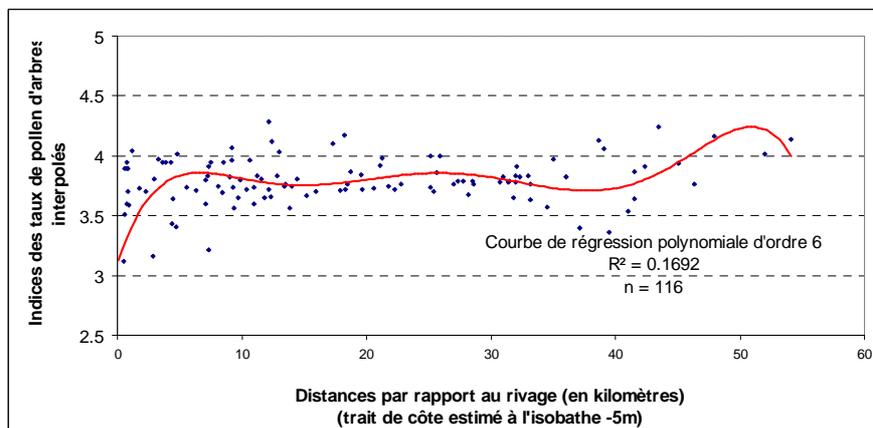


Fig. 232 Indices des taux de pollens d’arbres interpolés en fonction de la distance au rivage pour la fenêtre de la Fig. 231.

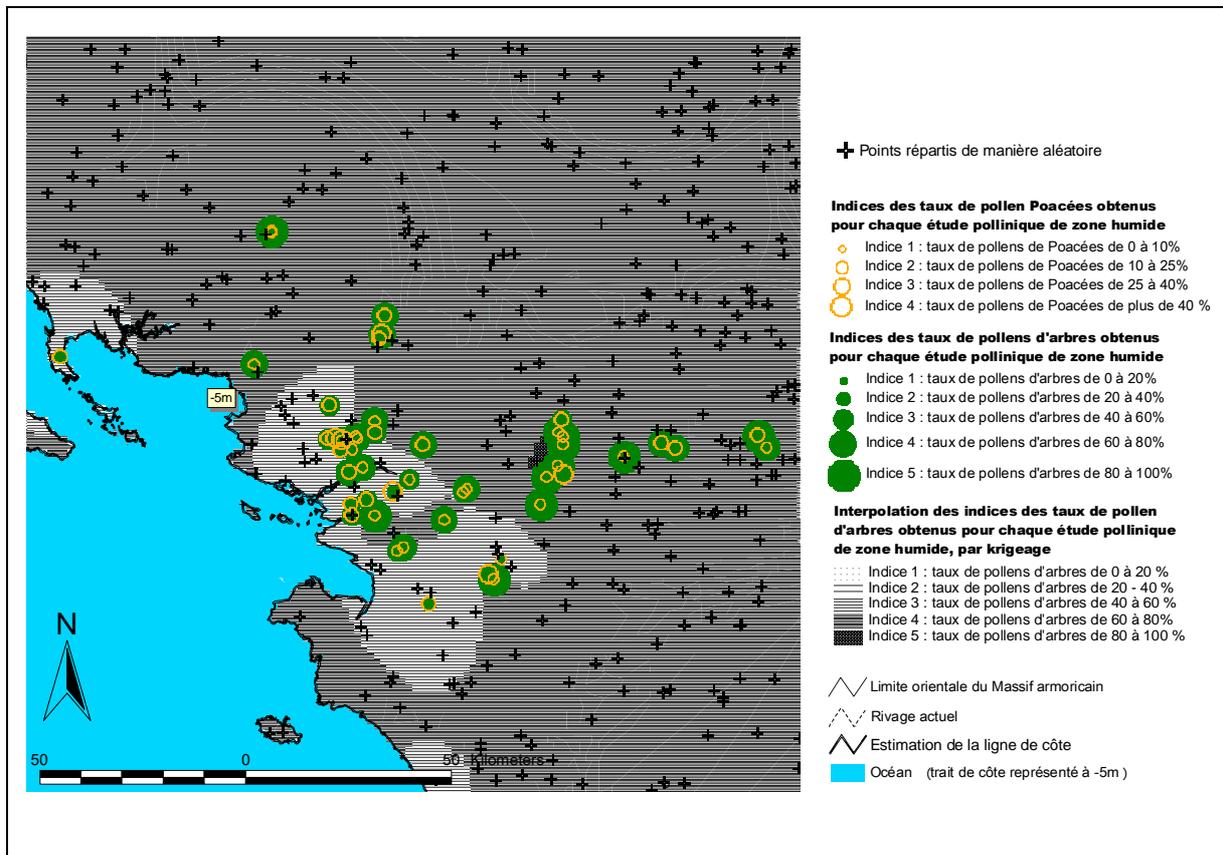


Fig. 233 Représentation et distribution géographique des taux de pollens de Poacées et d'arbres pour la fenêtre sud du Massif armoricain et pour la fin du Subboréal. Le fond de carte est directement issu de la carte d'interpolation réalisée à partir de l'ensemble des taux de pollens d'arbres des études de zones humides et après exclusion des résultats présentant des datations en décalage chronologique.

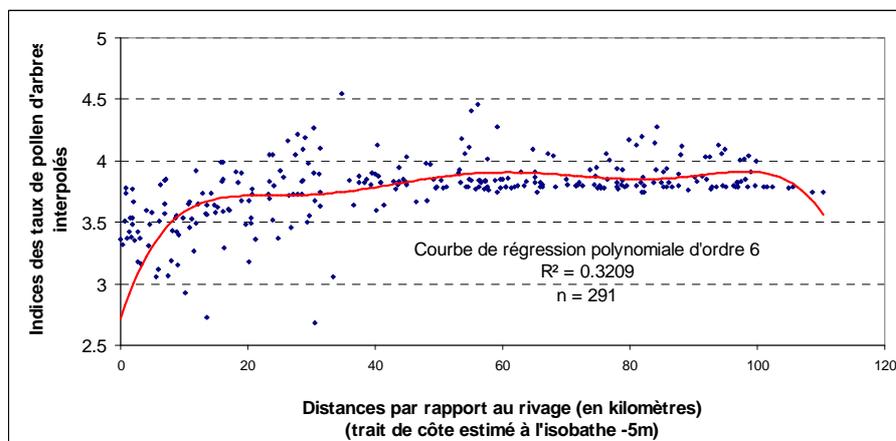


Fig. 234 Indices des taux de pollens d'arbres interpolés en fonction de la distance au rivage pour la fenêtre de la Fig. 233).

Pour les deux fenêtres sud et ouest, on constate à nouveau un « effet littoral » sur les taux de pollens d'arbres cantonnés aux premiers kilomètres des marges littorales. En effet, les taux de pollens d'arbres sont faibles sur le littoral (indice 3) mais à partir d'environ 10

kilomètres dans les terres, les indices des taux de pollens d'arbres interpolés sont de l'ordre de 3,7 à 3,8 et restent stables au fur et à mesure que l'on s'éloigne du rivage. Notons que le coefficient de détermination est dans les deux cas relativement faible ce qui révèle un phénomène réparti de manière assez hétérogène le long des côtes.

- Interpolation (krigeage) à partir d'une sélection d'études polliniques comprises dans la fenêtre sud du Massif armoricain

Les coefficients de détermination (R^2) obtenus dans les graphiques précédents étant faibles, nous avons cherché à réaliser une interpolation des taux de pollens d'arbres par krigeage, à partir d'une sélection des seules valeurs de taux de pollens d'arbres présentes dans une fenêtre. La fenêtre sud, précédemment étudiée à partir de l'ensemble des études polliniques armoricaines (Fig. 233) a de nouveau été choisie.

Deux interpolations ont été calculées pour cette fenêtre puis les résultats ont été comparés :

La première interpolation a été calculée en prenant le lag interval = 1000 mètres avec une courbe de régression de type linéaire (Fig. 235 et Fig. 236).

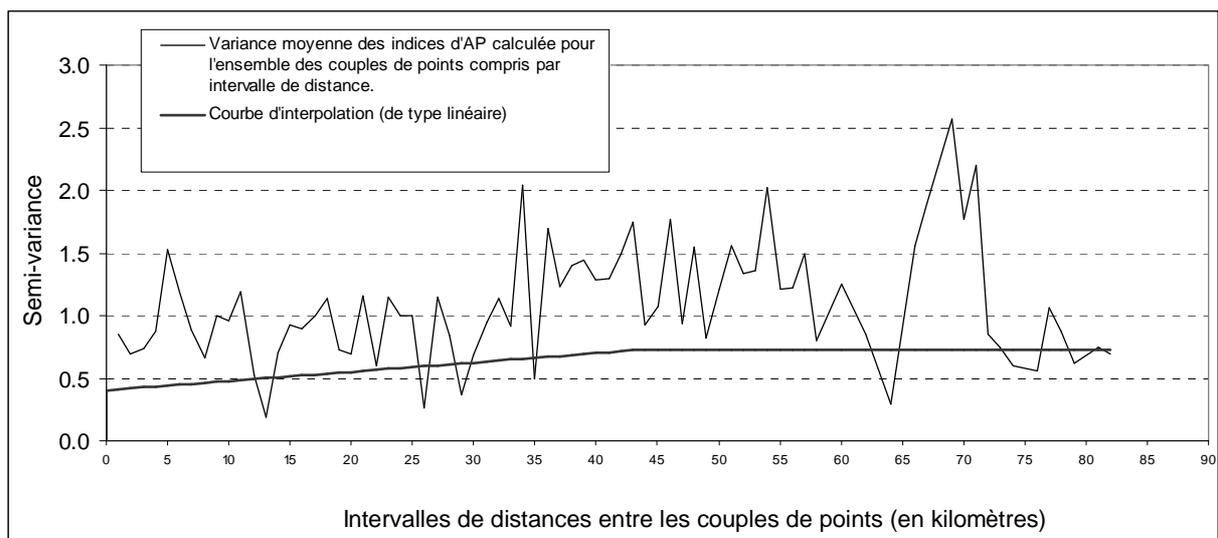


Fig. 235 Semi-variogramme et courbe d'interpolation des indices des taux de pollens d'arbres des études sélectionnées dans la fenêtre sud du Massif armoricain et recoupant la fin du Subboréal (Lag interval = 1000 mètres et courbe d'interpolation de type linéaire). Ce semi-variogramme a permis la construction de la carte d'interpolation des taux de pollens d'arbres pour cette fenêtre (Fig. 236). (RMS error = 0,64).

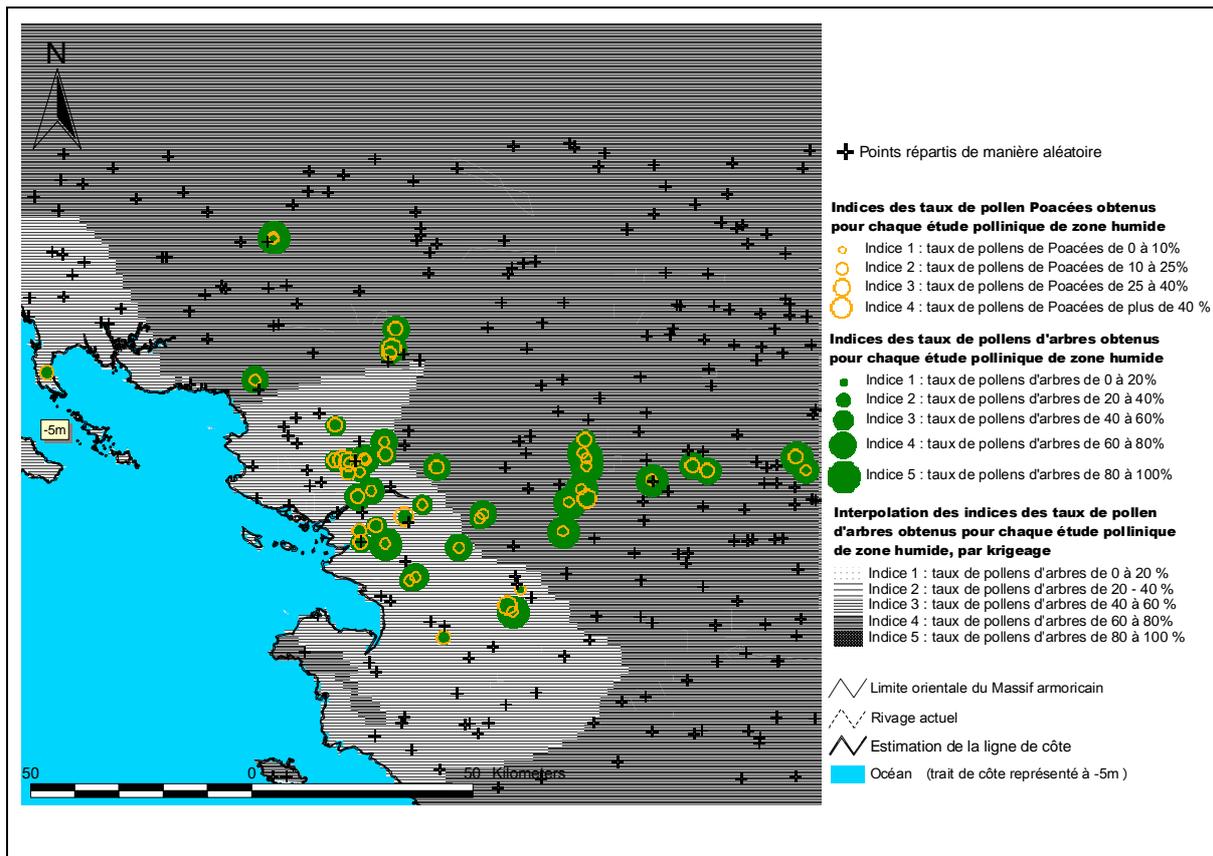


Fig. 236 Représentation et distribution géographique des taux de pollens de Poacées et d'arbres pour la fenêtre sud du Massif armoricain et pour la période de la fin du Subboréal. Le fond de carte est issu de la carte d'interpolation réalisée à partir de la sélection des études polliniques de zones humides comprises dans la fenêtre sud du Massif armoricain et d'après le semi-variogramme établi avec un lag interval de 1000 mètres.

Une seconde interpolation a été réalisée en prenant le lag interval = 7000 mètres avec une courbe de régression de type linéaire (Fig. 237 et Fig. 238).

