

Table des matières

1	Introduction	4
I	Matériel et méthodes	7
2	La flore du Nord-Pas de Calais	7
2.1	Les données floristiques	7
2.1.1	Les traits biologiques et écologiques	8
2.1.2	Les périodes de temps	12
3	Le climat du Nord-Pas de Calais	13
4	Analyses statistiques	13
4.1	Non-metric Multidimensional Scaling (NMDS)	13
4.2	Analyse de l'évolution des traits en fonction des périodes	15
4.3	Quatrième coin	15
II	Résultats	16
4.4	Non-metric Multidimensional Scaling (NMDS)	16
4.5	Analyse de l'évolution des traits en fonction des périodes	18
4.6	Le climat du Nord-Pas de Calais	20
4.7	Quatrième coin	23
III	Discussion	26
5	Biais	26
6	Annexes	35
6.1	Annexe 1	35
6.2	Annexe 2	36
6.3	Annexe 3	37

Table des figures

1	Représentation de la chorologie de BiolFlor	10
2	Exemple de la chorologie simplifiée de Biolfor	11
3	Regroupement des classes phytosociologiques en fonction des habitats[5]	12
4	NMDS de la présence-absence des espèces non constantes en fonction des périodes	16
5	Nombres d'espèces non constantes en fonction des périodes	17
6	Evolution des habitats des espèces non constantes en fonction des périodes	18
7	Evolution de la récolte et des sciages de feuillus en france [19]	20
8	Températures moyennes mensuelles en fonction du temps dans le Nord-Pas de Calais	21
9	Anomalies de températures pour le mois de juin	22
10	Evolution des températures de surface entre 1850 et 2007, anomalies par rapport à une moyenne 1880-1920 [1]	23
11	Traits des espèces	35
12	Tableau résumant la chorologie	36
13	Grilles des données d'anomalies climatiques	37

Remerciements

Je remercie toute l'équipe du Conservatoire National Botanique de Bailleul, et en particulier Benoît Toussaint, pour l'apport des données qui ont été la base de cette étude mais aussi pour le temps qu'il m'a accordé afin de réaliser ce projet jusqu'au bout.

J'adresse aussi tout mes remerciements à mes maîtres de stage, Nina Hautekèete et Yves Piquot qui m'ont beaucoup aidé en m'apportant de nombreux articles pour enrichir ma bibliographie, des conseils pour la conduite à tenir sur les analyses et surtout pour les corrections de mon travail.

Je tiens également à remercier mes "co-stagiaires" Aurélie Réus et Valentin Pacquet avec qui les jours passent plus rapidement et le labo semble moins vide pendant les vacances !

1 Introduction

Depuis environ un siècle il a été observé que la température globale de la terre a augmenté d'environ 0,6°C et devrait rapidement s'accroître [41]. De plus cette hausse devrait conduire à des changements de climat, comme la fréquence et la distribution des précipitations et par conséquent des modifications de l'intensité et du rythme des sécheresses et des inondations [37].

De nombreuses études ont démontré que les aires de répartition des espèces végétales sont influencées par les variations et notamment la hausse des températures [50]. Walther et al. (2005)[52] grâce à des suivis effectués en 1805, 1985 et 2000 dans les Alpes Suisses, ont montré que les plantes observées suivaient le réchauffement climatique en migrant vers les sommets.

L'aire de distribution des espèces n'est qu'un des paramètres sur lequel le climat a une influence. Il a été montré que les fortes températures des 30 dernières années du 20^{ème} siècle ont modifié la date de floraison, la chute des feuilles [36], ainsi que la composition et la dynamique des communautés (arrivée massive d'espèces invasives) [50].

Le climat n'est pas le seul facteur responsable des modifications de la flore. Les autres composantes du changement globale comme la perte et la fragmentation des habitats, le changement d'usage des sols, l'intensification agricole et forestière ainsi que les espèces exotiques jouent un rôle très important. Ces multiples composantes du changement agissent souvent en synergie sur les communautés végétales, ce qui peut conduire à des conséquences très importantes [46, 16].

