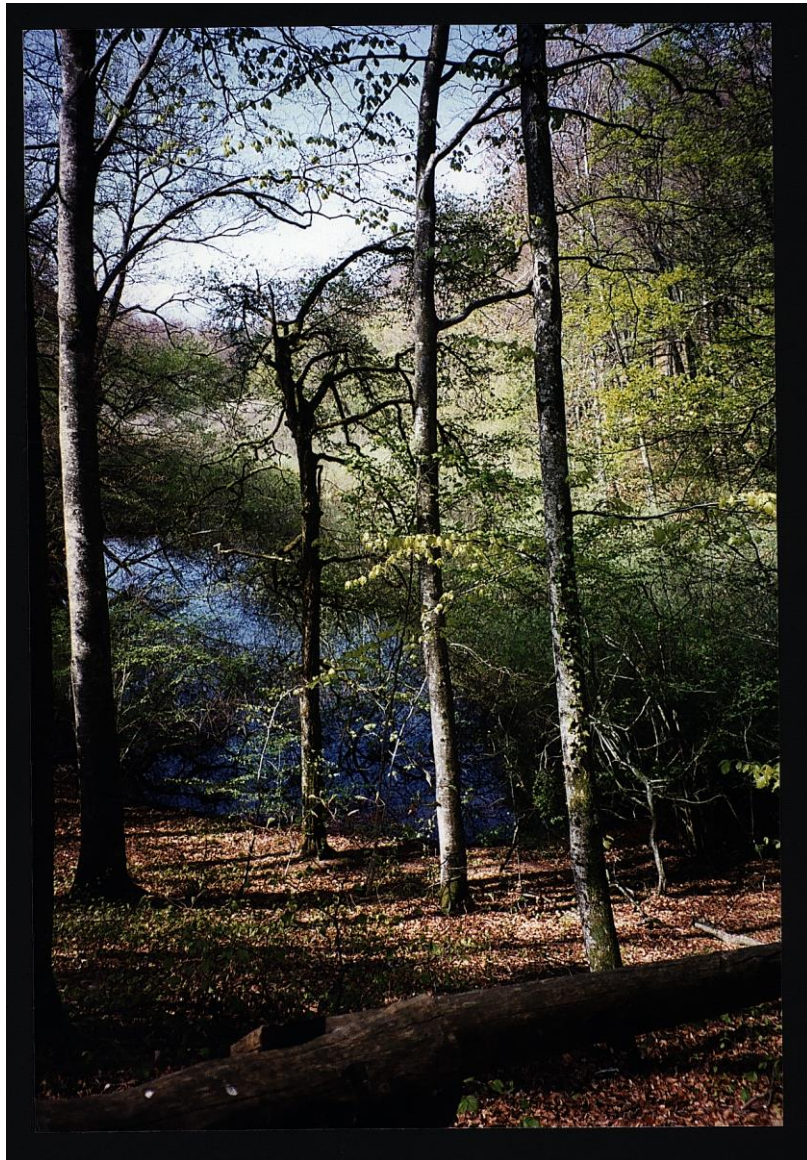


Etude diachronique de la dynamique de la végétation du Lac Vert



Travail de certificat réalisé par Johanna Beck et Cecilia Matasci
Sous la direction du Dr Pascal Vittoz
Eté 2003



Institut d'Ecologie- Botanique Systématique et Géobotanique
Université de Lausanne
1015 Lausanne- Dorigny

Table des matières

	PAGES
1) INTRODUCTION	1
1.1) Bois de Chênes, réserve intégrale	1
1.2) Dynamique de la végétation forestière : cycles sylvigénétiques	1
1.3) Atterrissement du Lac Vert et végétation lacustre	5
1.4) Suivi de la région du Lac Vert	6
1.5) But et utilité de ce suivi	6
2) MATERIEL ET METHODES	7
2.1) Lac Vert, description	7
2.2) Cartographie de la ceinture des arbres	8
2.3) Cartographie de la ceinture des saules	10
2.4) Relevés des carrés de végétation	11
2.5) Homogénéisation dans le système de coordonnées géographiques suisse	
2.6) Pourtour du lac	11
2.7) Digitalisation	11
2.8) Notes pour les études futures	12
3) RESULTATS	13
3.1) Ceinture des arbres entourant le Lac Vert	13
3.2) Evolution de l'atterrissement par l'avancée de la ceinture des saules	20
3.3) Relevé des six carrés de végétation	22
3.4) Homogénéisation dans le système de coordonnées géographiques suisse	22
4) DISCUSSIONS	23
4.1) Ceinture des arbres entourant le Lac Vert	23
4.2) Evolution de l'atterrissement par l'avancée de la ceinture des saules	25
4.3) Relevé des six carrés de végétation	26
5) CONCLUSION	29
6) BIBLIOGRAPHIE	30
7) REMERCIEMENTS	31
8) ANNEXES et TABLEAUX	

1) Introduction

1.1) Bois de Chênes, réserve intégrale

Le Bois de Chênes est situé au pied du Jura, à 6 km au Nord de Gland, dans le canton de Vaud (Suisse). Il appartient à l'étage de végétation collinéen. Il est propriété de la commune de Genolier. Les deux tiers de ce territoire (qui occupe une surface de 89 ha) sont couverts de forêt, principalement des hêtraies et chênaies. La surface restante est louée à des agriculteurs pour une exploitation traditionnelle (Haller, 1995). Le Lac Vert est situé à l'intérieur de la zone boisée, au cœur d'une hêtraie.

L'évolution de quelques hectares de pré, ainsi que le périmètre du Lac Vert, sont suivis par l'IE-BSG (Institut d'Ecologie, Botanique Systématique et Géobotanique), de l'Université de Lausanne, d'autres parcelles par l'EPFL et l'EPFZ (Ecoles Polytechniques Fédérales de Lausanne et de Zurich). De plus, une certaine partie de ce territoire, comprenant le Lac Vert, a été classée réserve intégrale et scientifique, ceci depuis 1966. Cette zone est donc interdite aux cavaliers, à la chasse et aux chiens. Depuis 1986, la réserve intégrale et scientifique du Bois de Chêne n'est plus entretenue. Il y a cependant eu des coupes de saules afin de freiner leur avancée dans le lac en 1981, 1983 et 1986; l'intervention de l'homme est limitée à assurer la sécurité des promeneurs. Par exemple, suite au passage de l'ouragan Lothar en 1999, certains arbres bordant un sentier, jugés dangereux car trop inclinés, ont dû être coupés. Cependant, le bois n'a pas été évacué (Meier Florian, communication personnelle).

M. Hainard, professeur honoraire à l'IE-BSG, fondateur de la réserve intégrale du Bois de Chênes, a décidé de laisser la région à l'abandon pour permettre des études sur le développement naturel du lac et de ses alentours (Laydu N. et Peter C., 1992).

Laissée à l'abandon, cette réserve devrait retourner à l'état de forêt primaire d'ici quelques siècles, en suivant une dynamique bien particulière.

1.2) Dynamique de la végétation forestière : cycles sylvigénétiques

Une forêt sauvage (non exploitée par l'homme) présente des cycles dits sylvigénétiques, qui caractérisent la dynamique interne des milieux forestiers.

A l'échelle d'une trouée forestière, qui peut, dans notre cas, être une trouée provoquée par la mort d'un arbre ou par la présence d'un lac, l'ensemble des semis qui se développent constitue une unité de régénération. La dynamique y est liée à la compétition interindividuelle pour la lumière et les nutriments (croissance en diamètre et en hauteur, élimination de certains individus).

La végétation forestière possède un certain nombre de caractères invariants à l'origine de sa dynamique. En voici deux: les stratégies adaptatives des végétaux, et le potentiel de semences et dissémination de ceux-ci.

Les stratégies de reproduction, de compétition, le comportement juvénile des semis vis-à-vis de la lumière jouent un rôle considérable et expliquent en grande partie les modalités de la dynamique des populations des différents végétaux, et leur participation à une phase déterminée de la succession.

Certaines espèces sont dotées d'un fort pouvoir dynamique leur assurant la dominance presque absolue dans la strate supérieure de la forêt, ceci lorsqu'elles se trouvent dans des conditions optimales pour leur développement (ex : le Hêtre).

Espèces d'ombre et de lumière

Le comportement des germinations et des régénérations (stades juvéniles) vis-à-vis de la lumière est capital pour expliquer les logiques dynamiques qui s'instaurent. Les espèces de pleine lumière s'installent directement à découvert. Les espèces d'ombre, qui supportent une ambiance tamisée pour se développer mais croissent en général plus lentement, s'installent ensuite dans les espaces laissés ouverts ou sous couvert.