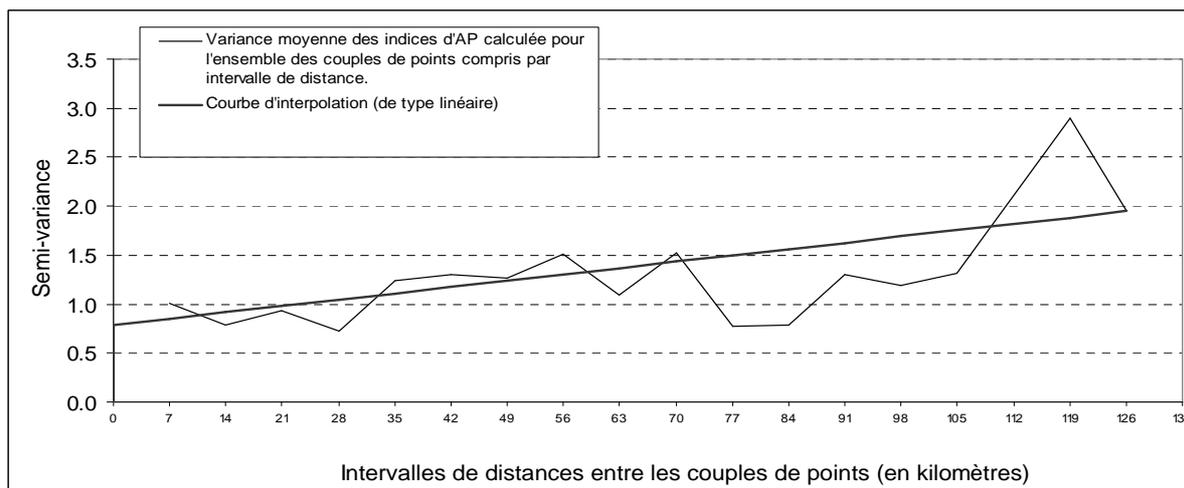


Fig. 237 Semi-variogramme et courbe d'interpolation des indices des taux de pollens d'arbres des études sélectionnée dans la fenêtre sud du Massif armoricain et recoupant la fin du Subboréal (Lag interval = 7000 mètres et courbe d'interpolation de type linéaire). Ce semi-variogramme a permis la construction de la carte d'interpolation des taux de pollens d'arbres pour cette fenêtre (Fig. 238). (RMS error = 0,38).

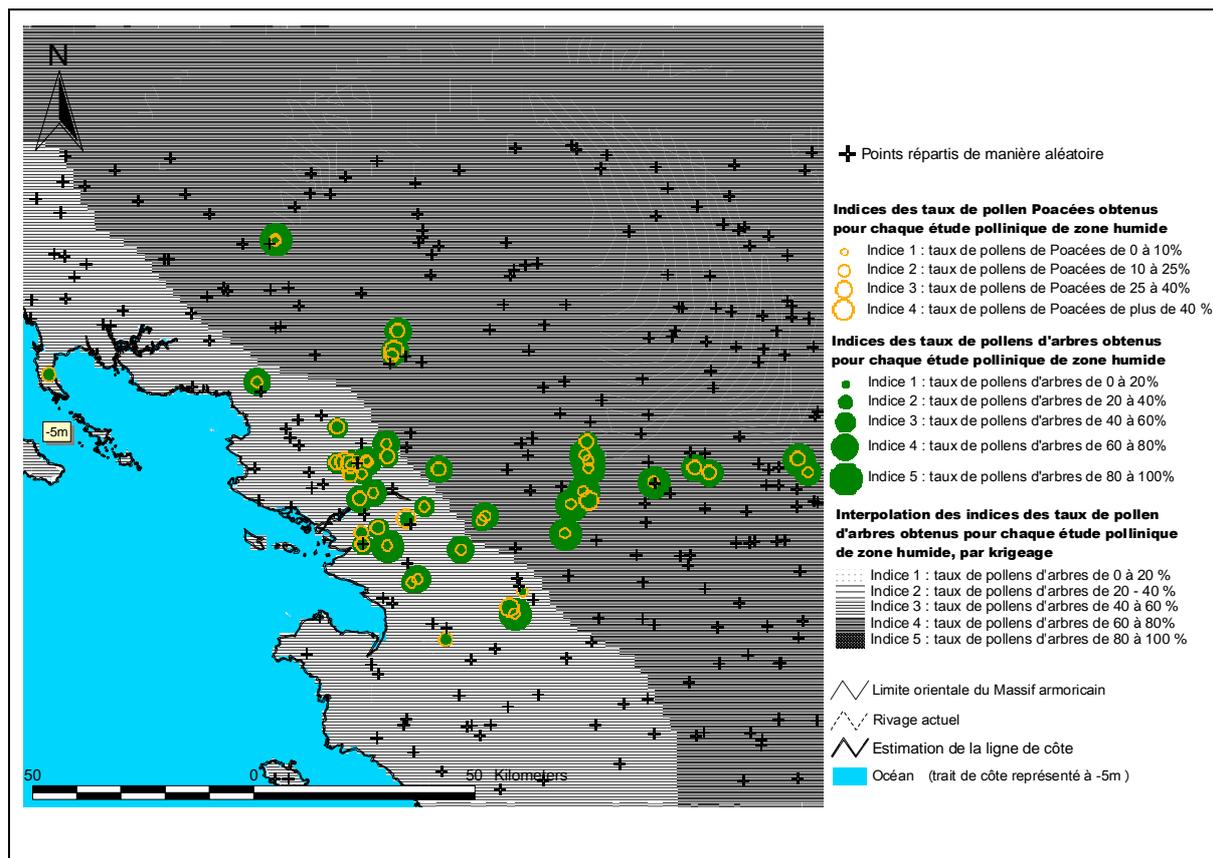


Fig. 238 Représentation et distribution géographique des taux de pollens de Poacées et d'arbres pour la fenêtre sud du Massif armoricain et pour la période de la fin du Subboréal. Le fond de carte est issu de la carte d'interpolation réalisée à partir de la sélection des études polliniques de zones humides comprises dans la fenêtre sud du Massif armoricain et d'après le semi-variogramme établi avec un lag interval de 7000 mètres .

Visuellement les trois cartes obtenues par krigeage (Fig. 233, Fig. 236 et Fig. 238) présentent finalement des résultats assez comparables. Différentes interpolations calculées à partir de plusieurs semi-variogrammes, mais dépendantes d'un nuage de points d'études assez nombreuses à l'intérieur d'un même espace, donnent donc globalement des résultats semblables. En revanche, les valeurs extrapolées (c'est à dire à l'extérieur du maillage des études polliniques) sont alors davantage affectées par le choix du semi-variogramme. En effet, les courbes régressives des semi-variogrammes des Fig. 228 (lag interval = 15000 mètres et courbe de régression exponentielle) et Fig. 235 (courbe de régression linéaire, lag interval = 1000 mètres) montrent une évolution conjointe entre la variance des indices de pollens d'arbres et les intervalles des couples de points sur une distance d'environ 45 kilomètres (portée). C'est à dire que l'interpolation des valeurs des pixels compris dans un rayon de 45 kilomètres d'une (des) étude(s) pollinique(s), est pondérée de manière préférentielle par la (les) valeur(s) de cette (ces) étude(s) pollinique(s). Au delà de ces 45 kilomètres (ou portée des deux variogrammes) les valeurs interpolées ne sont plus pondérées, ce sont alors de simples moyennes des douze études les plus proches (Fig. 233 et Fig. 236) (cf. aussi les méthodes d'interpolation en annexe).

Pour l'extrapolation issue du semi-variogramme de la Fig. 237 (lag interval = 7000 mètres), la courbe de régression montre une relation entre la distance des couples de points et la variance s'étendant sur plus de 100 kilomètres. Pour chaque pixel krigé, la « pondération positive » des valeurs de taux de pollens d'arbres s'exerce alors sur plus de 100 kilomètres (Fig. 238).

En définitive, les trois cartes d'interpolation montrent toutes les mêmes tendances de flux polliniques d'arbres à l'intérieur du « nuage » d'études polliniques (le bassin de la Loire notamment). En revanche, les résultats diffèrent sensiblement pour les valeurs « interpolées » situées à la périphérie des études polliniques. Cette différence est essentiellement liée à la forme de la courbe d'interpolation découlant elle-même du « lag interval » choisi pour calculer les semi-variances.

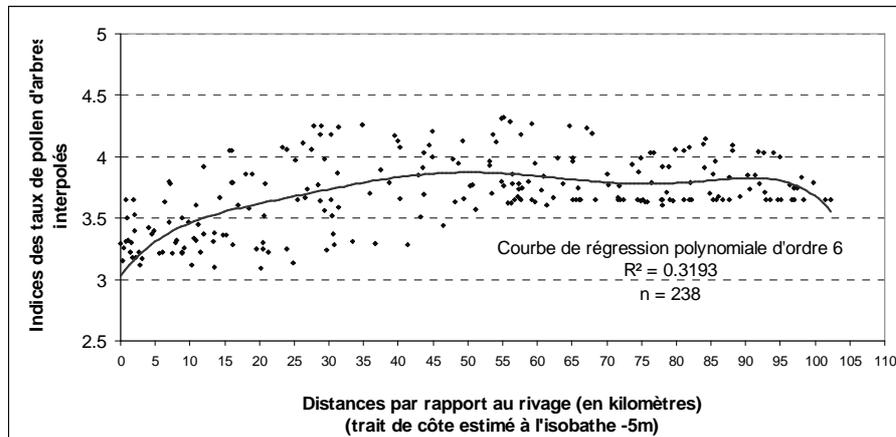


Fig. 239 Indices des taux de pollens d'arbres interpolés en fonction de la distance au rivage pour la fenêtre « sud » et d'après l'interpolation illustrée par Fig. 236 ci-dessus (lag interval = 1000 mètres, courbe de régression de type linéaire).

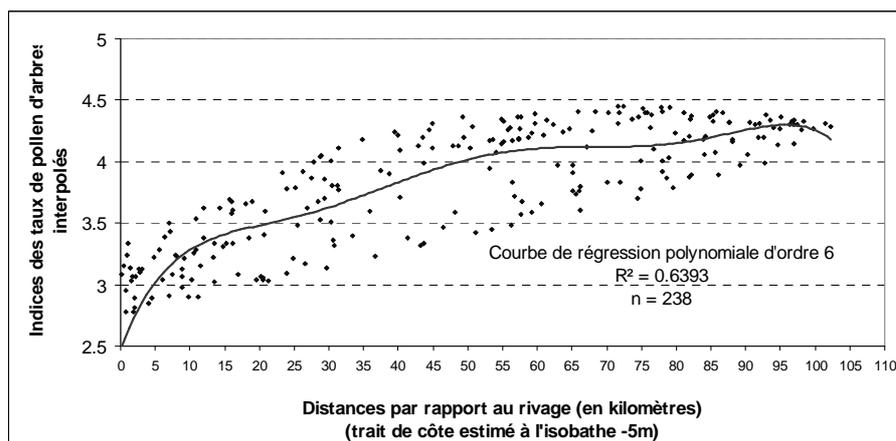


Fig. 240 Indices des taux de pollens d'arbres interpolés en fonction de la distance au rivage pour la fenêtre « sud » et d'après l'interpolation illustrée par la Fig. 238 ci-dessus (lag interval = 7000 mètres, courbe de régression de type linéaire).

Parmi les graphiques mettant en relation la distance au rivage et les taux de pollens d'arbres interpolés, le coefficient de détermination (R^2) est meilleur dans le dernier graphique (Fig. 240 avec un lag interval = 7000 mètres).

En ce qui concerne les deux premières cartes (Fig. 233 et Fig. 236), la mise en relation des valeurs des taux de pollens d'arbres interpolés avec la distance par rapport au rivage montre des coefficients de détermination qui sont relativement faibles ($R^2 = 0,32$ pour les deux cartes).

Or, pour le semi-variogramme de la dernière interpolation (lag interval = 7000 mètres Fig. 237), la courbe de régression montre une relation entre la distance des couples de points et la variance s'étendant sur plus de 100 kilomètres. L'extrapolation obtenue s'étend donc davantage que pour les deux premiers krigeages (le relation entre la variance et la distance s'estompait alors après 45 kilomètres). La tendance spatiale de la distribution des indices des taux de pollens d'arbres interpolés s'étend alors sur une échelle spatiale d'ordre régional (Fig. 238).

Au regard des graphiques (Fig. 239) et (Fig. 240) l'effet de la proximité de la mer paraît s'estomper tout d'abord assez rapidement après les 10 premiers kilomètres. A partir de

cette distance, si l'on se réfère à la première interpolation (Fig. 239), les indices des taux de pollens d'arbres interpolés vont continuer à augmenter légèrement pour stagner à l'indice 3,7 au bout d'une quarantaine de kilomètres. Ce résultat est proche de celui obtenu par l'interpolation réalisée avec l'ensemble des études polliniques du Massif armoricain (Fig. 234).

Le second graphique (Fig. 240) montre en revanche une augmentation régulière des indices interpolés entre 10 et 50 kilomètres du rivage. A partir d'environ 50 kilomètres, les indices des taux de pollens d'arbres interpolés augmentent alors plus légèrement.

Au regard des indices des flux polliniques d'arbres interpolés, l'effet de la mer sur les flux polliniques d'arbres paraît donc disparaître dans cette région à partir de 40 à 50 kilomètres.