L'expansion agricole entraîne une irrigation et une fertilisation croissante, ce qui a pour conséquence la dégradation des forêts et des milieux semi-naturels [25], de même l'introduction d'espèces exotiques entraînent des modifications [12]. Ces modifications entraînent des perturbations à plusieurs niveaux, entre les écosystèmes, entre les communautés végétales et également entre les plantes elles-mêmes [32] ainsi qu'entre les plantes et les espèces qui assurent leur reproduction [6, 44, 34]. Ces perturbations influencent donc de manière plus ou moins négative l'abondance des plantes et leur expansion.

Les facteurs influençant les aires de distribution des espèces sont complexes et interagissent entre eux. Les réponses face à ces facteurs tels que la hausse des températures peuvent nulles

[50]. Selon les espèces, selon les facteurs considérés, selon également l'échelle spatiale, les plantes peuvent répondre positivement, négativement ou alors ne montrer aucun changement [9].

Les plantes jouent un rôle vital dans le fonctionnement des écosystèmes, dans l'apport de nourriture et d'habitats pour d'autres organismes, l'impact du changement climatique sur la flore européenne est donc un problème préoccupant. Contrairement aux animaux les plantes ne peuvent se déplacer que via le pollen, les graines ou des propagules. Ces modes de déplacement lent ne permettent pas aux plantes une réponse rapide face au changement global [24]. En effet face à un changement la migration, si elle a lieu n'est que très lente et est limitée par la fragmentation[42].

Les flux de gènes entre les plantes qui permettent leur adaptation [51] sont ralentis car la reproduction des plantes est dépendante de facteurs extrinsèques tels que les insectes, les animaux, les conditions atmosphériques. Ors ces facteurs sont également affectés par les changements globaux. Les conditions climatiques changent ce qui a pour conséquence de changer la phénologie des insectes pollinisateurs ce qui perturbe les processus de reproduction et donc d'adaptation [2, 34].

Du fait de nombreux facteurs entrant en jeu, les prévisions des effets des changements globaux sur la flore sont difficiles à prévoir. Il est donc essentiel de mener des études sur de longues périodes de temps pour suivre les individus, les populations ou les espèces [31].

Selon les facteurs que l'on souhaite mettre en évidence il peut être nécessaire d'avoir une période d'étude de plus de 50 à 90 ans pour voir l'effet de la fragmentation [16]. Pour ce qui est des espèces invasives, Gassò et al. (2010)[20] ont montré que leur aire de répartition maximale était atteinte entre 141 et 177 ans.

Pour pouvoir mettre en évidence des réponses éventuelles des plantes face aux changements globaux il est important d'avoir une base de données qui regroupe de nombreuses données dans le temps car les changements à court ou à moyen terme sont souvent dus à des changements d'usage du sol ou à des perturbations plutôt qu'au changement climatique. De plus les composantes du changement globales ne sont pas uniformes dans le temps par exemple en Europe, l'usage des sols a été fortement modifié au cours de la deuxième moitié de 20^{ème} siècle.

L'histoire scientifique européenne en matière de botanique nous permet de disposer de bases

de données anciennes sur de nombreuses espèces et sur plusieurs pays. Ces données nous viennent souvent d'amateurs passionnés qui ont constitué des herbiers et des listes d'espèces. Un réseau de données phénologiques a même été développé depuis le milieu du 18^{ème} siècle [24]. Ce n'est qu'aujourd'hui, avec les moyens dont nous disposons que nous pouvons exploiter ces données qui l'on très peu été.