Groupes d'espèces

Des espèces possédant des caractères identiques sont rassemblées dans des groupes fonctionnels :

1. Le groupe des pionniers, végétaux à courte durée de vie, héliophiles, produisant un grand nombre de graines, créant des conditions favorables à l'installation d'arbres d'autres groupes fonctionnels par l'amélioration des propriétés du sol (les Bouleaux, les Trembles, les Saules, les Aulnes) ;
2. Le groupe des post-pionniers : arbres à longévité plus élevée, plus ou moins héliophiles ; dans cet ensemble entrent les Érables, les Frênes, les Ormes, les Chênes, les Sorbiers, les Pins ;
3. Le groupe des dryades, à grande longévité ; la flore européenne ne compte que trois dryades : le Sapin, l'Épicéa, le Hêtre (alors que les forêts équatoriales en possèdent des centaines) ;
4. Le groupe des nomades : espèces opportunistes des groupes des post-pionnières (Frênes, Érables, Sorbiers, Chênes, Pins, etc.) ou des dryades (l'Épicéa seulement), capables de s'installer directement avec ou à la place des pionnières.

La dynamique des forêts sauvages

Dans une forêt naturelle (non ou très peu modifiée par l'homme et ayant donc gardé tous les caractères primitifs) ou sub-naturelle (abandonnée par l'homme depuis longtemps ou peu influencée par celui-ci), des processus entretenant la pérennité sont caractérisés par une dynamique cyclique.

Le Bois de Chênes peut être considéré comme une forêt sub-naturelle en réserve intégrale, laissée à l'abandon depuis 1966. Ces forêts naturelles ou sub-naturelles sont de plusieurs types : les forêts boréales, les forêts de montagne inaccessibles ou abandonnées, quelques rares forêts tempérées européennes en réserve intégrale, forêts tropicales ou équatoriales (forêts primaires).

Ces forêts sont le siège d'un processus fondamental : la régénération. Cependant la régénération existe souvent aussi dans des forêts exploitées. De plus en plus, les forestiers essaient d'exploiter en créant les conditions nécessaires à une régénération naturelle, sans plantation.

Toute surface boisée est soumise à deux phases qui alternent en discontinuité dans l'espace et dans le temps :

- Phase de croissance avec prédominance de phénomènes lents (croissance, maturation, vieillissement sans changements importants dans l'écosystème) ;

- Phase de rajeunissement courte qui démarre par une rupture plus ou moins brutale et étendue de la canopée, par exemple à l'occasion simplement de la mort d'un arbre, donc d'une trouée.

Une ouverture favorise la pénétration du rayonnement solaire qui contribue au rajeunissement de la forêt, à sa régénération, en favorisant la colonisation par les semis.

Selon la taille de la trouée, de l'état préexistant des espèces, le peuplement d'avenir va se reconstituer par cicatrisation avec les arbres voisins de la trouée, et par germination des semences présentes dans le sol.

Au cours de cette phase de réorganisation, l'arrivée de nouveaux occupants est sélectionnée. La voûte se cicatrisera et un nouveau cycle recommence.

Une trouée soudaine entraîne un traumatisme passager ; l'évolution du peuplement qui en est issu dépend de sa dimension. Une petite ouverture qui correspond à la mort d'un arbre ou une ouverture plus importante n'auront pas les mêmes effets. Suite à la mort d'un arbre, de jeunes arbres ou arbustes boucheront le trou ; si la trouée est plus importante, les résultats seront différents selon que la trouée survient pendant l'époque de fructification ou non. Elles provoquent de brusques changements dans les conditions écologiques, avec des différences notables selon les caractères stationnels (modification du microclimat, de l'humus, du sol lorsque les arbres sont déracinés, de la végétation herbacée).

Dans les petites trouées, la végétation herbacée forestière se maintient. Par contre, dans les grandes trouées peuvent se développer des espèces sociales (sur sols acides, ou sols hydromorphes dans le cas de l'atterrissement d'un lac) qui retardent le retour des ligneux par la concurrence exercée.

Les grandes trouées sont généralement colonisées par les espèces pionnières, tels que Bouleaux, Saules, Peupliers, Aulnes, qui montrent une croissance rapide, et restent de dimensions modestes.

De manière générale, les espèces post-pionnières succèdent aux pionnières ou les accompagnent, s'installant directement dans des trouées plus réduites. Elles renforcent l'édifice forestier grâce à leur structure imposante. Leur persistance dans le temps a un effet considérable dans la charpente forestière. Leur longévité leur garantit de meilleures chances de régénération notamment si les conditions favorables à la germination et au développement juvénile sont trop aléatoires. Typiquement, ces espèces ne présentent pas de régénération durable en sous-bois et apparaissent par vague dans les trouées. Elles participent aux phases pionnières et transitoires (Chênes, Frênes, Erables, Ormes, Pins) s'installant souvent en même temps que les pionnières, mais montrent une croissance plus lente). Cependant, suivant les conditions écologiques spécifiques du lieu étudié, ces espèces peuvent montrer des caractères climaciques, et se régénérer régulièrement.

Les espèces dryades se recrutent souvent à l'état de plantules ou arbres juvéniles ayant germé et poussé lentement à l'ombre d'un sous-bois. Un minimum de lumière filtrée est requis pour la germination de leurs graines, qui ont besoin d'une bonne humidité au niveau du sol. Leur photosynthèse est effective à faible niveau radiatif.

Si l'ouverture se referme, la croissance ralentit. L'arbre entre en dormance dans l'attente de conditions meilleures, parfois sur de longues durées (Sapin). Peu à peu les exigences en lumière augmentent : la croissance dans une "cheminée" créée par un arbre mort est un parcours habituel jusqu'à l'émergence dans la voûte : il y a substitution de l'arbre mort par un jeune arbre en attente.

La forêt sauvage n'est cependant pas faite que de trouées ! Elle est un emboîtement d'état de croissance et de mélanges non fortuits d'espèces en continuel flux dans le temps, une mosaïque en perpétuelle mouvance. L'intrication étroite des processus de rajeunissement et de

sénescence, la coexistence de la vie et de la mort, le recyclage complet des substances organiques et minérales à travers le flux d'énergie et de matière, traduisent une organisation d'espèces dignes du plus haut niveau que puisse atteindre un écosystème terrestre.

La phase de maturité forestière est souvent considérée comme le "climax", auquel on associe les caractères de stabilité et de complexité maximale.

Cependant, compte tenu de la longévité des arbres, la stabilité est fugace et illusoire, remise en cause fréquemment par les perturbations. Il est donc nécessaire de substituer à la notion de stabilité celle de résilience, c'est à dire la capacité d'auto régénération, de cicatrisation, que possède une forêt naturelle, ceci quelle que soit la taille des trouées ouvertes, au bout d'un temps plus ou moins long. La résilience est la résultante de la coexistence de l'ensemble des groupes fonctionnels d'espèces, capables d'intervenir quels que soient les effets d'une perturbation.

Le concept de climax s'applique en priorité aux forêts sauvages, livrées à une dynamique naturelle. Il y est atteint quand, sur la surface du massif, se rencontrent les différentes phases de la sylvigénèse. Le climax ainsi conçu comme une mosaïque spatio-temporelle de phases sylvigénétiques, comme un équilibre dynamique ouvert dans l'espace et dans le temps est une entité qui possède une grande résilience face aux diverses perturbations qui peuvent se produire (Rameau, J-C., 2001).

1.3) Atterrissement du Lac Vert et végétation lacustre

L'atterrissement est un phénomène naturel de remplissage jusqu'à disparition d'une zone aquatique (lacs, étangs) par de la matière organique morte ou vivante provenant de la végétation alentour et de la microfaune du lac.

Dans le cas du Lac Vert, la matière organique d'atterrissement provient surtout de saules (*Salix cinerea*) envahissant le lac, d'arbres morts tombés dans celui-ci, ainsi que de tourradons de laïches. Mais il faut aussi tenir compte de la grande quantité de feuilles mortes et autres déchets organiques provenant de la forêt alentour.

En ce qui concerne les saules, ceux-ci poussent sur les rives du lac. Ils croissent rapidement, pour former des structures denses au-dessus de l'eau. Comme le saule ne supporte pas que son tronc soit immergé toute l'année, ceux-ci sont implantés sur la rive, et les branches s'avancent sur le lac, profitant des tourradons pour s'enraciner. Leurs branches, enchevêtrées, se redressent au-delà de l'ombre faite par les grands arbres occupant le pourtour du lac. On observe donc une progression de la ceinture de saules, ce qui induit un rétrécissement de la surface d'eau ouverte.

Les tourradons, qui représentent en majeure partie la végétation lacustre, offrent donc aux saules un point d'encrage dans le lac. Ce sont des agglomérats de laïches élevées (*Carex elata*), pouvant atteindre un mètre de haut. Il permettent également à d'autres végétaux de se développer, tels que les frênes et des herbacées (*Lysimachus* et *Lythrum*).

Cette association du *Caricetum elatae* correspond à une prairie à laïches élevées, aussi appelée Magnocariçaie, appartenant au groupe d'atterrissement le plus fréquent des étages collinéens et montagnards.

La hauteur du niveau d'eau, ainsi que la durée d'immersion, caractérisent les différents groupes de Magnocariçaies. La prairie à laïches élevées est le reflet des conditions les plus extrêmes : niveau d'eau estival élevé, durée d'immersion de plusieurs semaines, conditions automnales et hivernales d'un sol sec, amplitude annuelle du niveau d'eau pouvant atteindre 1,30 mètres. De telles conditions déterminent une dominance par la laïche élevée en forme de tourradons dans cette association, de même que sa pauvreté en autres espèces.