- Principaux groupements « régionaux »

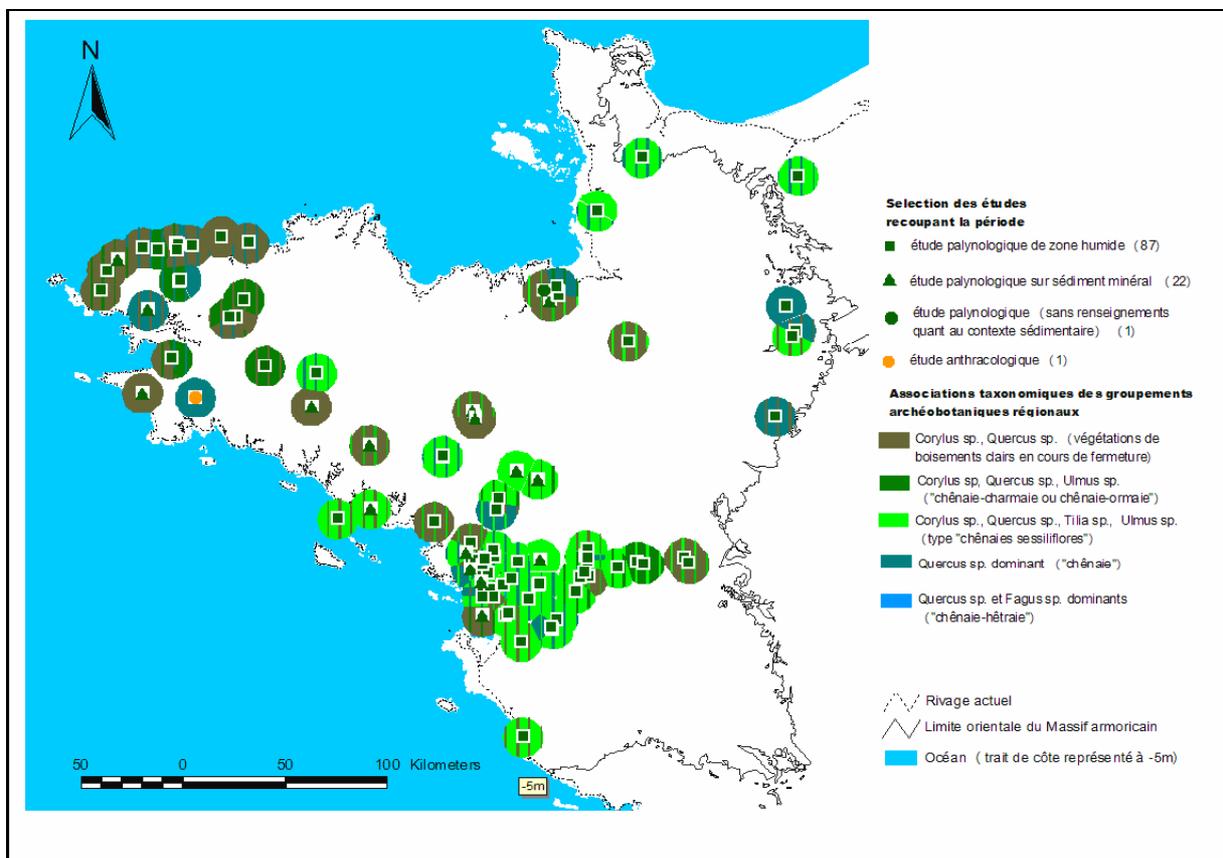


Fig. 241 Distribution géographique des deux principaux groupements archéobotaniques issus de l'apport pollinique « régional », identifiés dans chaque étude et représentés sous la forme de disques de 10 kilomètres de rayon pour la seconde moitié du Subboréal.

A la fin du Subboréal, ce sont les occurrences des groupements « régionaux » de « *Corylus, Quercus, Tilia, Ulmus* », de « *Corylus, Quercus* » et de « *Quercus dominant* » qui sont les plus fréquemment identifiées dans l'ensemble des études archéobotaniques. Les occurrences de ces trois groupements sont enregistrées dans plus d'une étude sur deux (Fig. 104).

C'est le groupement à « *Quercus dominant* » qui connaît la plus forte progression puisque ce groupement est désormais identifié dans 50% des études alors qu'il était enregistré dans seulement 30% des études au début du Subboréal.

En ce qui concerne la répartition spatiale de ces groupements, l'association à « *Corylus, Quercus, Tilia, Ulmus* » est toujours plutôt localisée sur les pourtours de la Loire (et ce jusque dans la Loire Moyenne (Carcaud *et al.*, 2002)) ainsi que dans la partie septentrionale de la Normandie. Les associations à « *Corylus, Quercus* » et à « *Quercus* dominant » apparaissent concentrées sur la péninsule bretonne. L'analyse de co-inertie ci-dessous permet d'expliquer davantage cette répartition.

- Explication de la répartition régionale des groupements polliniques « régionaux » par les paramètres abiotiques : analyse de co-inertie

1. Analyse Factorielle des Correspondances des groupements polliniques « régionaux » de la seconde moitié du Subboréal

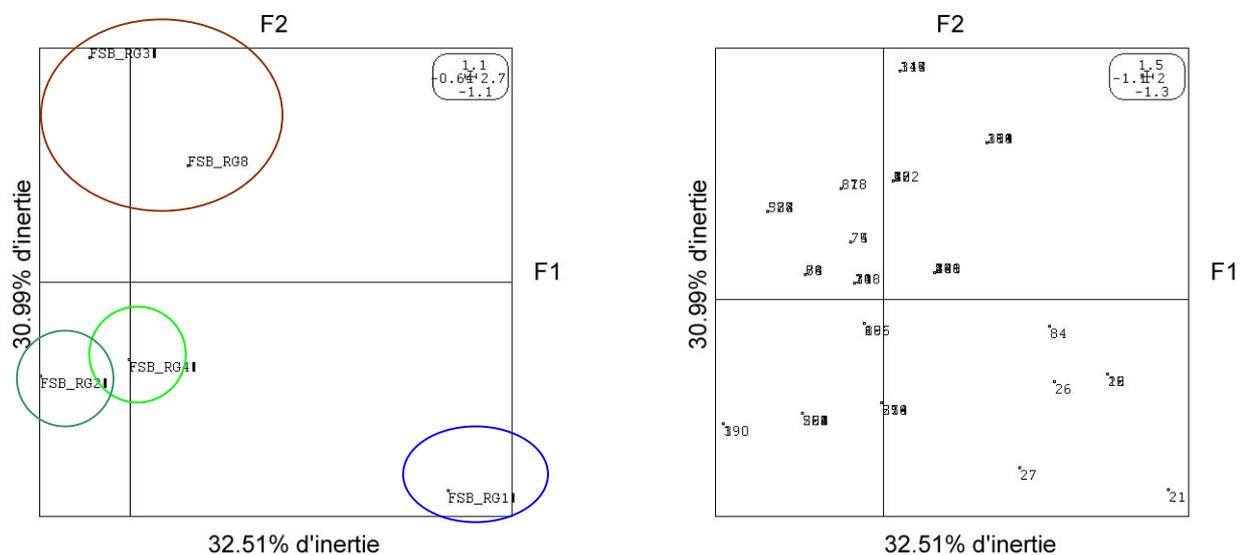


Fig. 242 AFC des groupements archéobotaniques régionaux de la seconde moitié du Subboréal (rg1 : « *Quercus, Fagus* » ; rg2 : « *Quercus* dominant » ; rg3 : « *Corylus, Quercus, Ulmus* » ; rg4 : « *Corylus, Quercus, Ulmus, Tilia* » et rg8 : « *Corylus, Quercus* »). Le plan factoriel de droite représente la position des études dans le plan factoriel 1-2.

L'axe F1 (32.51% de l'inertie totale) permet surtout de séparer les études présentant le groupement Rg1 (« *Quercus, Fagus* ») des quatre autres groupements. Autrement dit, les études ayant enregistré le groupement n°1 n'ont généralement pas enregistré en même temps les autres groupements. En revanche, les autres sondages polliniques ont souvent enregistré plusieurs des groupements n°2, 4, 8 et 3 à la fois.

L'axe F2 qui représente aussi une part importante de l'inertie totale (31%) permet de dissocier les groupements n°8 et n°3 (donc souvent associés dans les enregistrements), vis-à-vis des groupements n°2 et 4.

2. Analyse des Composantes Principales des paramètres abiotiques correspondant aux études polliniques de zones humides recoupant la seconde moitié du Subboréal

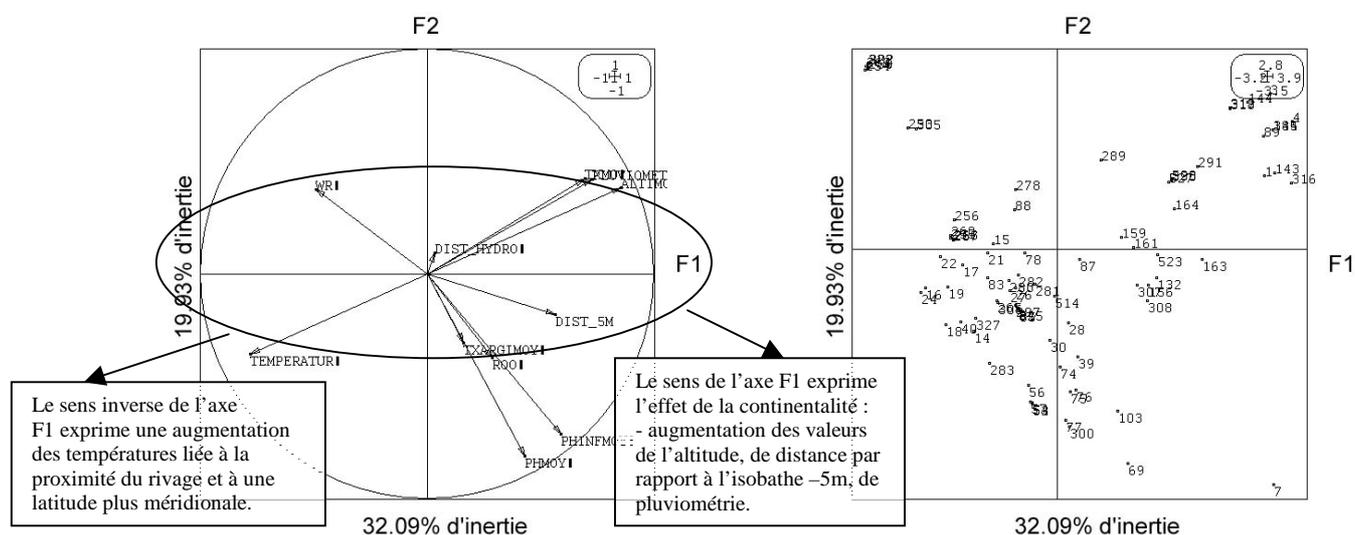


Fig. 243 ACP des paramètres abiotiques des études polliniques de zones humides recoupant la fin du Subboréal. Un certain nombre d'études a été retiré de cette analyse à cause de l'absence de données concernant un ou plusieurs facteurs environnementaux. Les paramètres pris en compte sont les suivants : « Température » : température moyenne annuelle actuelle au point d'étude ; « Wr » : régime hydrique ou durée des sols engorgés ; « Txargimoy » : taux d'argile moyen pour le canton ; « Phmoy » : Ph moyen des sols pour le canton ; « Phinf » : Ph inférieur des sols par canton ; « Dist_20 » : distance du point d'étude par rapport à l'isobathe des -20 m ; « Dist_hydr » : Distance de chaque point de sondage par rapport au réseau hydrique principal ; « Altimoy » : altitude moyenne des environs du point de sondage ; « Pluviométr » : pluviométrie annuelle moyenne actuelle au point d'étude ; « Txmo » : Taux de matière organique moyen par canton.

L'axe F1 (32.09% de l'inertie totale) est surtout expliqué par l'effet de la continentalité et par la latitude. On retrouve du côté droit les valeurs d'altitudes, de distances par rapport à l'isobathe -5m et des précipitations, alors que les valeurs de températures augmentent dans le sens inverse de l'axe F1 (vers la gauche). Cette augmentation des températures s'explique par la proximité du rivage et par la latitude plus méridionale des études. (ex. études n°18, 19, 256, 24). Notons que ces dernières études sont plutôt situées dans des stations souvent inondées (cf. valeurs du régime hydrique « Wr »), effet entraîné par les nombreuses études réalisées dans le bassin de la Loire et en Brière.

3. Analyse de co-inertie à partir de l'AFC des groupements régionaux et de l'ACP des paramètres abiotiques des études recoupant la seconde moitié du Subboréal

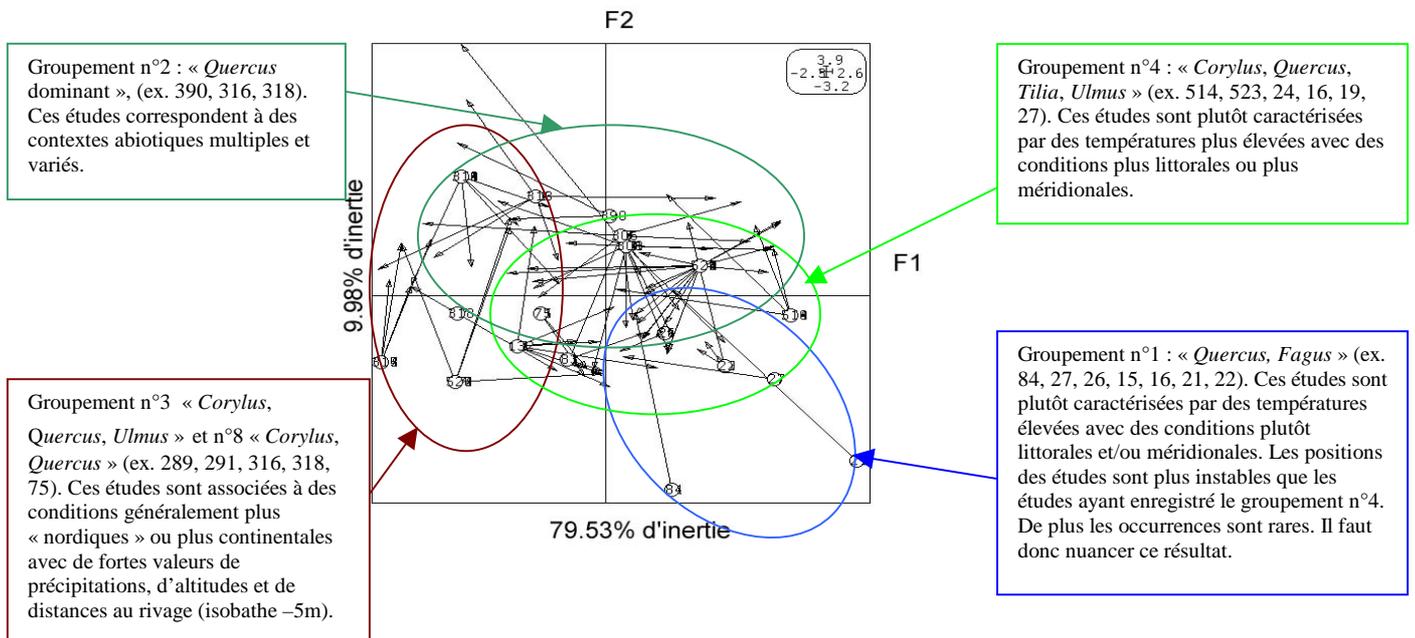


Fig. 244 Analyse de co-inertie à partir de l'AFC des groupements régionaux et de l'ACP des paramètres abiotiques des études recoupant la seconde moitié du Subboréal. Les études sont signalées par leur numéro d'enregistrement. Un test de Monte Carlo (1000 permutations aléatoires réalisées sur les valeurs des deux tables) a montré que la relation obtenue par l'analyse de co-inertie n'est pas due au hasard à 100%. Il existe donc une bonne liaison entre les deux tableaux.