Dans le cadre de cette étude, notre attention s'est portée sur l'évolution de la flore du Nord-Pas de Calais depuis plus de 150 ans. Nous avons pu extraire des données de présence-absence pour plus de 1600 taxons de la base de données DIGITALE 2 du Conservatoire Botanique National de Bailleul (CBNBI). Ces données couvrent une période de plus de 150 ans et proviennent de publications anciennes, d'herbiers et d'inventaires réalisés au cours du 19^{ème}, du 20^{ème} siècle et du 21^{ème} siècle.

En complément de ces données floristiques nous avons eu accès des données climatiques. D'une part des données brutes de climat de 1949 à 2009 fournies par Météo France et d'autre part des anomalies de températures de 1850 à 2009 fournies par Christophe Luczak et Grégory Beaugrand du Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences (Lille I).

En ayant en notre possession ces données nous nous sommes posé les questions suivantes :

- Les flores ont-elles changé au cours du temps ?
- Quels sont les facteurs qui influencent les changements de la flore du Nord-Pas de Calais ?

Première partie

Matériel et méthodes

Ce stage s'est déroulé au sein du laboratoire Génétique et Evolution des Populations Végétales (GEPV), situé sur le campus de l'Université Lille I, en collaboration avec le Conservatoire Botanique de Bailleul (CBNBI).

2 La flore du Nord-Pas de Calais

2.1 Les données floristiques

Les données sur lesquelles nous avons travaillé sont issues de la base de données DIGITALE 2 qui inclut l'ensemble des plantes vasculaires (Ptéridophytes et Spermatophytes) indigènes, naturalisées, spontanées, adventices de la région Nord-Pas de Calais, ainsi qu'une centaine de plantes cultivées à des fins non ornementales. La nomenclature principale de référence est celle de la "Nouvelle flore de la Belgique, du Grand-Duché du Luxembourg, du Nord de la France et des régions voisines" [28, 45]. DIGITALE 2 contient également des infra-taxons (sous-espèces, variétés, formes et cultivars) mais pour notre étude, seuls les Spermatophytes ont été conservés et seul le niveau taxonomique de l'espèce a été considéré.

DIGITALE 2 contient des données localisées à l'échelle de la commune pour les données anciennes et au GPS pour les données les plus récentes, sur la présence/absence des espèces de 1850 à 2008 (source : CBNBI).

Avec ses 330 000 références bibliographiques et 2,8 millions de données, DIGITALE 2 est un outil fondamental de la connaissance de la flore et de la végétation de cette région en termes taxonomiques, géographiques, historiques, bibliographiques et indique les différents sites où on peut croiser les espèces.

La première étape du travail a été, à partir de la liste des espèces extraite de DIGITALE 2 ne contenant aucun infra-taxon, de classer les espèces en fonction de leur temps de présence. Puis, avec l'aide de B. Toussaint (directeur du département flore du CBNBI), nous avons effectué un nouveau classement en comblant les absences liées à des défauts d'inventaire (qui sont donc des "fausses absences", aussi appelés "artefacts") par une donnée présence (0 remplacé par un 1).

Ensuite les quelques adventices (voir Annexe 2) encore présentes dans l'extraction (un tri

préalable avait été effectué par l'équipe du CBNBL) ont été écartées, ainsi que les espèces appartenant à des groupes taxonomiques complexes, tels que les *Rubus* et les *Taraxacum*. Ces espèces ont en effet été écartées pour ne pas confondre une erreur taxonomique ou un changement de nomenclature avec une absence réelle de la flore. De même, les espèces subsponsanées, citées par erreur ou dont la présence et/ou la taxonomie est douteuse ont toutes été écartées. A la fin de ces opérations sur la base de données nous avons pu garder 1369 taxons sur les 1622 initiaux.

2.1.1 Les traits biologiques et écologiques

Grâce à plusieurs ressources sur Internet, telles que : TelaBotanica ou BiolFlor [27], ainsi que sur l'ouvrage Flore Forestière Française (FFF, [38]), nous avons pu recueillir un grand nombre d'informations et de données sur le plupart de nos taxons.