1.4) Suivi de la région du Lac Vert

Une étude diachronique du Lac Vert, mise sur pied en 1991, consiste à réaliser un suivi à long terme de la dynamique de la végétation dans une forêt non entretenue.

Deux études ont été effectuées jusqu'à présent, l'une en 1991, par Nathalie Laydu et Corinne Peter, l'autre en 1996, par Saskia Godat et Nathalie Laydu. La première, sous mandat, consistait en l'élaboration d'une carte du pourtour du lac, comprenant notamment l'étendue des saules le peuplant, et le recensement des arbres sous influence du lac ; ceux-ci ont été déterminés, puis mesurés (diamètre du tronc à hauteur d'épaules, inclinaison vers la lumière). De même, deux transects à travers le lac ont été tirés, afin de relever la végétation lacustre sous forme de tourradons principalement, et six carrés de végétations situés sur le pourtour du lac ont été étudiés plus minutieusement. Lors de la seconde étude, la croissance des arbres a été mesurée, ainsi que leur évolution (arbres morts, nouveaux arbres, changement d'inclinaison).

Notre travail de module de botanique est la 3^{ème} étape de ce suivi. Il consiste à étudier le développement de la végétation entourant le Lac Vert, qui pourrait conduire à l'atterrissement de celui-ci à plus ou moins long terme.

Nous mesurerons alors la croissance des arbres entourant le lac, ainsi que leur stade d'évolution en 2003, sans oublier de nous pencher sur l'évolution de la végétation lacustre, et des carrés de végétation déterminés en 1991.

1.5) But et utilité de ce suivi

L'étude de la dynamique végétale du périmètre du Lac Vert nous amène à nous poser la question suivante : faut-il laisser le périmètre du Lac Vert évoluer naturellement, sans intervention humaine, au risque de laisser le lac s'atterrir, et par-là causer la disparition d'un lieu de vie ou de reproduction d'un nombre important d'espèces ? Où serait-il préférable d'entretenir cet endroit afin que la biodiversité de la région demeure ?

Suite au suivi de l'évolution végétale du Lac Vert et de ses environs, nous pourrions peut-être émettre un avis objectif sur la question. Car, aux diverses causes anthropiques de disparition et de perturbation de l'état des plans d'eau (changement du régime hydrologique, suppression de la dynamique fluviale, pollutions diverses, ponctuelles ou diffuses, etc.), s'ajoute bien entendu l'évolution naturelle des écosystèmes.

2) Matériel et méthode

La méthodologie utilisée dans ce travail reprend celle des études précédentes, étant donné qu'il s'agit d'une étude à long terme et qu'elle se base sur la comparaison de résultats obtenus année après année. En 1991 plusieurs mesures ont été prises, notamment sur la ceinture des arbres et celle des saules, sur des relevés de végétation, ainsi que sur deux transects traversant le lac. Les deux dernières n'ont plus été répétées en 1997.

Pendant ce travail, les points suivants seront traités :

- 1) Dynamique de la ceinture des arbres
- 2) Dynamique de la ceinture des saules
- 3) Relevé de six carrés de végétation

Les transects, qui avaient permis de décrire la végétation lacustre, n'ont pas été repris non plus en 2003. Il devient de plus en plus difficile de les effectuer du fait que la ceinture des saules est en train de devenir infranchissable le long de leurs axes. De plus, les repères placés en 1991 n'ont pas été retrouvés, peut-être sont-ils immergés maintenant, le niveau du lac étant très élevé pendant la durée de l'inventaire.

Les mesures ont été effectuées de début avril jusqu'à mi-mai 2003. Afin que la méthode utilisée auparavant soit correctement appliquée, Nathalie Laydu (qui avait commencé le travail en 1991) nous a accompagnées lors de la première sortie et nous a expliqué la démarche.

2.1) Lac Vert, description

Le Lac Vert est situé dans le Bois de Chênes, à 545 m d'altitude, au fond d'une dépression, entouré de collines morainiques atteignant 660 m d'altitude. Le Lac Vert occupe une superficie de 7600 m² environ, pour une longueur de 190 m et une largeur moyenne de 40 m. La végétation environnante est une hêtraie à pulmonaire, parsemée de hêtres. Le sous-bois est presque dépourvu de végétation arbustive et herbacée.

Le Bois de Chênes est situé au pied de l'une des plus hautes crêtes du Jura (la Dôle, 1677 m). Par son orientation SW-NE, la chaîne jurassienne constitue une barrière aux vents de l'ouest. De ce fait, la pluviosité atteint 1020 mm/an environ. La température moyenne, de 9 C°, est élevée (moyenne établie grâce aux relevés de la station météorologiques de Changins, entre 1753 et 1995), principalement à cause d'un vent sec et chaud, le Joran, qui descend des pentes du Jura, créant ainsi des déficits hydriques temporaires.

La faune du Lac Vert comprend quelques espèces d'oiseaux ; des canards colverts, ainsi que des grèbes castagneux (ceux-ci nichent au lac). De même, des salamandres tachetées, tritons alpestres et tritons crêtés ont été observés. Ces trois espèces se reproduisent dans le lac. On peut aussi trouver des grenouilles rousses, grenouilles agiles, et crapauds communs.

Origine du Lac Vert

Les sols de la région du Lac Vert sont de type CALCOSOL et CALCISOL (selon le référentiel pédologique français). Le calcosol, sol brun calcaire, est riche en carbonate (CaCO₃), et le calcisol, sol brun calcique, possède moins de carbonate, mais n'est pas encore décalcifié.

Le lac est en fait la partie visible d'une nappe phréatique de surface, située dans une moraine jurassienne, graveleuse, donc très perméable. Le matériel de fond, issu de moraine

rhodanienne, est par contre très imperméable. Une seconde nappe d'eau s'est logée sous cette couche, et est un réservoir d'eau potentiel très convoité. On a donc ici deux nappes phréatiques superposées, dans un paysage formé de vallons morainiques jouant le rôle de barrages naturels aux eaux superficielles.

Un projet de pompage dans la nappe inférieure a été mis à l'étude, mais Pro Natura s'y oppose, craignant par la suite un assèchement de la nappe supérieure, qui causerait l'assèchement du Lac Vert. Cependant, les spécialistes affirment que le pompage de la nappe inférieure n'influencerait pas le devenir du lac, la couche séparant les deux nappes étant assez imperméable pour éviter le phénomène. Aujourd'hui, l'affaire est devant le tribunal.

Comme la région est une réserve intégrale, l'action de l'homme serait contraire à la loi, et influencerait donc l'évolution naturelle du paysage. Un abaissement de la nappe supérieure aurait comme conséquence un atterrissement plus rapide du lac.

2.2) Cartographie de la ceinture des arbres

Le lac est entouré d'une végétation arborescente qui a tendance à s'incliner dans la direction de celui-ci. L'influence que le lac a sur la végétation disparaît progressivement au fur et à mesure qu'on s'en éloigne.

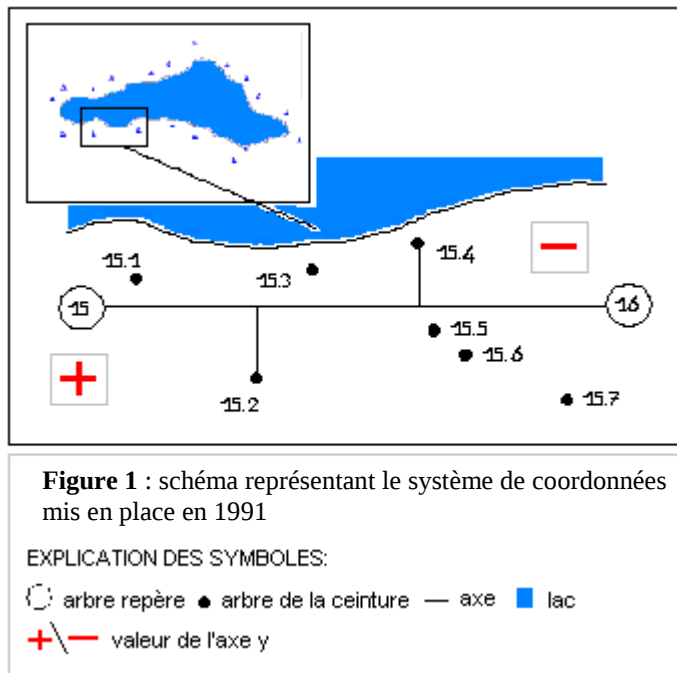
En 1991, une limite externe de la ceinture des arbres étudiée a été posée assez intuitivement. Celle-ci a été définie comme étant la zone dans laquelle l'inclinaison du tronc de l'arbre et /ou l'inclinaison de la couronne sont orientés préférentiellement en direction du lac. La limite interne correspond par contre aux derniers arbres au bord de celui-ci. La méthodologie, comme expliqué auparavant, reprend fidèlement celle mise en place en 1991. Ceci même si elle semble parfois assez approximative, et que beaucoup d'améliorations pourraient être faites.