L'axe F1 de l'analyse de co-inertie montre tout comme l'axe principale de l'ACP un gradient d'études répondant à l'effet de la continentalité et de la latitude. En effet, on trouve sur le côté gauche de l'axe F1, des études plutôt continentales, (ex. études 316, 314, 527) avec de fortes valeurs de précipitations, d'altitudes, et de distances par rapport au rivage (Fig. 243 concernant l'ACP). Dans le sens de l'axe F1 de l'analyse de co-inertie (vers la droite du plan factoriel), on trouve plutôt des études littorales ou situées sur la moitié sud du Massif avec notamment des températures globalement plus élevées (ex. études 21, 27, 523).

Au regard de ce constat, il est alors possible de rapprocher les groupements n°4 et n°1 de conditions de températures plus élevées (liées à des contextes littoraux ou des latitudes plus méridionales) vis-à-vis des groupements 3 et 8 plus continentaux (avec des conditions de précipitations, de distances au rivage et d'altitudes plus élevées) (cf. plan factoriel de l'analyse de co-inertie).

Notons néanmoins qu'un certain nombre d'études littorales de la côte du Trégor et du Léon a été enlevé de l'étude à cause du manque d'informations relatives aux paramètres abiotiques. Hors celles-ci présentent de nombreux enregistrement du groupement n°8 (cf. carte groupement régionaux). Il peut donc apparaître une incohérence entre l'interprétation de l'analyse de co-inertie et la carte de la Fig. 241. Cependant la correspondance entre l'enregistrement du groupement n°8, les valeurs de précipitations élevées ainsi que les latitudes plutôt nordiques des études restent cohérentes.

Les positions plutôt centrales des études ayant enregistré le groupement n°2 dans le plan de co-inertie, traduisent des contextes abiotiques variés. Autrement dit, le groupement n°2 ne répond à aucun contexte abiotique précis.

B.4.7 La période du Subatlantique (3600 – 0 BP)

B.4.7.1 Le début du Subatlantique (3600 – 1800 BP)

- Inventaire

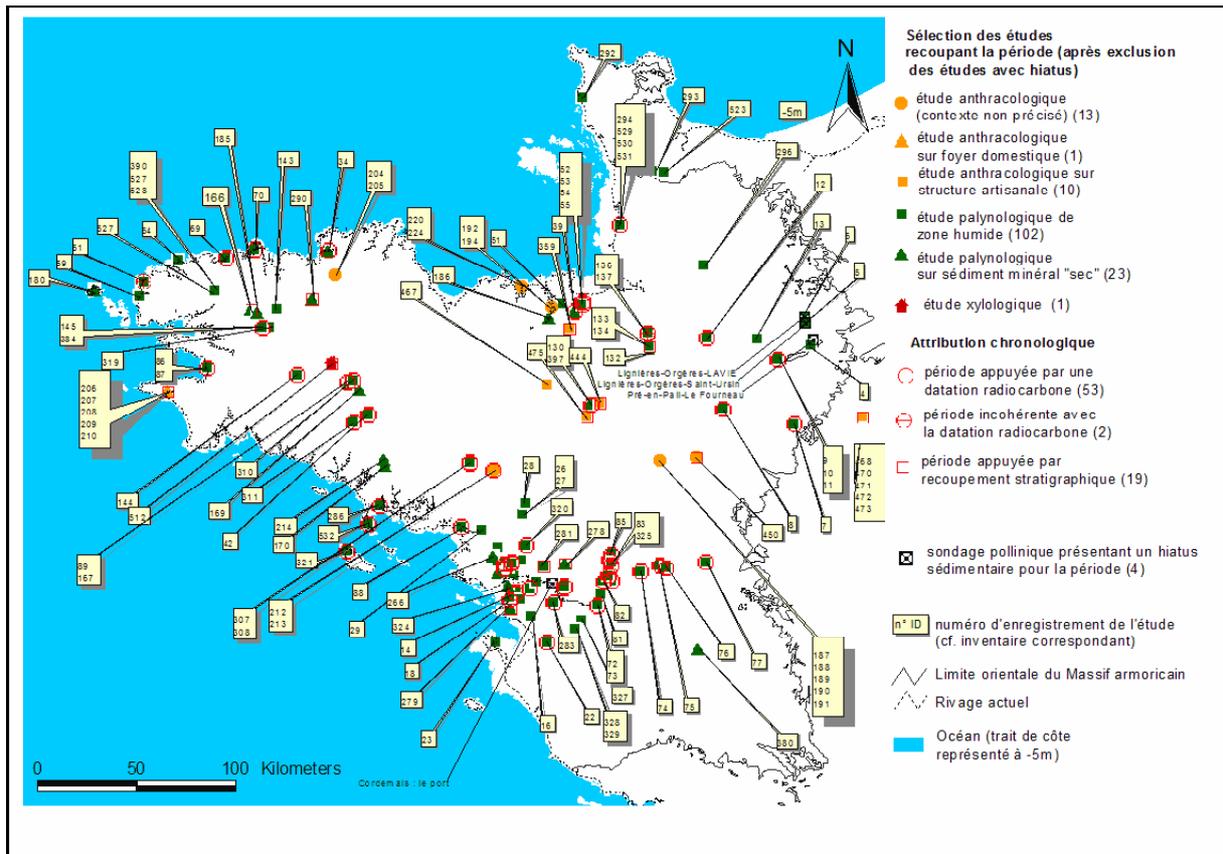


Fig. 245 Carte de répartition des études recoupant la première moitié du Subatlantique.

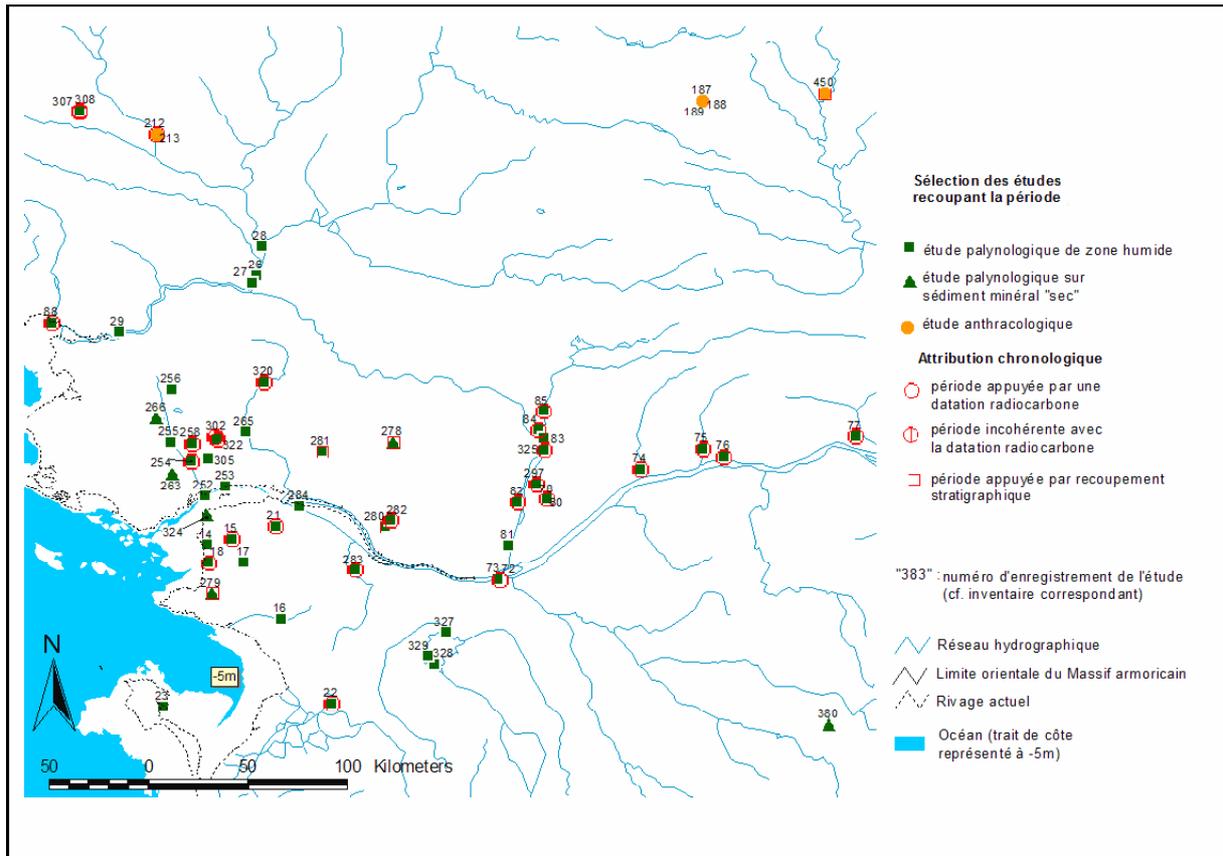


Fig. 246 Carte de répartition des études regroupées autour des marais de Brière et de la vallée de la Loire pour la première moitié du Subatlantique.

Le paysage végétal de la première moitié du Subatlantique est renseigné par 150 études archéobotaniques. On compte 126 études polliniques dont 102 réalisées dans des zones humides. 24 études anthracologiques sont aussi répertoriées. Notons que seules les études anthracologiques ayant apporté des informations sur des groupements « forestiers » ont été inventoriées dans cette table de données à chronologie climatique.

53 datations radiocarboniques permettent par ailleurs de raccorder les résultats au début du Subatlantique.

- Taux de pollens d'arbres et de Poacées

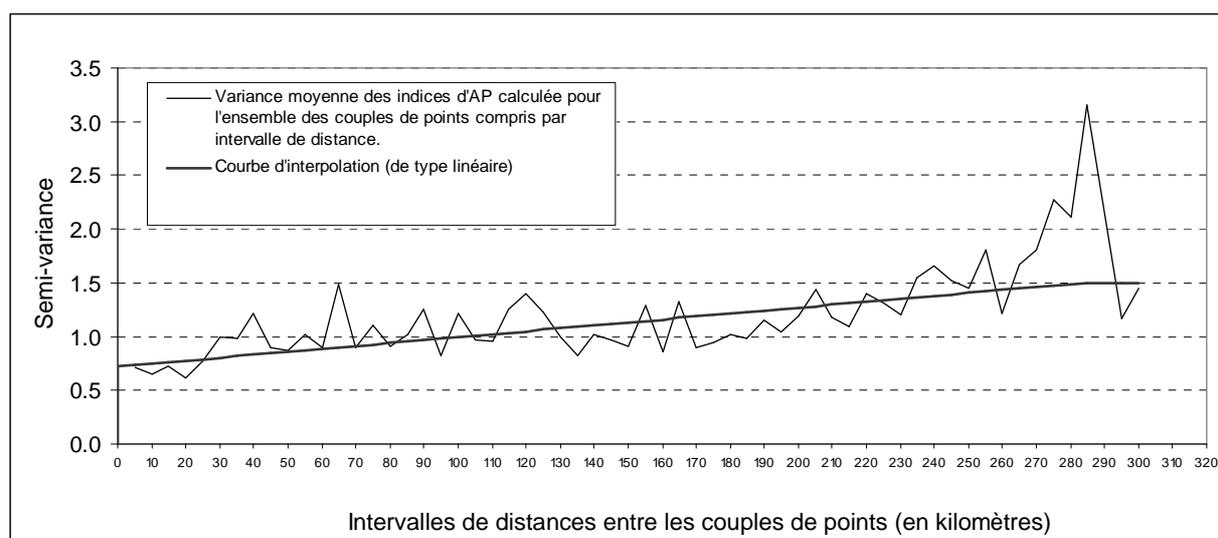


Fig. 247 Semi-variogramme et courbe d'interpolation des indices des taux de pollens d'arbres des études sélectionnées dans la fenêtre sud du Massif armoricain et recoupant la première moitié du Subatlantique (Lag interval = 5000 mètres et courbe d'interpolation de type linéaire). Ce semi-variogramme a permis la construction de la carte d'interpolation des taux de pollens d'arbres (Fig. 248). (RMS error = 0,33).

Le semi-variogramme met en évidence des variances des indices d'AP augmentant avec la distance entre les couples de points de sondages. En bref, plus des points de sondages sont proches et plus ils présentent des valeurs de taux de pollens d'arbres identiques. En revanche, plus ils sont éloignés et plus leurs valeurs de taux de pollens d'arbres sont en moyenne différentes. Cette corrélation entre les variances et les distances des couples de points existe sur près de 280 kilomètres. Le krigeage va utiliser cette relation pour calculer la valeur de chaque pixel. Le calcul va pondérer les valeurs de chaque étude pollinique utilisant la distance séparant le pixel de chaque étude pollinique. Plus une étude pollinique est proche du pixel et plus son indice de taux de pollens d'arbres est alors pris en compte (ou pondéré) dans le calcul de la valeur du pixel.

La forme de ce semi-variogramme traduit l'existence d'une tendance d'ordre régional des flux polliniques d'arbres. En effet, les flux polliniques d'arbres présentent des disparités relativement « faibles » sur des espaces restreints (les couples d'études distants d'une vingtaine de kilomètres montrent des variances de 0,7) par rapport aux variances qui sont de l'ordre de 1,5 pour les couples d'études distants de plus de 280 kilomètres.