TelaBotanica est un réseau de botanistes et naturalistes francophones dont le site existe depuis 2000 et sur lequel on peut trouver une flore électronique présentant les caractéristiques biologiques (durée de vie, longueur des tiges, date de floraison...) et écologiques (aire de répartition, types d'habitats...) des espèces et sous-espèces de l'ensemble des pays francophones intégrés au réseau (Afrique du Nord, Guadeloupe, Martinique et la Réunion). La base de données BiolFlor intègre 3660 espèces de plantes vasculaires (y compris des espèces invasives fréquemment observées) d'Allemagne ainsi que leurs traits écologiques et biologiques (tels que les statuts floristiques, la date de floraison, le mode de reproduction...). La Flore Forestière Française est un ouvrage décrivant 629 espèces de plaines et de collines réparties à l'échelle de la France entière, accompagnées de leurs caractéristiques écologiques et biologiques.

Sur l'ensemble des données récoltées, il a ensuite fallu faire un choix sur la base de données à exploiter (surtout compte tenu du fait que certaines informations ne concordaient pas entre TelaBotanica, BiolFlor et FFF). L'ouvrage Flore Forestière Française étant le plus ancien (1989 contre 2000-2010 pour TelaBotanica et 2003-2008 pour BiolFlor), nous l'avons rapidement exclu au profit des deux bases de données présentes sur Internet. Au final, nous avons privilégié BiolFlor, qui s'est révélé plus complet que TelaBotanica (notamment, plus précis pour ce qui est de l'aire de distribution des espèces qui est très vague sur TelaBotanica).

Toutefois, en cas d'absence de données pour la base BiolFlor, nous avons quand même exploité les données de TelaBotanica (c'est le cas pour le mode de dissémination qui n'est pas renseigné

sur BiolFlor).

Après ces recherches nous avons pu définir différentes caractéristiques pour chaque taxon : (cf. Annexes 1)

- Sept classes de **durée de vie** : annuelles, bisannuelles, vivaces, annuelles-bisannuelles, annuelles-vivaces, bisannuelles-vivaces et celles pouvant présenter les trois types de durées de vie.
- Sept types de **reproductions sexuées** : hermaphrodite, monoïque, dioïque, hermaphrodite-monoïque, hermaphrodite-dioïque, monoïque-dioïque et polygame. Les espèces andromonoïques, gynomonoïques et trimonoïques ont été classées parmi les espèces monoïques et les espèces androdioïques et gynodioïques parmi les espèces dioïques, afin de simplifier les données pour les analyses statistiques.
- Quatre classes principales de **mode de pollinisation** : autogame, entomogame, anémogame et hydrogame, ainsi que l'ensemble des combinaisons possibles entre ces classes (bien que la combinaison la plus courante soit entomogame-autogame, les autres étant plus rares).
- Les valeurs centrales pour l'indice de Landolt (1977) pour le **pH** et l'**humidité du sol**. Ces valeurs variant de 1 à 5, servent à caractériser les conditions environnementales des stations dans lesquelles vivent les espèces en question.
- Quatre classes principales pour la **phénologie de la date de floraison** : hivernale, printanière, estivale et automnale, ainsi que l'ensemble des combinaisons possibles entre elles selon la longueur de la période de floraison.

De plus, nous avons également récupéré des informations sur la **chorologie** et le **type d'habitat** de nos espèces. L'aire de distribution de nos espèces a été obtenue grâce au site BiolFlor et se divise selon l'axe nord-sud et l'axe est-ouest. Une valeur a été attribuée à chaque classe que BiolFlor proposait et une moyenne de ces valeurs a été faite pour permettre une analyse statistique plus aisée (fig. 1). Les limites nord, sud, est et ouest sont aussi renseignées pour définir l'ampleur de l'aire de répartition. Ces valeurs et leur signification sont présentées en Annexe 2.