Repères et système de coordonnées :

Afin de retrouver tous les arbres pris en compte année après année, un système de coordonnées a été mis en place en 1991. Celui-ci a servi à cartographier la position des arbres aux alentours du Lac Vert.

À l'intérieur de la ceinture, 19 arbres ont été choisis comme repères. Il s'agit d'arbres de grande taille, qui se trouvent à intervalles plus ou moins réguliers autour du lac, et ayant une distance entre eux inférieure à 50 mètres. Chacun de ces arbres a été muni d'une petite plaquette en métal posée à la base du tronc de façon discrète (étant donné qu'il s'agit d'une réserve intégrale, aucune intervention ne devrait être faite, et afin qu'elles ne soient pas arrachées par les passants). Notons que, lors de notre étude, certaines de ces plaquettes étaient absentes (numéros 6 et 13).

Le positionnement de ces arbres sur une carte a été fait en 1991 de la façon suivante : un rectangle circonscrit au lac a été défini par 4 piquets de manière à ce que les sommets soient situés aux extrémités du lac. Des chevillières ont été tendues d'un angle du rectangle à l'autre. Les distances entre les troncs des arbres repères et ces chevillières ont été mesurés à l'aide d'un prisme de visée afin de les positionner entre eux et par rapport au lac. Une estimation de la précision n'a pas été donnée. Il est probable que la marge d'erreur soit assez grande, ceci pourra être contrôlé lors de l'adoption du système de coordonnées suisses (grande ou petite déformation de l'espace), grâce à des points de repère pris au GPS (Trimble GeoExport3), ceci sera présenté plus tard.



Pour tous les autres arbres, les coordonnées x et y ont été déterminées de la façon suivante (Figure 1) : une chevillière a été tendue entre deux arbres repères, créant ainsi une ligne la plus droite possible. Elle constitue l'axe x. À partir de celle-ci, une deuxième chevillière a été tirée perpendiculairement en direction de chaque arbre à relever. Elle forme ainsi l'axe y. Les points notés ont été pris comme étant le centre de l'arbre. Si un arbre se trouve du côté du lac par rapport à l'axe x, sa valeur est négative, et positive dans le cas contraire. Il prend le numéro du premier arbre repère, suivi d'un deuxième nombre indiquant le

quantième arbre à partir du premier arbre repère. Par exemple, le 36ème arbre rencontré entre les repères 3 et 4 a été nommé 3.36.

Si d'une année à l'autre des nouveaux arbres sont rajoutés, soit parce que leur diamètre a rejoint la taille souhaitée, soit parce qu'ils avaient été oubliés auparavant, toute la numération des arbres qui le suivent est adaptée à la nouvelle situation. Pour chaque arbre ainsi numéroté, l'espèce a été déterminée l'année de son apparition dans l'étude de la dynamique du Lac Vert. Certains arbres morts n'ont plus été retrouvés, il est possible que les troncs tombés étaient déjà, lors de l'étude, en état de décomposition.

Deux mesures ont été prises comme indice de dynamique de croissance : le diamètre du tronc à hauteur de poitrine et l'inclinaison.

Le diamètre du tronc a été mesuré à l'aide d'une chevillière. Seuls les arbres possédant un tronc dont le diamètre est supérieur à 4 cm ont été pris en considération. Si plusieurs troncs par arbre étaient présents, tous les diamètres entrant dans la classe considérée ont été notés. Cette mesure a été préférée à celle de la hauteur des arbres ou à celle de l'ampleur de la couronne, parce que plus précise et rapide à prendre ; probablement aussi efficace pour notre étude.

La mesure de l'inclinaison, c'est à dire l'angle formé entre le tronc de l'arbre et le plan horizontal, a été séparée en 4 casses :

Inclinaison 1 : angle de 90°, arbre vertical

Inclinaison 2 : angle de 60°-89°

Inclinaison 3 : angles de 30° -59°

Inclinaison 4 : < 30°

Inclinaison 5 : arbre couché

L'attribution d'une classe a été faite de façon approximative, selon estimation, et pour chaque tronc mesuré.

Remarques sur ces deux mesures :

Il paraît assez évident que les valeurs obtenues donnent des informations très approximatives. Pour ce qui concerne le diamètre, la mesure a été faite au centimètre près et la valeur a été arrondie lors de la transformation du périmètre au diamètre. De plus, il n'y a pas de hauteur exacte pour la prise de la valeur. La hauteur de poitrine étant très approximative, variant d'un individu à l'autre, et de plus peu réaliste pour des arbres très penchés ou à croissance parallèle au sol. Nous avons ainsi pu remarquer que certaines valeurs du diamètre rétrécissent au cours des années, ce qui est assez improbable...

De plus, la mesure de l'inclinaison ne prend pas en compte un penchement de la cime uniquement. Ceci arrive pourtant fréquemment et pourrait donc être une donnée intéressante.

2.3) Cartographie de la ceinture des saules

Afin d'étudier l'avancement de la ceinture des saules (*S. cinerea*) dans le lac, les limites de celle-ci ont été déterminées lors de chaque étude.

En 1991, une ébauche a été dessinée à partir de diapositives de vues aériennes prises dans l'année (Figure 2). Pour positionner la ceinture, quelques points facilement repérables, aussi bien sur le terrain que sur les diapositives (arbres couchés, piquets du transect numéro 1, sapins), ont été utilisés.



Figure 2 : Photo aérienne du Lac Vert (1991)

En 1997, aucune photo aérienne n'ayant été prise, les mesures ont été dessinées directement à partir du terrain. La distance entre des points de la limite de la canopée des saules et des repères (angles du lac, arbres repères, etc.) a été mesurée et reportée sur la carte de 1991.

En 2003, la prise d'une photo aérienne étant impossible, nous avons été obligées de réitérer la méthode de

1997. Pour être plus précises, nous nous sommes aventurées dans le lac avec des bottes hautes. Cependant, la ceinture des saules étant si dense, nous n'avons pas pu aller bien loin...

2.4) Relevés des carrés de végétation

Six relevés de végétation de 10x10 mètres ont été effectués en 1991 sur le terrain entourant le lac. Le choix de ces carrés, fait en 1991, essaie d'inclure des zones représentatives du pourtour du lac (pentes, expositions, végétations différentes). Cette étude, ignorée en 1997, a été reprise en 2003. Les espèces contenues dans chaque carré ont été notées selon leur indice d'abondance (méthode Braun-Blanquet, 1964) et séparées selon leur appartenance aux différentes strates (Tableaux 1 et 2).

Tableau 1 : Séparation de la végétation en classes selon sa hauteur

Strate arborée	> 3 m
Strate arbustive	0.6- 3 m
Strate herbacée	< 0,6 m

Tableau 2 : Les 5 niveaux d'abondance-dominance de la méthode Braun-Blanquet (1964); les absences sont marquées par un point (.)

r	+	1	2	3	4	5
1 individu	Recouvrement insignifiant	Moins de 5%	5-25%	25-50%	50-75%	> de 75%

2.5) Homogénéisation dans le système de coordonnées géographiques suisse

Etant donné que jusqu'à ce jour aucun point de repère réel (coordonnées géographiques) n'était donné dans cette étude diachronique, il a été décidé de placer le Lac Vert et les arbres l'entourant dans le système de coordonnées suisse. Les coordonnées de sept arbres repères ont donc été relevées à l'aide d'un GPS Trimble GeoExport3. Ces données ont été transférées sur le programme informatique GPS Pathfinder, puis les coordonnées du système créé par N. Laydu et C. Peter ont été traduites dans le système suisse.

Il est donc maintenant possible de retrouver précisément un point géographique de la région du Lac Vert.

2.6) Pourtour du lac

Le niveau du lac variant assez fréquemment et de façon plus ou moins marquée (1-2 mètres), il est impossible de donner une limite précise de l'étendue d'eau. Idéalement il aurait fallu prendre en compte le niveau maximal que celle-ci peut atteindre. Cependant, ces données n'ont pas été récoltées.

Lors de notre travail, nous avons pu constater que le niveau d'eau était beaucoup plus élevé que ce qui avait été dessiné précédemment. Ce niveau supérieur explique mieux la limite interne de la ceinture des arbres. Nous avons donc décidé de retracer un nouveau pourtour, en corrigeant la vieille carte à partir des observations faites sur le terrain, prenant comme points de repère les arbres marqués sur la carte.

2.7) Digitalisation

Toutes les valeurs géographiques récoltées, de même que celles des années précédentes, ont été digitalisées à l'aide d'une table de digitalisation (DrawingBoard III, CalComp), des programmes ArcCatalog 8.3 (ESRI Inc., 1999-2002) et ArcMap 8.3 (ESRI Inc., 1999-2002). Pour le pourtour du lac, la situation des saules en 1991, les transects, les carrés de relevés et le positionnement des arbres repères, nous nous sommes servis d'une carte dessinée par N. Laydu et C. Peter lors de leur travail (Laydu N. et Peter C., 1992). Pour la situation des saules en 1997, par contre, le seul document à disposition était un transparent en format A4 donnant un contour très approximatif de la ceinture. La digitalisation de cette couche comporte donc une assez grande marge d'erreur.