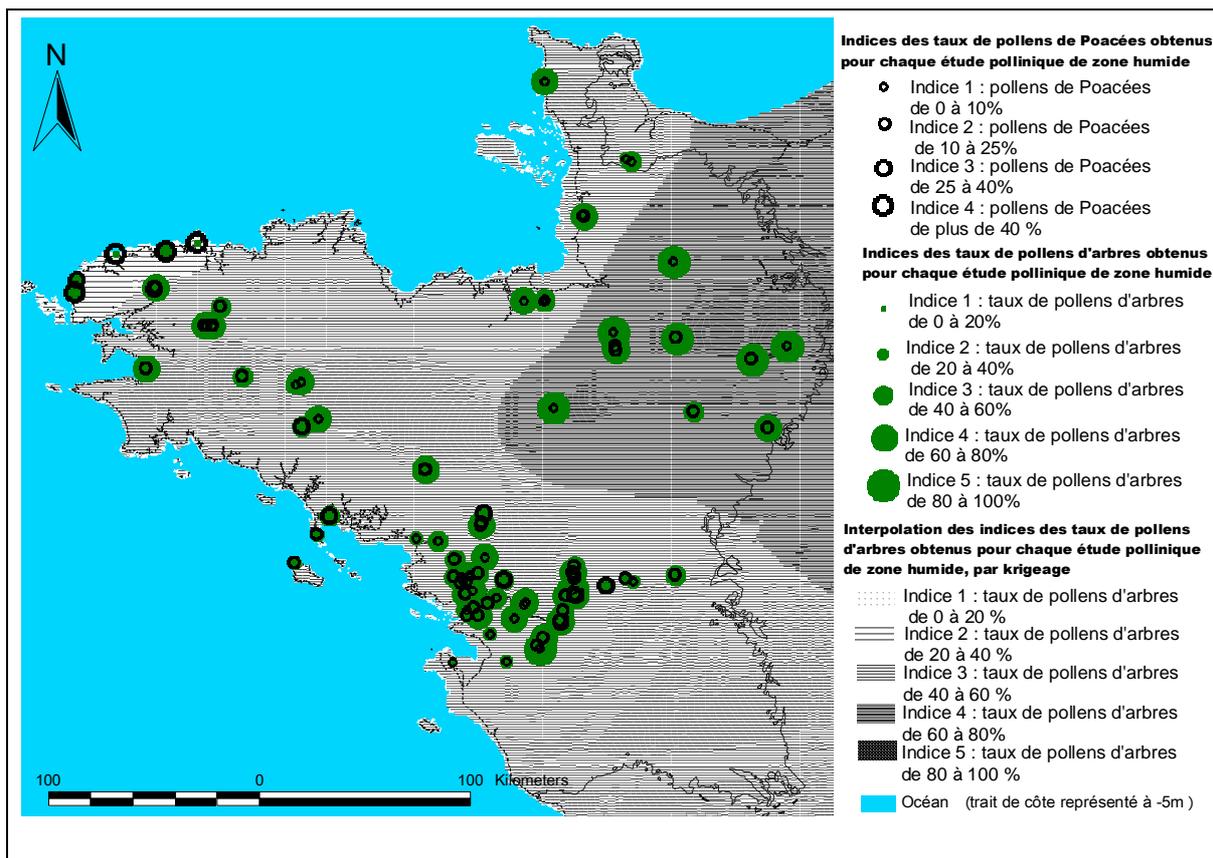


Fig. 248 Représentation et distribution géographique des taux de pollens de Poacées et d'arbres pour la première moitié du Subatlantique. Le fond de carte est issu de l'interpolation des taux de pollens d'arbres à partir des études de zones humides et après exclusion des études présentant des datations en décalage.

La carte montre des flux polliniques d'arbres interpolés encore relativement importants sur la partie orientale du Massif armoricain (indice oscillant autour de 4) alors que l'ensemble de la marge occidentale du Massif est le siège de taux inférieurs ou égaux à 3. Le début du Subatlantique montre donc une dichotomie marquée entre les flux polliniques d'arbres et donc probablement entre les structures forestières arborescentes des paysages de l'ouest et de l'est armoricain (Fig. 248).

L'effet de la continentalité est une nouvelle fois un facteur déterminant dans la répartition des indices polliniques interpolés notamment sur les 20 premiers kilomètres (Fig. 249).

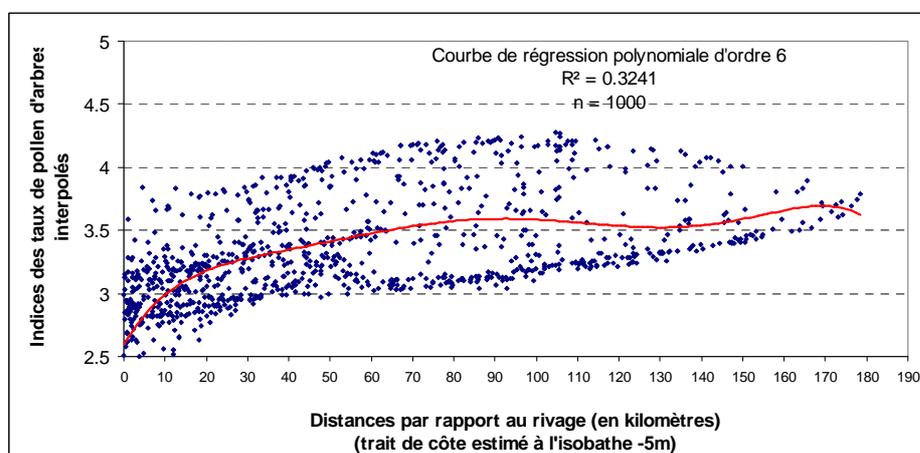


Fig. 249 Indices des taux de pollens d'arbres interpolés en fonction de la distance au rivage, d'après 1000 points répartis de manière aléatoire à la surface du Massif armoricain.

Une fenêtre située sur le bassin et l'embouchure de la Loire permet de préciser l'effet du littoral pour ce secteur (Fig. 250).

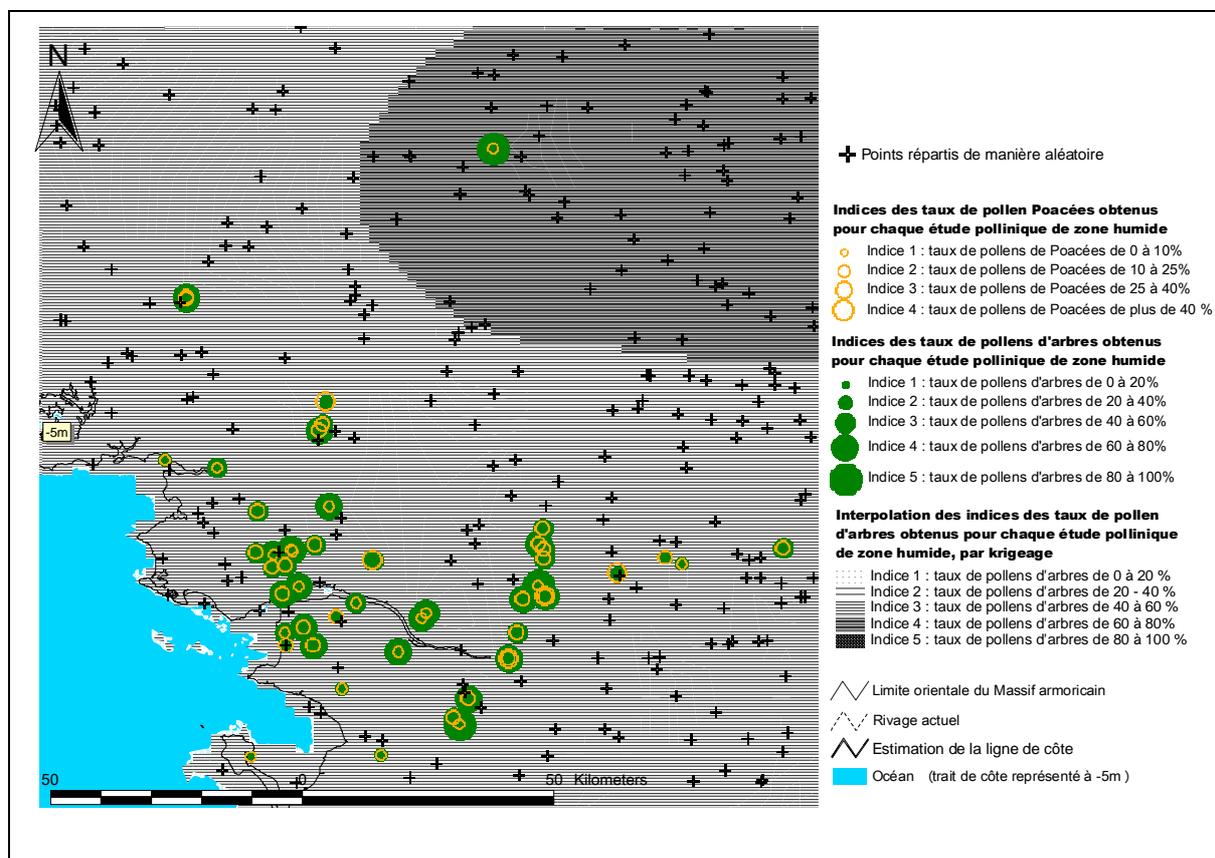


Fig. 250 Représentation et distribution géographique des taux de pollens de Poacées et d'arbres pour la région de l'embouchure de la Loire et pour la première moitié du Subatlantique. Le fond de carte est directement issu de la carte d'interpolation réalisée à partir de l'ensemble des taux de pollens d'arbres des études de zones humides et après exclusion des résultats présentant des datations en décalage chronologique (Fig. 248).

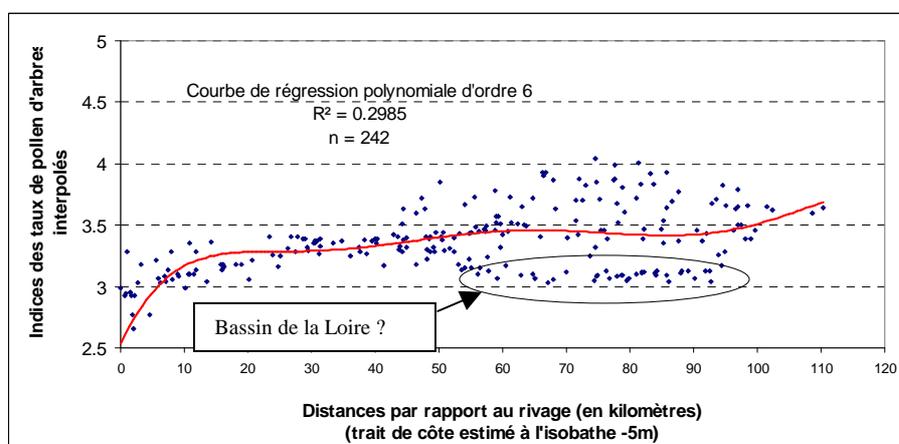


Fig. 251 Indices des taux de pollens d'arbres interpolés en fonction de la distance au rivage d'après 242 points répartis de manière aléatoire dans ce secteur.

L'effet du littoral est indéniable sur les 15 à 20 premiers kilomètres. Au-delà, les flux polliniques d'arbres tendent à augmenter légèrement. Notons une baisse de quelques valeurs

pourtant éloignées du rivage. Cet effet est très probablement lié à l'impact du réseau hydrographique de la Loire, notamment au niveau des vallées alluviales dans lesquelles ont été réalisés un certain nombre de sondages (Fig. 246).

En ce qui concerne la distribution des flux polliniques d'arbres, la rupture est nette par rapport à la période précédente. La moyenne des indices des taux de pollens d'arbre passe d'environ 3,75 à environ 3,25 (Fig. 89).

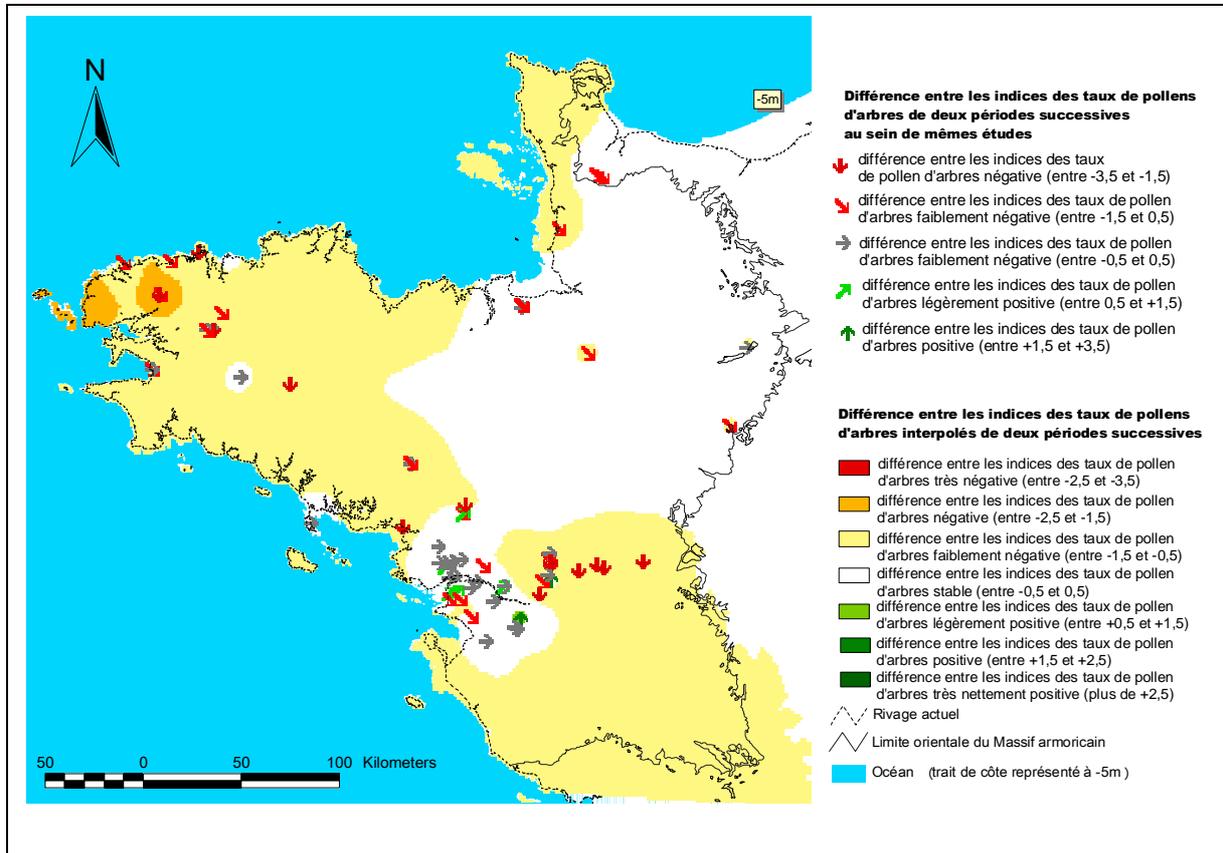


Fig. 252 Carte résultant de la différence entre la carte d'interpolation des taux de pollens d'arbres de la seconde moitié du Subboréal et la première moitié du Subatlantique.