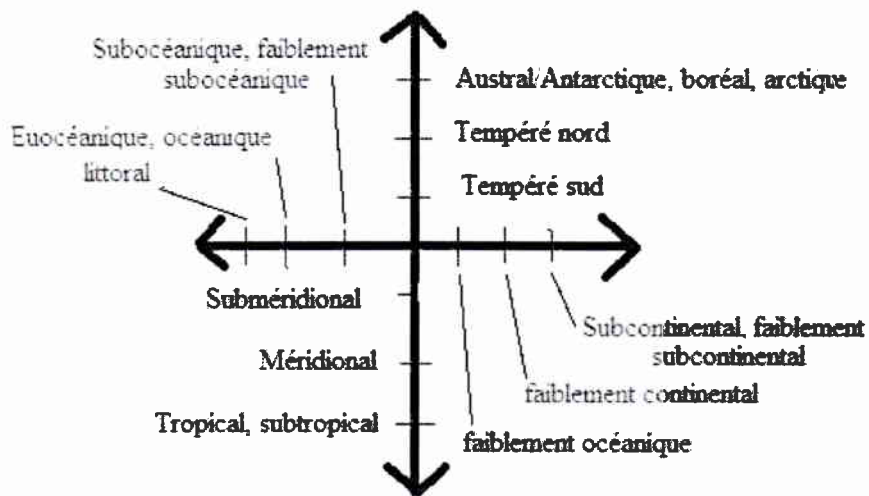


FIGURE 1 – Représentation de la chorologie de BiolFlor

Sur la figure 2 sont représenté deux exemples de chorologie simplifiée, *Trifolium patens* Schreb. et *Anemone sylvestris* L..

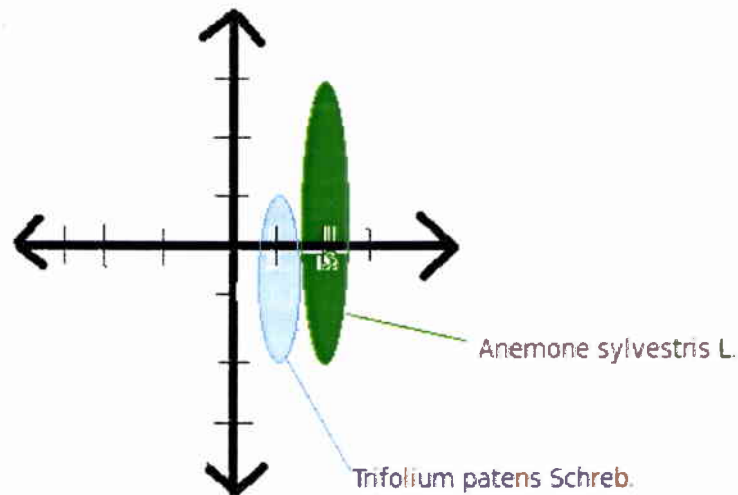


FIGURE 2 – Exemple de la chorologie simplifiée de Biolfor

En ce qui concerne le type d'habitat, nous nous sommes basés sur la **phytosociologie** de DIGITALE 2 pour les déterminer. Autrement dit, le type d'habitat de l'espèce concernée a été identifié à l'aide des communautés d'espèces dans lesquelles elle se trouve. Une espèce présente avec une communauté typique des forêts se verra donc attribué l'habitat "forêts". Au final, nous travaillerons sur 10 habitats différents : le littoral, les milieux aquatiques d'eau douce, les espèces dites "amphibies", les milieux anthropiques, les ourlets et mégaphorbiaies, les pelouses, les prairies, les landes, les fourrés, les forêts et les messicoles. La figure 3 présente les regroupements des classes phytosociologiques en fonctions des habitats [5]. Ces regroupements ont également été utilisés dans le Flore de la Flandre française [45].