La situation des saules et du lac en 2003, ainsi que les sentiers (ces derniers ont été insérés pour faciliter la localisation des arbres lors d'études futures) ont été rajoutés à partir de modifications faites sur la carte citée précédemment.

Une correction a été effectuée sur toutes les couches grâce à l'introduction du système de coordonnées suisse.

Enfin, le positionnement de tous les arbres formant la ceinture a été fait en insérant directement leurs coordonnées dans le programme, modifiées par un changement du plan appliqué à chaque tronçon formé par les arbres repères.

Pour ces arbres, plusieurs couches ont été créées, chacune amenant une information différente.

La couche de distances est composée de sept bandes concentriques de trois mètres de largeur ayant comme centre le pourtour du lac de 1991. Malheureusement nous n'avons pas pu insérer le facteur pente, ce qui aurait apporté des informations supplémentaires.

Toutes les couches citées dans ce chapitre, ainsi que quelques autres alors explicitées, sont présentées en annexe (Annexes 1-10).

2.8) Notes pour les études futures

Nous sommes conscientes que certaines erreurs ont été répétées lors de ce travail. Certaines ont été repérées seulement une fois les données récoltées. Nous en prenons acte et en profitons pour rendre attentives les personnes qui continueront ce travail.

Lors de la prochaine étude de la ceinture des arbres, il serait judicieux de contrôler la justesse de la détermination des arbres.

De plus, pour avoir une mesure plus précise de la croissance du diamètre du tronc, il faudrait fixer une hauteur de poitrine standard prise d'un côté de l'arbre précis (la règle, en ingénierie forestière, est de prendre la mesure dos à la pente, donc depuis l'amont de l'arbre, ou dos au nord s'il n'y a pas de pente), qui sera reprise d'année en année.

Si de nouveaux arbres sont pris en compte, il faudrait les nommer sans changer la numération de ceux déjà existants (par exemple 4.36 III, 16.05 I, etc.).

Pour la détermination de l'inclinaison, il faudrait bien spécifier si la mesure faite est celle du tronc ou de la cime. De plus, cela pourrait donner des résultats plus éloquentes de séparer la classe d'inclinaison 2, selon que l'arbre est presque vertical (mais qui ne peut pas être compris dans la classe 1), ou plutôt plus penché (par exemple appeler 2a l'arbre de 85° et 2b celui de 65°).

Pour le pourtour du lac, il serait intéressant de noter si, pendant l'étude, l'eau atteint des niveaux plus élevés que celui marqué en 2003, et de modifier la carte si cela s'avère nécessaire. De plus, pour obtenir des résultats plus précis, il serait souhaitable de délimiter les carrés de relevés avec des piquets en métal.

3) Résultats

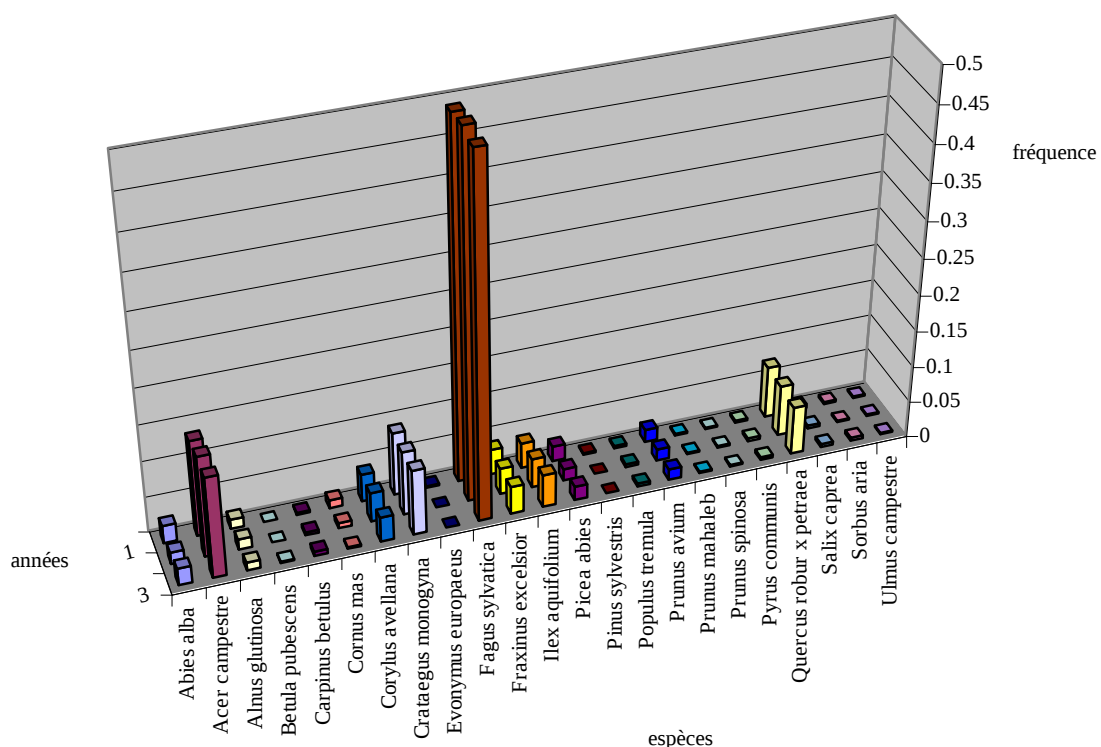
3.1) Ceinture des arbres entourant le Lac Vert

Les résultats comprennent d'un côté l'interprétation visuelle des couches générées par SIG (Annexes 1-10), et, de l'autre, les tests statistiques appliqués aux données brutes récoltées. Plusieurs aspects émergent alors. On ne traitera ici que des principaux.

Fréquence, dominance et variation de la composition des espèces sur les trois années d'étude

En analysant les données récoltées on observe une nette prédominance dans la ceinture de *Fagus sylvatica* (Tableau 3) : pour les trois années il représente approximativement le 50% des arbres, suivi de *Acer campestre* (13-14 % des arbres entre les trois années), *Crataegus monogyna* (approximativement 0.9 %), *Quercus robur x petraea* (0.7%), *Fraxinus excelsior* et *Corylus avellana* (0.4% environ pour les deux), *Abies alba* (0.3% environ), *Alnus glutinosa* (0.1%), etc. (Figure 3)

Figure 3: Fréquence des espèces dans la ceinture des arbres pour les trois étapes de l'étude, soit 1991, 1997 et 2003



Aucun grand changement en ce qui concerne la fréquence générale des espèces pour les trois années n'a été observé (la différence n'est jamais significative, ni entre 1991 et 1997 (test de t apparié, p-value= 0.8953), entre 1997 et 2003 (test de t apparié, p-value = 0.9474) ou entre 1991 et 2003 (test de t apparié, p-value = 0.9567)). Au niveau des espèces, on remarque une augmentation de la fréquence d'*A. campestre* (passage d'une fréquence de 0.133 en 1991 à

une fréquence de 0.140 en 1997 et 0.41 en 2003), de *C. betulus* (de 0.003 à 0.004 et 0.006), de *C. monogyna* (0.0087->0.088->0.090), de *F. excelsior* (0.035->0.036->0.038) et de *I. aquifolium* (0.035->0.040->0.045). Ceci au détriment de *C. mas* (0.011->0.007->0.002) de *P. avium* (0.017->0.016->0.015) et surtout de *Q. robur x petraea* (0.071->0.070->0.066).

La fréquence de *F. sylvatica* reste par contre constante. *A. glutinosa*, *A. alba* et *C. avellana* ne montrent aucune tendance particulière.

Si la fréquence générale est restée significativement égale, le nombre de plantes total a significativement changé entre 1991 et 1997 : passage de 633 à 556 arbres (test de Wilcoxon, p-value<0,001) et entre 1991 et 2003 (test de Wilcoxon, p-value = 0.002). Entre 1997 et 2003, on passe de 556 arbres à 532, tendance qui n'est pas significative (test de Wilcoxon, p-value = 0.193). Cette diminution du nombre de plantes concerne la presque totalité des genres, elle est très importante pour *Fagus* (310-> 275-> 260), *Acer* (84-> 78->75), *Cornus* (7->4->1), *Corylus* (24->22->18), *Crataegus* (55-> 49->48) et *Quercus* (45->38->35). Un seul genre ne suit pas cette tendance, il s'agit de *Ilex* qui passe de 22 en 1991 et 1997 à 24 en 2003.

Cette tendance s'apparie avec la grande proportion d'arbres morts entre les années (Tableau 4) : s'il y avait 5 morts observés lors de l'étude en 1991, ils étaient 81 (+76) en 1997, et 107 en 2003 (+26).