La baisse des flux polliniques d'arbres est surtout localisée dans la partie méridionale et occidentale du Massif (Fig. 252). C'est très probablement un effet dépendant de l'impact humain qui s'applique désormais à l'ensemble du territoire (Fig. 253 et cf. aussi le détail des périodes culturelles : Age du Bronze, Age du Fer, époque gallo-romaine correspondant au début du Subatlantique).

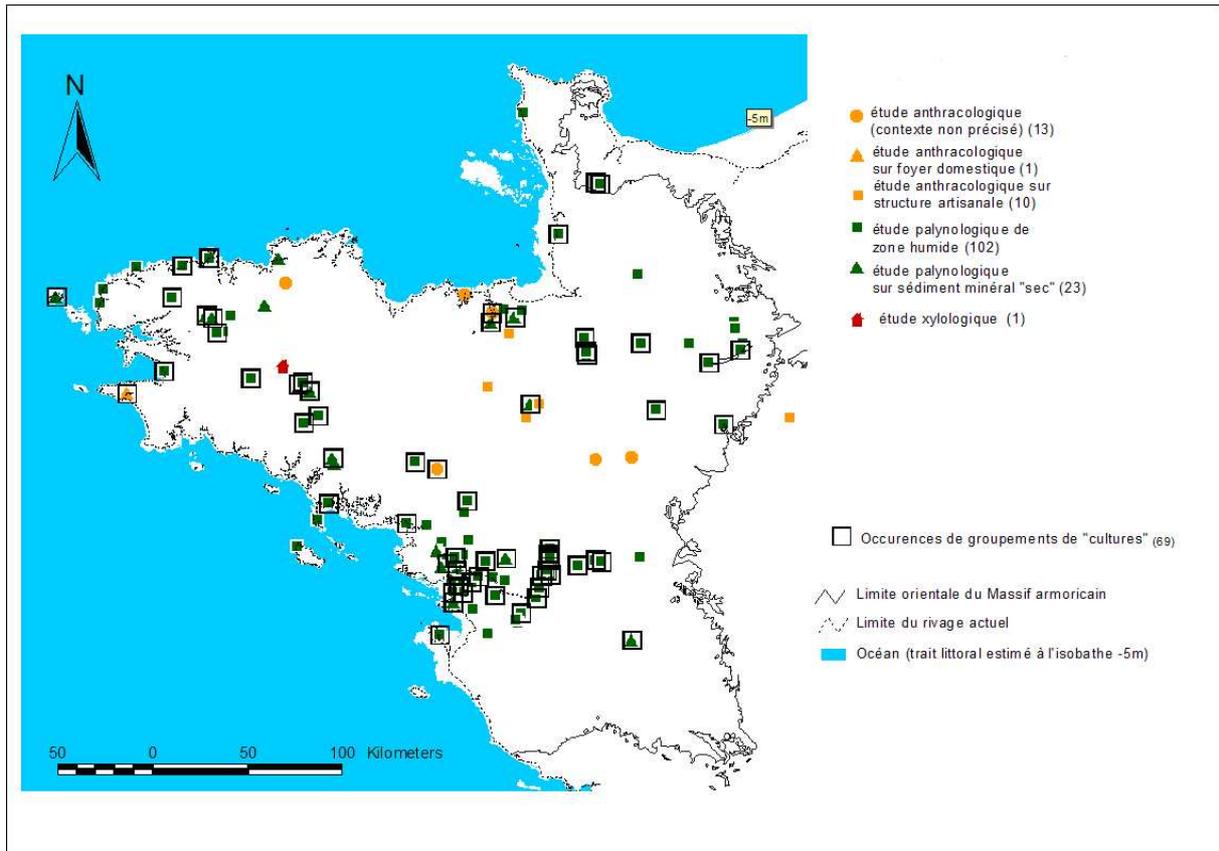


Fig. 253 Carte de répartition des études archéobotaniques de la première moitié du Subatlantique avec une sélection des études présentant des occurrences de groupements de « cultures ».

- Principaux groupements « régionaux »

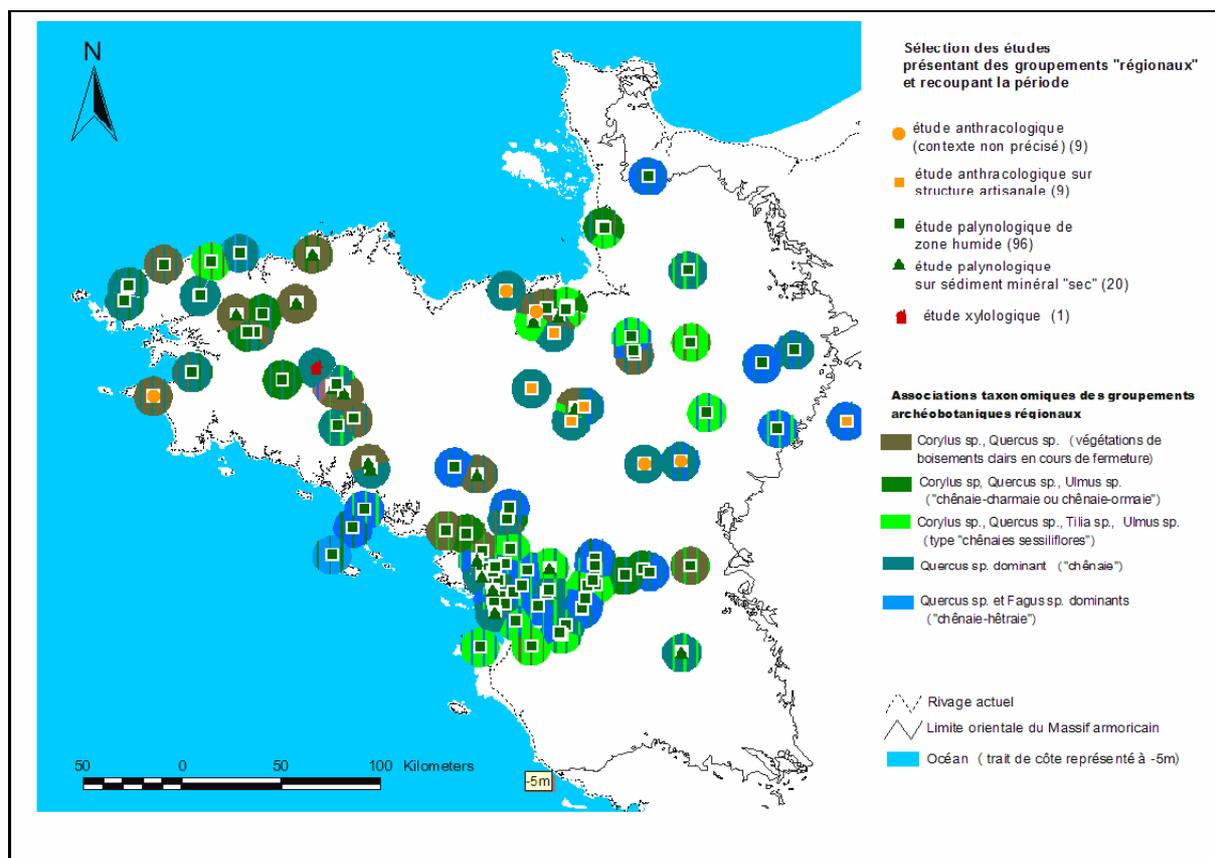


Fig. 254 Distribution géographique des deux principaux groupements archéobotaniques issus de l’apport pollinique « régional », identifiés dans chaque étude et représentés sous la forme de disques de 10 kilomètres de rayon pour la première moitié du Subatlantique.

Au début du Subatlantique, c’est le groupement à « *Quercus* dominant » qui est le plus fréquemment rencontré parmi l’ensemble des études (occurrences dans 52% des études). On trouve ensuite les groupements à « *Quercus, Fagus* », « *Corylus, Quercus, Tilia, Ulmus* » (occurrences dans 40% des études) et dans une moindre mesure les groupements à « *Corylus, Quercus* » (33% des études) et « *Corylus, Quercus, Ulmus* » (26% des études) (Fig. 104).

Incontestablement, le fait marquant de cette période est l’émergence du groupement à « *Quercus, Fagus* » au dépend des groupements à « *Corylus, Quercus, Tilia, Ulmus* » et « *Corylus, Quercus* » notamment. Le groupement à « *Quercus, Fagus* » est surtout localisé dans la moitié orientale du Massif armoricain, l’extrémité occidentale de la péninsule bretonne ne présentant pratiquement aucune occurrence de ce groupement. Il est donc probable que le hêtre se soit développé à partir de cette période depuis les marges orientales du Massif armoricain (Fig. 254).

- Explication de la répartition régionale des groupements polliniques « régionaux » par les paramètres abiotiques : analyse de co-inertie

1. Analyse Factorielle des Correspondances des groupements polliniques « régionaux » de la première moitié du Subatlantique

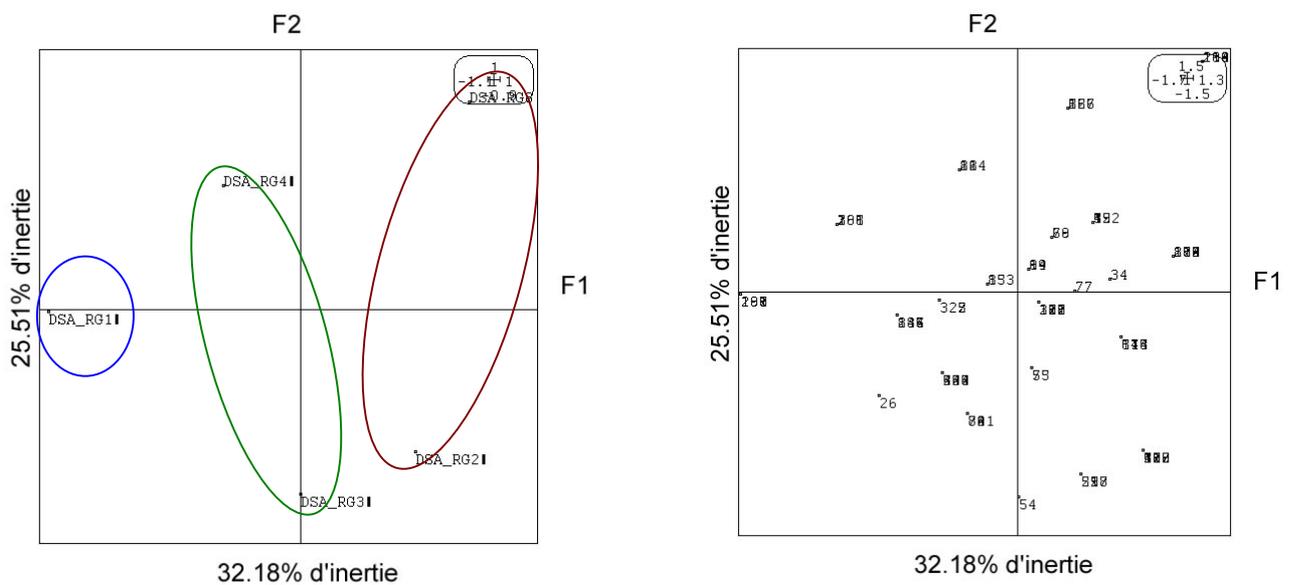


Fig. 255 AFC des groupements archéobotaniques régionaux de la première moitié du Subatlantique (rg1 : « *Quercus, Fagus* » ; rg2 : « *Quercus dominant* » ; rg3 : « *Corylus, Quercus, Ulmus* » ; rg4 : « *Corylus, Quercus, Ulmus, Tilia* » et rg8 : « *Corylus, Quercus* »). Le plan factoriel de droite représente la position des études dans le plan factoriel 1-2.

L'axe principal (32% de l'inertie totale) permet surtout de différencier le groupement à « *Quercus, Fagus* » (n°1) (entourés en bleu), des groupements 3 et 4 qui occupent une position centrale (entourés en vert) et des groupements 2 et 8 qui sont sur la partie droite de l'axe (entourés en marron). L'isolement du groupement n°1 montre que celui-ci est rarement associé (ex. les études anthracologiques 188, 189, 190, 191) ou bien de façon non préférentielle avec les autres groupements.

2. Analyse des Composantes Principales des paramètres abiotiques des études polliniques de zones humides recoupant la première moitié du Subatlantique

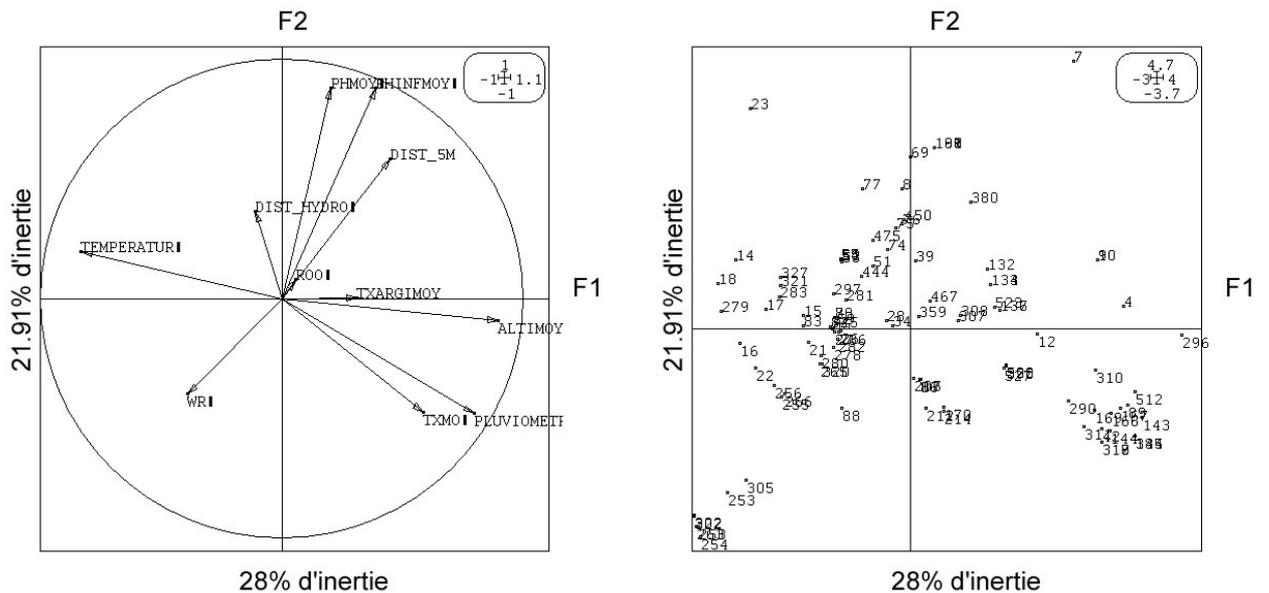


Fig. 256 ACP des paramètres abiotiques des études polliniques de zones humides recoupant le début du Subatlantique. Un certain nombre d'études a été retiré de cette analyse à cause de l'absence de données concernant un ou plusieurs facteurs environnementaux. Les paramètres pris en compte sont les suivants : « Température » : température moyenne annuelle actuelle au point d'étude ; « Wr » : régime hydrique ou durée des sols engorgés ; « Txargimoy » : taux d'argile moyen pour le canton ; « Phmoy » : Ph moyen des sols pour le canton ; « Phinf » : Ph inférieur des sols par canton ; « Dist_20 » : distance du point d'étude par rapport à l'isobathe des -20 m ; « Dist_hydr » : Distance de chaque point de sondage par rapport au réseau hydrique principal ; « Altimoy » : altitude moyenne des environs du point de sondage ; « Pluviométr » : pluviométrie annuelle moyenne actuelle au point d'étude ; « Txmo » : Taux de matière organique moyen par canton.