Littorales	<i>Asteretea tripolii</i> , <i>Cakiletea maritima</i> , <i>Euphorbio paraliae</i> - <i>Ammophiletea australis</i> , <i>Honckenyo peploidis</i> - <i>Elymetea arenarii</i> , <i>Ruppietea maritima</i> , <i>Saginetea maritima</i> , <i>Salicomietea fruticosae</i> , <i>Spartinetea glabrae</i> , <i>Thero-Suaedetea splendentis</i> , <i>Juncetea maritimi</i>
Aquatiques d'eau douce	<i>Potametea pectinati</i> , <i>Lemnetea minoris</i> , <i>Utricularia intermedia-minoris</i>
Amphibies	<i>Bidentetea tripartitae</i> , <i>Glycerio fluitantis</i> - <i>Nasturtietea officinalis</i> , <i>Isoeto durieui</i> - <i>Juncetea bufonii</i> , <i>Littorelletea uniflorae</i> , <i>Montio fontanae</i> - <i>Cardaminetea amarae</i> , <i>Phragmiti australis</i> - <i>Magnocaricetea elatae</i> , <i>Scheuchzerio palustris</i> - <i>Caricetea fuscae</i>
Anthropiques	<i>Asplenietea trichomanis</i> , <i>Parietarietea judaicae</i> , <i>Thlaspietea rotundifolii</i> , <i>Agropyretea pungentis</i> , <i>Artemisietea vulgaris</i> , <i>Cardaminetea hirsutae</i> , <i>Epilobietea angustifolii</i> , <i>Polygono arenastri</i> - <i>Poetea annuae</i> , <i>Sisymbrietea officinalis</i> , <i>Stellarietea mediae</i> , <i>Chenopodietea</i>
Ourllets	<i>Galio aparines</i> - <i>Urticetea dioicae</i> , <i>Melampyro pratensis</i> - <i>Holcetea mollis</i> , <i>Trifolio medii</i> - <i>Geranietea sanguinei</i>
Mégaphorbiaies	<i>Filipendulo ulmariae</i> - <i>Convolvuletea sepium</i>
Pelouses	<i>Festuco valesiacea</i> - <i>Brometea erecti</i> , <i>Helianthemetea guttati</i> , <i>Koelerio glaucae</i> - <i>Corynephoretea canescentis</i> , <i>Nardetea strictae</i> , <i>Sedo albi</i> - <i>Scleranthetea biennis</i> , <i>Violetea Calaminariae</i>
Prairies	<i>Agrostietea stoloniferae</i> , <i>Airthenatheretea elatioris</i> , <i>Molinio caeruleae</i> - <i>Juncetea acutiflori</i>
Landes	<i>Calluna vulgaris</i> - <i>Ulicetea minoris</i> , <i>Oxycocco palustris</i> - <i>sphagnetea</i> , <i>Cistion ladaniferi</i> - <i>Lavanduletea stoechadis</i>
Messicoles	<i>Stellarietea media</i>

FIGURE 3 – Regroupement des classes phytosociologiques en fonction des habitats[5]

2.1.2 Les périodes de temps

Pour notre étude, sept périodes de temps ont été définies : 0-1940, 1941-1958, 1959-1968, 1969-1978, 1979-1989, 1990-1998, 1999-2009.

Les deux premières périodes de temps (0-1940 et 1941-1958) correspondent à des données dites historiques, provenant d'anciens catalogues floristiques, de vieilles flores régionales, de thèses, de revues scientifiques, de planches d'herbiers et de publications diverses [45]. Le nombre de données étant faible, soit pour des raisons d'effort d'échantillonnage moindre soit parce que les données étant publiées de manière regroupée ne permettaient pas de mesurer cet effort, il a donc été jugé préférable de les regrouper en deux périodes de temps, afin de couvrir les biais éventuels que cela pourrait entraîner sur l'analyse.

Pour les six autres périodes, la décennie nous a semblée être un bon choix compte tenu du temps qu'il faut pour réaliser un échantillonnage d'une telle envergure (5 ans n'étant pas suff-