Tableau 4: Nombre d'arbres morts pour les trois années d'étude

ESPECES	ARBRES MORTS PRESENTS		
	1991	1997	2003
<i>Abies alba</i>	3	8	8
<i>Acer campestre</i>	0	7	10
<i>Alnus glutinosa</i>	0	0	2
<i>Betula pubescens</i>	0	0	0
<i>Carpinus betulus</i>	0	0	0
<i>Cornus mas</i>	0	3	6
<i>Corylus avellana</i>	0	2	6
<i>Crataegus monogyna</i>	0	6	10
<i>Evonymus europaeus</i>	0	1	1
<i>Fagus sylvatica</i>	2	35	43
<i>Fraxinus excelsior</i>	0	2	2
<i>Ilex aquifolium</i>	0	0	0
<i>Picea abies</i>	0	5	4
<i>Pinus sylvestris</i>	0	1	1
<i>Populus tremula</i>	0	0	0
<i>Prunus avium</i>	0	2	3
<i>Prunus mahaleb</i>	0	0	0
<i>Prunus spinosa</i>	0	0	0
<i>Pyrus communis</i>	0	0	0
<i>Quercus robur x petraea</i>	0	6	8
<i>Salix caprea</i>	0	2	2
<i>Sorbus aria</i>	0	1	1
<i>Ulmus campestre</i>	0	0	0
TOTAL	5	81	107

Il s'agit surtout de *F. sylvatica* (43 morts en 2003), *A. campestre* (10), *C. monogyna* (10), *Q. petraea x robur* (8) et *A. alba* (8). Ces valeurs tiennent compte aussi des arbres morts qui n'ont pas été retrouvés lors de l'étude suivante parce qu'en état avancé de décomposition. Pour *Picea abies* on a une diminution du nombre total de morts entre 1997 et 2003, parce

qu'un arbre considéré comme mort en 1997 a produit des rejets en 2003. Ceci est à mettre en relation avec le faible taux de nouveaux végétaux apparus (Tableau 3) : seules 20 plantes en 2003, parmi lesquelles des arbres déjà adultes, mais ayant été ignorés auparavant. Ces 20 plantes appartiennent surtout aux espèces suivantes: *F. sylvatica* (7), *C. monogyna* (3), *A. campestre* (2) et *I. aquifolium* (2). L'arbre noté comme nouveau en 1997 était mort, de ce fait il n'a pas été inclus dans l'étude en 2003.

Les plantes répertoriées possèdent des troncs aux diamètres hétérogènes (Tableau 5). En général, sur les trois années on constate un nombre très élevé, allant de 331 en 1991 à 222 en 2003, d'arbres ayant un petit diamètre (compris entre 4 et 10 centimètres) et un nombre de plus en plus limité de plantes ayant un gros tronc (la valeur maximale atteinte est de 96,1 cm), (Figure 4). On remarque que le groupe d'arbres ayant un gros tronc est composé surtout de *Q. robur x petrae* et de *F. sylvatica* (Tableau 5).

Figure 4: Nombre d'arbres par classe de diamètre pour les trois années d'étude

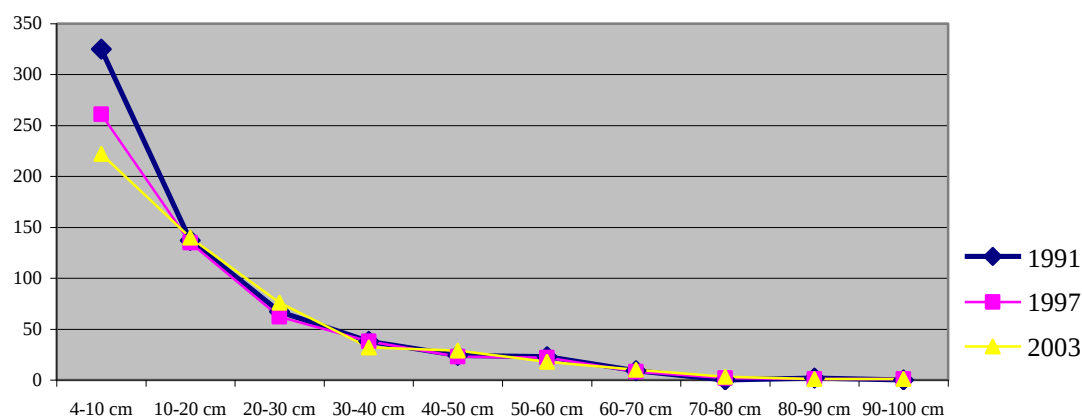
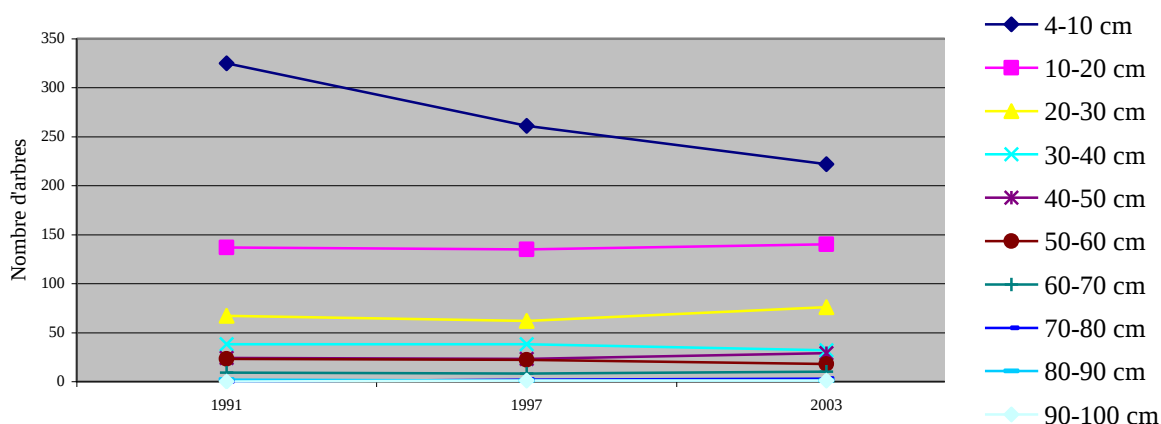


Figure 5: Variation dans la répartition en classes de diamètre pour les trois années d'étude



On remarque ici une grande diminution du nombre de troncs très petits entre les années (Figures 4 et 5), une petite augmentation pour la classe de diamètre suivante (allant de 10 à 20 centimètres) et une augmentation encore plus sensible pour celle d'après (20-30 centimètres). Pour les classes suivantes, le nombre de troncs est resté relativement constant. Ce sont surtout (Tableau 5) *F. sylvatica* et *C. monogyna* qui ont la plus grande diminution du nombre d'arbres à petit diamètre. Cette diminution est due soit à un passage de classe soit à la mort de l'arbre : en 2003 on a par exemple, pour *F. sylvatica* sept arbres ayant un diamètre compris entre

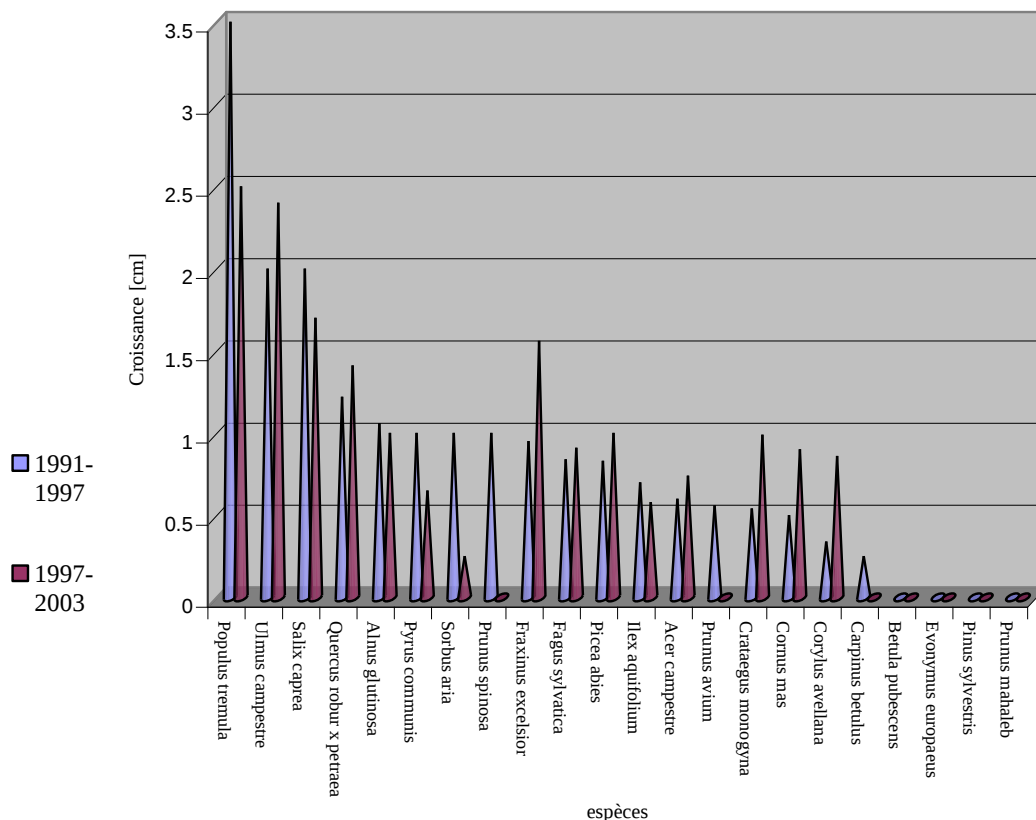
quatre et dix centimètres qui sont morts et six qui sont passés à la classe suivante. Pour *C. monogyna*, pour la même année, on compte sept morts et cinq passages de classe.