Une sélection de 105 études recoupant le début du Subatlantique (chacune décrite par onze paramètres abiotiques) ont principalement été triées par l'effet de la latitude et de la continentalité.

En effet, ce sont les mesures de températures annuelles (plus douces dans le sud et sur le littoral) et inversement les valeurs de distances des études par rapport au rivage, d'altitudes et de pluviométries qui expliquent une grande part du tri réalisé selon l'axe F1 (28% de l'inertie totale).

Il ressort aussi l'effet de la position latitudinale des études. En effet, les études méridionales (ex. 16, 22, 279) sont plus chaudes que les études de la moitié nord armoricaine (ex. 4, 7, 296) qui sont aussi plus souvent éloignées de la côte (Fig. 245).

3. Analyse de co-inertie à partir de l'AFC des groupements régionaux et de l'ACP des paramètres abiotiques des études polliniques recoupant la première moitié du Subatlantique

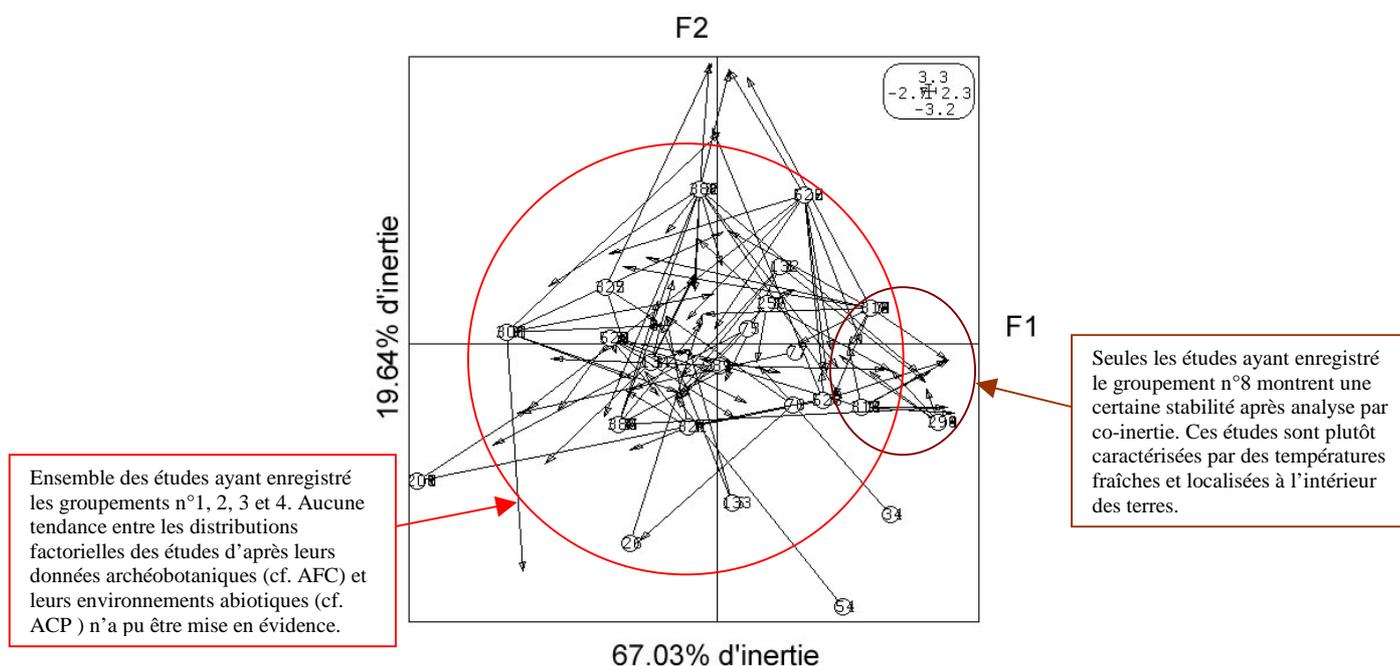


Fig. 257 Analyse de co-inertie à partir de l'AFC des groupements régionaux et de l'ACP des paramètres abiotiques des études recoupant la première moitié du Subatlantique. Les études sont signalées par leur numéro d'enregistrement. Un test de Monte Carlo (1000 permutations aléatoires réalisées sur les valeurs des deux tables) a montré que la relation obtenue par l'analyse de co-inertie n'est pas due au hasard à 78%. Il existe donc en théorie une bonne liaison entre les deux tableaux.

Le plan factoriel de l'analyse de co-inertie ne montre pas de relations entre les ensembles des groupements archéobotaniques et les paramètres environnementaux. En effet, la plupart des études sont marquées par de longues flèches coupant les axes du plan et décrivant une mauvaise adéquation entre les tris des études par les paramètres abiotiques (cf. ACP précédente) et archéobotaniques (cf. AFC précédente).

Seules les études ayant enregistré le groupement n°8 (à base de noisetiers) présente une stabilité « toute relative » (ex. 290, 294, 318, 319 entourées en marron). Ces études sont caractérisées par des températures fraîches, des précipitations élevées et par des conditions plutôt continentales et septentrionales.

En revanche, en ce qui concerne les études ayant enregistré les groupements n°1, 2, 3 et 4, il est très difficile de ressortir une tendance. La plupart des études montrent en effet de longues flèches traversant la totalité du plan de manière horizontale. L'axe principal de cette analyse de co-inertie, basé sur l'effet de la continentalité et la latitude des études (résultat issu de l'axe F1 de l'ACP), ne fournit donc pas d'explications vis-à-vis de la distribution spatiale des différents enregistrements archéobotaniques.

Ce manque de « cohérence » entre environnements abiotiques et végétations est probablement la conséquence, d'une part, de changements climatiques qui s'opèrent avec le début du Subatlantique (plus frais et plus humide) mais aussi et surtout de l'impact de l'homme qui parasite de plus en plus les contraintes naturelles.

Enfin, la distribution de la chênaie-hêtraie, actuellement souvent attribuée à des régions plutôt fraîches et humides, se trouvent, au début du Subatlantique, apparemment surtout localisée dans des régions littorales et seulement dans la partie orientale du Massif armoricain (ex. embouchure de la Loire, Fig. 245). Par ailleurs, la fréquence des occurrences de cette association est en augmentation par rapport au Subboréal (Fig. 104) et semble donc se développer dans la plupart des environnements abiotiques au dépend notamment des groupements à « *Corylus, Quercus, Tilia, Ulmus* » et « *Corylus, Quercus* ». Au cours du début du Subatlantique, le développement du hêtre depuis la marge orientale du Massif, au dépend du tilleul, concourt donc très certainement à l'impression d'incohérence obtenue entre les environnements abiotiques et les végétations forestières.

B.4.7.2 La fin du Subatlantique (1800 – 0 BP)

- Inventaire

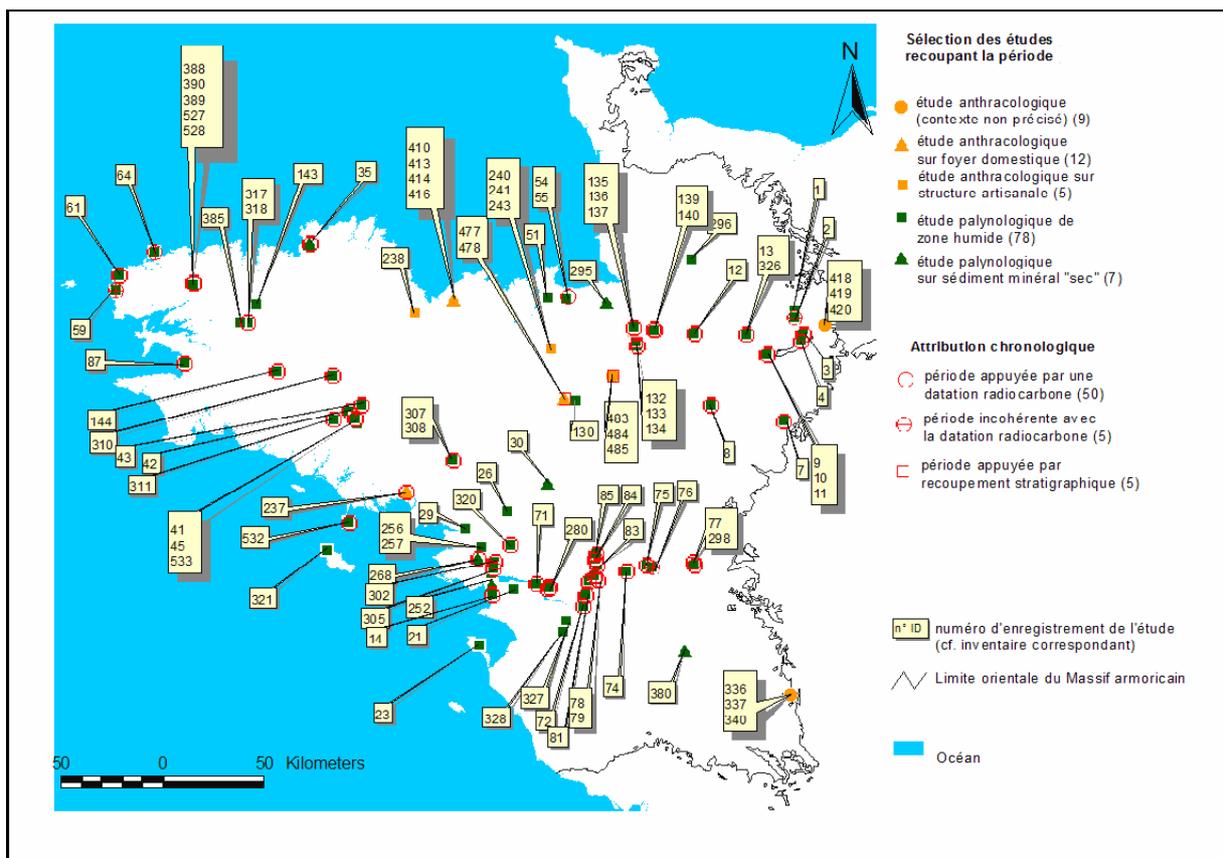


Fig. 258 Carte de répartition des études recoupant la seconde moitié du Subatlantique.

111 études archéobotaniques dont 85 études polliniques ont été enregistrées. Une diminution du nombre d'enregistrements est à noter par rapport à la période précédente. Ce constat est lié aux difficultés de datations, voire au désintérêt porté parfois pour les niveaux supérieurs des sondages (cf. § B.3.3.1.1).

26 études anthracologiques ont été inventoriées pour cette période climatique. Là encore, l'enregistrement des résultats anthracologiques est conditionné par l'identification ou non, de groupements « régionaux ».

La distribution de l'ensemble des études est en agrégats, même si les études anthracologiques tendent à compenser cette tendance (cf. § B.3.2).

- Taux de pollens d'arbres et de Poacées

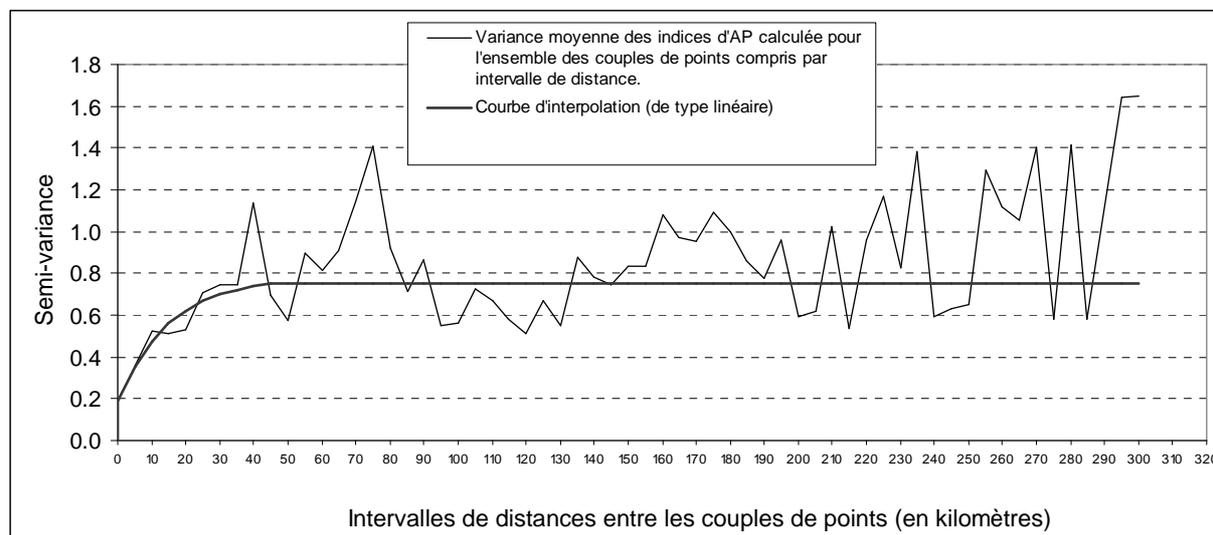


Fig. 259 Semi-variogramme et courbe d'interpolation des indices des taux de pollens d'arbres de l'ensemble des études polliniques de zone humide pour la fin du Subatlantique (Lag interval = 5000 mètres et courbe d'interpolation de type exponentiel) et ayant permis la construction de la carte d'interpolation des taux de pollens d'arbres. (RMS error = 1,01).