Croissance des arbres

Pour ce qui concerne le taux de croissance en diamètre des troncs, il n'y pas une différence significative entre les périodes 1991-1997 et 1997-2003 (test de Wilcoxon, p-value = 0.3340). La croissance totale (somme de toutes les croissances positives de diamètres) était en 1997 de 445.2 centimètres contre 492.9 en 2003. On remarque donc une tendance à une augmentation de celle-ci. Tous les arbres ne suivent pas cette direction : si ceci est valable pour *A. campestre*, *C. mas*, *C. avellana*, *C. monogyna*, *F. sylvatica*, *F. excelsior*, *P. abies* et *Q. robur x petraea* (Tableau 10), ça ne l'est par contre pas pour *A. glutinosa*, *C. betulus* et *I. aquifolium*. Le taux de croissance en diamètre est en général élevé pour *P. tremula*, *U. campeste* et *Salix caprea* (Figure 6). On remarque une grande augmentation du taux entre les deux périodes chez *F. excelsior* (+0.61 cm), *C. avellana* (+0.52), *C. monogyna* (+0.45) et *C. mas* (+0.40).

P. tremula, *S. aria*, *P. spinosa*, *P. avium* et *C. betulus* semblent par contre avoir eu une diminution du taux de croissance.

Figure 6: Croissance moyenne du diamètre du tronc pour les différentes espèces sur les deux périodes d'étude, tiré du Tableau 10

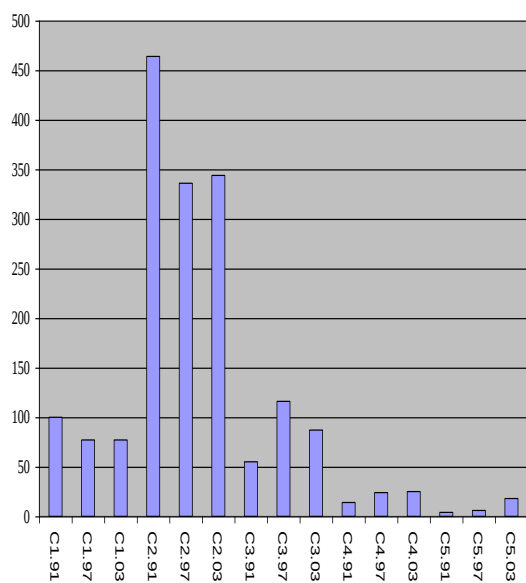


Inclinaison du tronc, différence entre les années

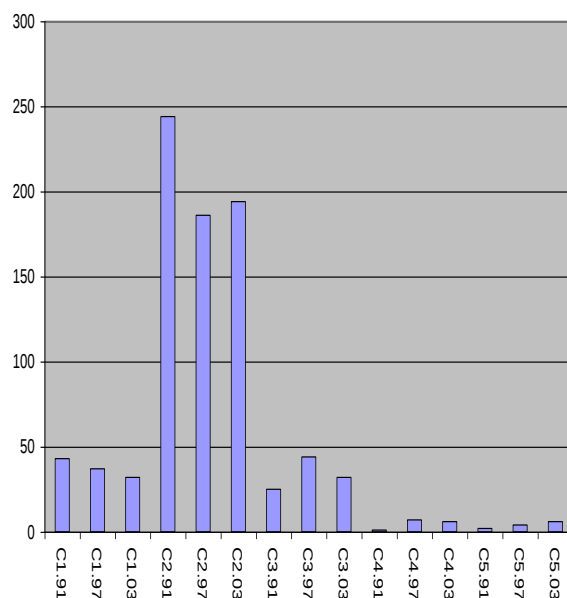
L'inclinaison des troncs est, pour la plus grande partie des plantes, de classe 2, soit un angle avec l'horizontal compris entre 30° et 60° (Tableau 11).

Figure 7: Nombre d'arbres appartenant aux différentes classes d'inclinaison pour les trois années d'étude : a) tous les arbres, b) *Fagus sylvatica*, c) *Acer campestre*, d) *Crataegus monogyna*, e) *Fraxinus excelsior*, f) *Quercus robur x petraea*, g) *Abies alba*. Sur l'axe X, C signifie classe

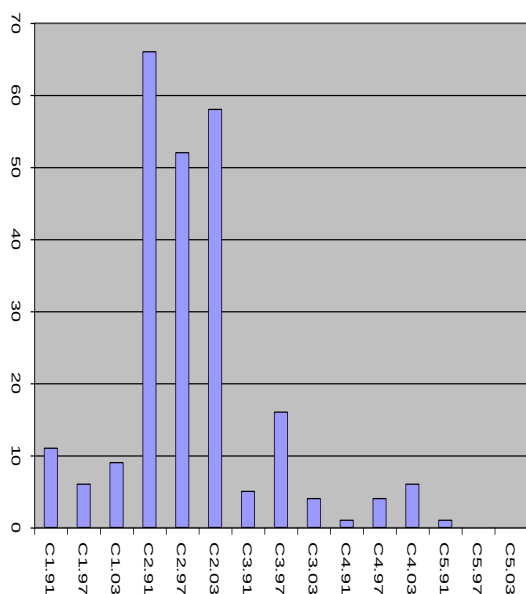
a)



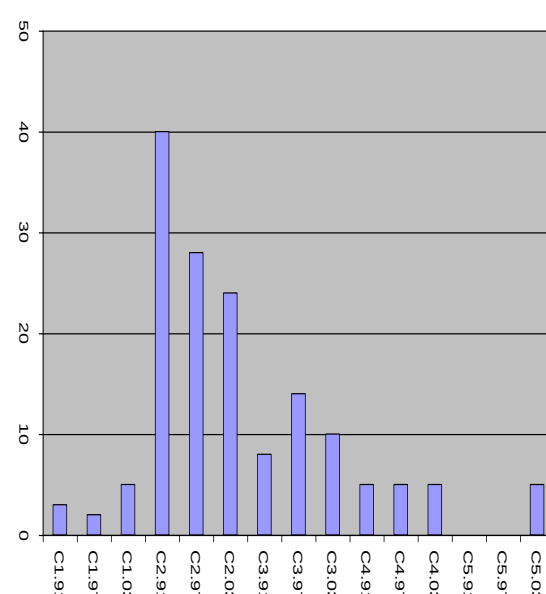
b)