Contrairement à la période précédente, le semi-variogramme montre des variances entre les couples de valeurs qui augmentent rapidement avec la distance. Ainsi, à partir de 40 kilomètres de distance il n'y a apparemment plus de corrélation directe entre la variance et la distance des couples d'études. Ce résultat traduit donc une distribution de flux polliniques indépendants, lorsque les mesures des taux de pollens d'arbres sont espacées de plus de cinquante kilomètres.

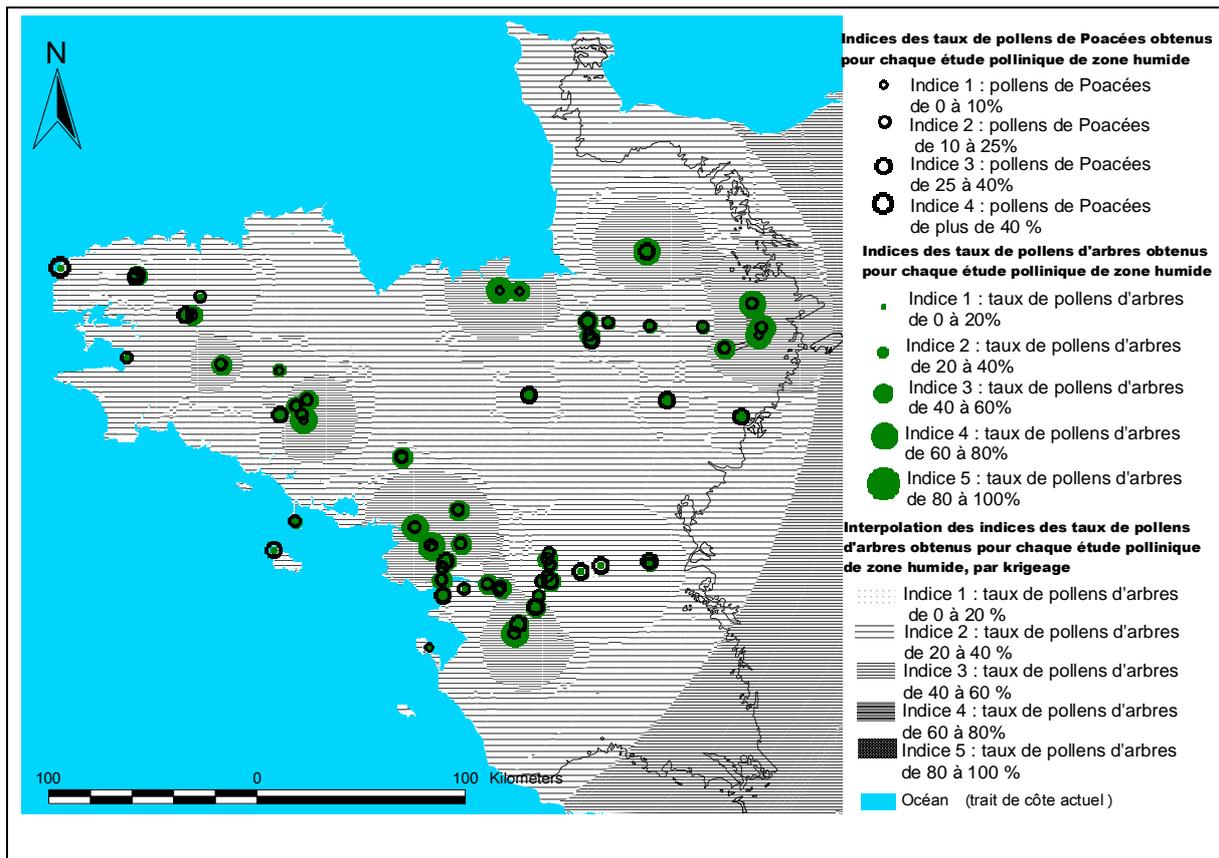


Fig. 260 Représentation et distribution géographique des taux de pollens de Poacées et d'arbres pour la seconde moitié du Subatlantique. Le fond de carte est issu de l'interpolation des taux de pollens d'arbres à partir des études de zones humides et après exclusion des études présentant des datations en décalage.

L'hétérogénéité des flux polliniques pressentie par le semi-variogramme est apparente sur la carte interpolée (Fig. 260). La moyenne des indices des taux de pollens d'arbres pour la fin du Subatlantique est de l'ordre de 2,5 (Fig. 89). Ce résultat est cohérent avec la carte d'interpolation qui montre des zones de flux polliniques d'arbres d'indice « 3 » réparties sur un fond de carte d'indice « 2 ». Ces zones de flux polliniques d'arbres un peu plus denses, apparaissent réparties de manière « aléatoire » sur l'ensemble du Massif. L'effet de la continentalité sur les flux polliniques d'arbres est lui aussi beaucoup moins palpable qu'aux périodes précédentes ($R^2 = 0.052$). L'ouverture anthropique du couvert forestier (Fig. 262) a probablement effacé en partie l'effet des contraintes littorales exercées jusqu'alors sur les flux polliniques d'arbres (Fig. 261 ci-dessous).

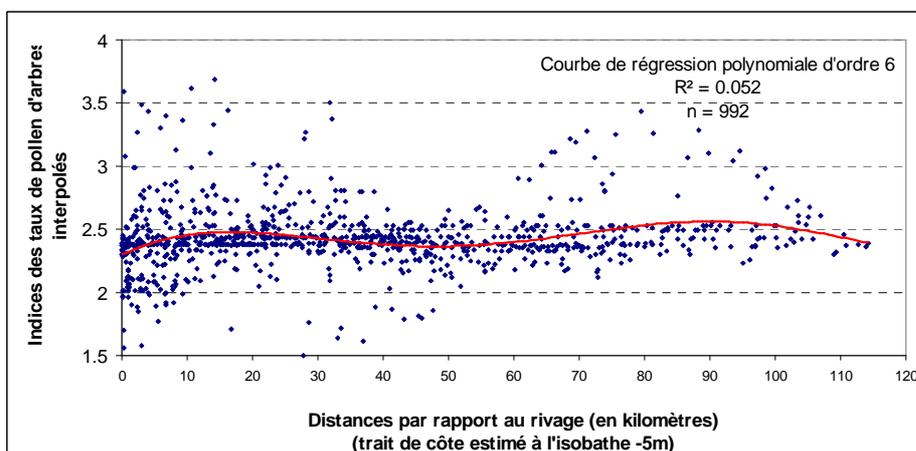


Fig. 261 Indices des taux de pollens d'arbres interpolés en fonction de la distance au rivage d'après 992 points répartis de manière aléatoire à la surface du Massif armoricain.

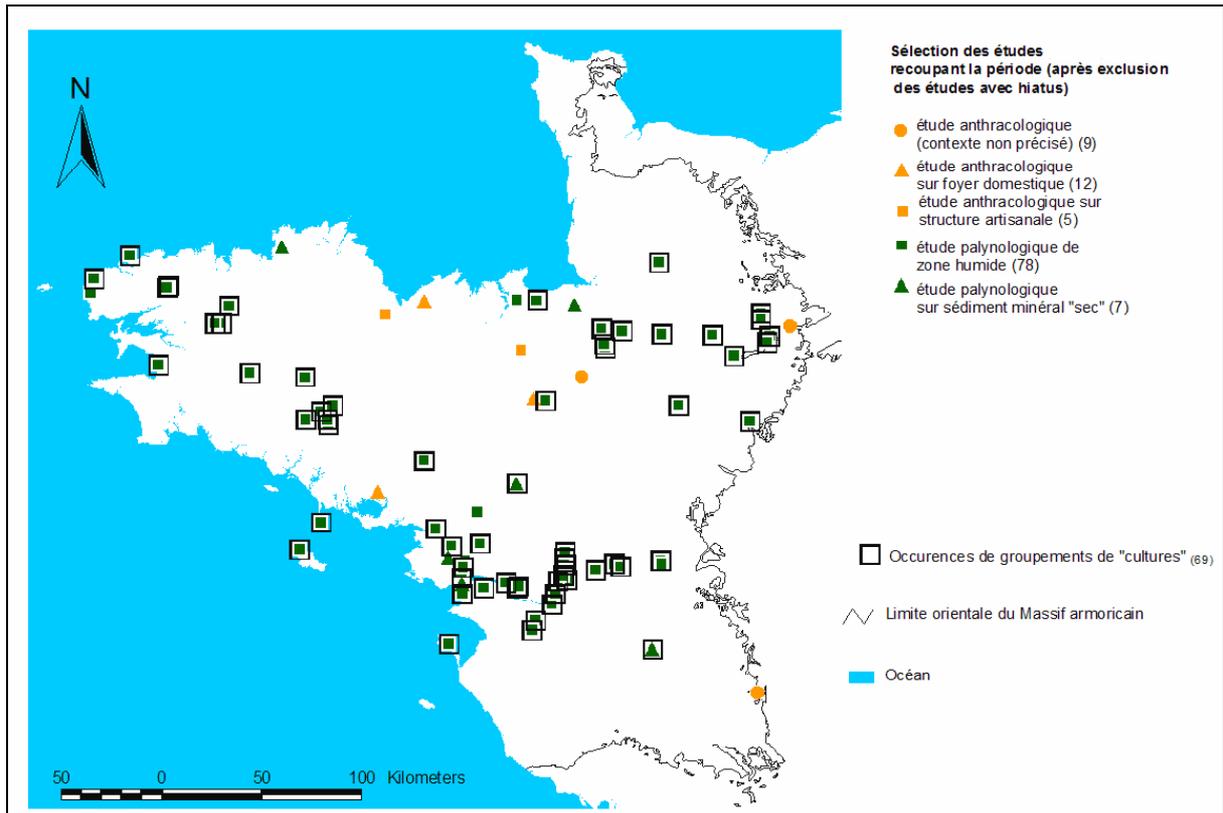


Fig. 262 Carte de répartition des études archéobotaniques de la seconde moitié du Subatlantique avec une sélection des études présentant des occurrences de groupements de « cultures ».

- Principaux groupements « régionaux »

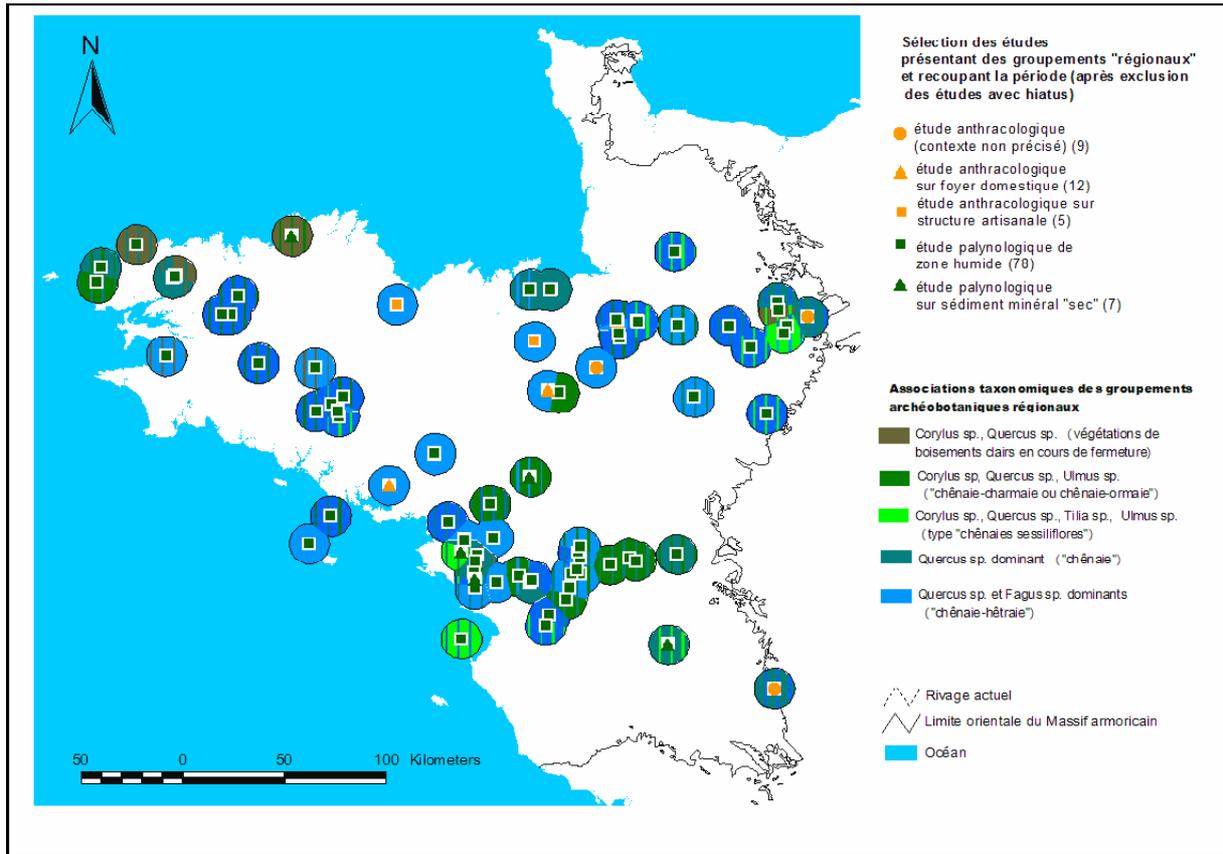


Fig. 263 Distribution géographique des deux principaux groupements archéobotaniques issus de l'apport pollinique « régional », identifiés dans chaque étude et représentés sous la forme de disques de 10 kilomètres de rayon pour la seconde moitié du Subatlantique.

La fréquence des occurrences du groupement de la « chênaie-hêtre » a continué de se développer sur le Massif armoricain (Fig. 104). Le groupement domine désormais aussi les parties les plus continentales et les plus soumises au régime des pluies (ex. région centre Bretagne et la Mayenne). C'est là un résultat attendu puisque le groupement « *Quercus* – *Fagus* » domine aussi les forêts actuelles.