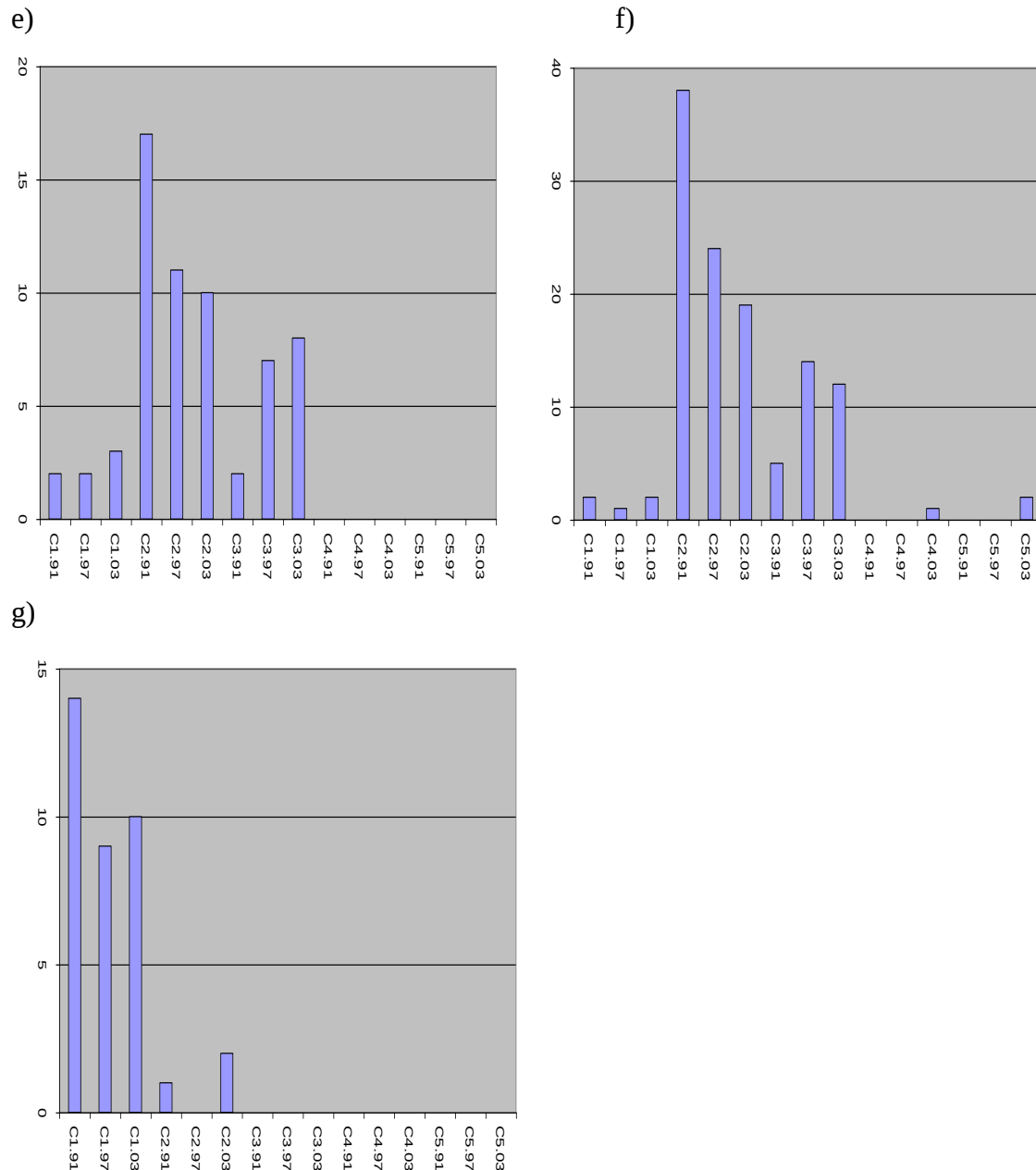


c)



d)





F. sylvatica suit (et détermine même) la tendance générale (Figure 7). On dénote des variations de l'inclinaison générale des arbres entre les années. Les arbres à inclinaison 2 tendent à diminuer en 1997 et à augmenter en 2003 et ceci à l'opposé de ceux de la classe 3 : une grande proportion d'arbres a donc changé de classe. *C. monogyna* possède en moyenne des inclinaisons plus élevées (arbrisseaux à plusieurs troncs inclinés), par contre *A. alba* a une nette prépondérance d'arbres ayant un tronc parfaitement droit.

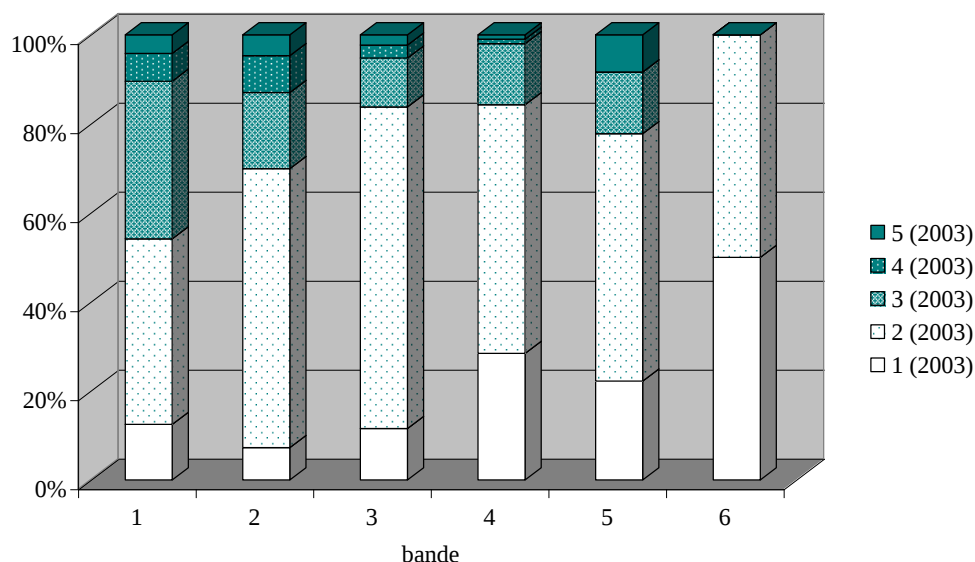
Pour ce qui concerne le changement de classe d'une année à l'autre, on dénombre 77 passages entre 1991 et 1997, et 53 entre 1997 et 2003 (Tableau 6). On remarque une diminution significative (test de Wilcoxon, p-value = 0.622) du nombre de changements de classe entre les deux périodes. Ceci est approximativement valable pour toutes les espèces. Ce sont surtout *F. sylvatica* (34 passages pour la première, 16 pour la deuxième), *Q. robur x petrae* (8 la première et 5 la deuxième) et *A. campestre* (12 et 1) qui ont changé de classe. Ces passages concernent majoritairement une transition de la classe 3 à 4 (56 entre 1991 et 1997 et 19 entre 1997 et 2003), de la classe 4 à la 5 (8 et 6), de la classe 1 à 2 (6 et 8). On remarque une

étrange augmentation du nombre de passages des classes 2 à 4, 2 à 5 et 3 à 5 pour la deuxième période et concernant surtout *F. sylvatica*.

Rapport de l'inclinaison du tronc avec la distance de l'arbre au lac

En observant les couches SIG générées, on ne remarque à première vue aucune différence significative d'inclinaison des troncs entre les différentes bandes de distance au lac (Annexes 2, 6 et 7). La répartition semblerait homogène entre les 6 bandes et pour les 5 classes d'inclinaison, ceci est confirmé statistiquement (régression linéaire, pour 2003, $R^2 = 0.515$). Graphiquement on remarque, en 2003, une diminution d'arbres à forte inclinaison en s'éloignant du lac (Figure 8), pour laisser place à un nombre de plus en plus grand d'arbres à faible inclinaison. La tendance est suivie assez linéairement sur les trois années d'étude. Étrangement, dans tous les cas, la bande 5 (de 12 à 15 mètres du lac) possède une proportion d'arbres à forte inclinaison particulièrement élevée.

Figure 8 : Distribution des arbres selon leur classe d'inclinaison et leur distance au lac en 2003, tiré du Tableau 12



Un dernier point peut être mis en évidence : en 1997, quatre groupements d'arbres à inclinaison 3 (en prévalence des *Quercus*, *Abies* et de *Fagus*) apparaissent, un au sud du lac, un au sud-est, un autre au sud-ouest et un petit au sud, et ceci pas forcément à proximité du lac. Le phénomène s'amplifie en 2003. Ceci pourrait être expliqué par la mort de certains arbres (des *Abies* principalement) dans la zone, qui auraient alors offert de l'espace et de la lumière.

Autres facteurs mis en relation avec la distance au lac

a) Morts

Il n'apparaît pas de véritable rapport entre arbres morts et distance au lac. On dénote une étrange distribution des arbres morts en 1991 : ils sont disposés uniquement sur le côté ouest du lac. Au contraire, les années suivantes la distribution est homogène. Il pourrait s'agir soit d'une erreur lors de la prise des mesures, soit d'événements biotiques ou environnementaux.

b) Croissance

On ne remarque pas de rapport entre croissance et distance au lac. Par contre, pour les deux périodes d'étude (1997 et 2003), on retrouve des arbres ayant une grande croissance (appartenant aux classes de croissance comprises entre 3 et 5) surtout du côté nord du lac. Il s'agit de Frênes, de Hêtres et de Chênes. Ces arbres trouveraient ici des conditions particulièrement favorables à leur croissance.

c) Apparition de nouveaux arbres

Aucun rapport n'est visible entre l'apparition de nouvelles plantes et la proximité au lac. Par contre on dénote une absence de nouvelles plantes au nord du lac.

En annexe sont rajoutés les tableaux complets de la ceinture des arbres (Tableaux 8 et 9).

3.2) Evolution de l'atterrissement par l'avancée de la ceinture des saules

L'évolution de la ceinture des saules (*Salix cinera*), qui joue un rôle dans l'atterrissement du Lac Vert, n'a pas été étudiée avec précision en 2003. Notre intérêt s'est porté principalement sur la dynamique des arbres bordant le lac, pouvant également influencer l'atterrissement.

Observation de la ceinture des saules

Cette année les saules ne bordaient pas le lac, mais se trouvaient, pour la plupart des individus, dans celui-ci, à une distance de zéro à trois mètres de la rive environ. Ceci est dû au niveau plus haut que de coutume du lac.

De plus, les saules occupent presque tout le pourtour du lac depuis 1997 déjà. Cette fois-ci, leur croissance semble plus importante dans le lac. C'est à dire que la ceinture des saules s'est développée en épaisseur.

Après une tentative d'exploration de la région centrale du lac, rendue très difficile par la formation resserrée des saules, il a été possible de constater que la majeure partie de l'espace non occupé par les saules est envahit par les tourradons. On trouve donc, insérée dans la ceinture, une prairie de *Carex elata*. Les tourradons sont également présents, mais en plus petite quantité, dans les derniers espaces d'eau libre jouxtant les rives.



Figure 9 : Photo aérienne du Lac Vert (1991)



Figure 10 : Photo aérienne du Lac Vert (1999)

Les deux photos aériennes, datant respectivement de 1991 et de 1999, montrent l'évolution de la végétation lacustre du Lac Vert (Figure 9 et 10).

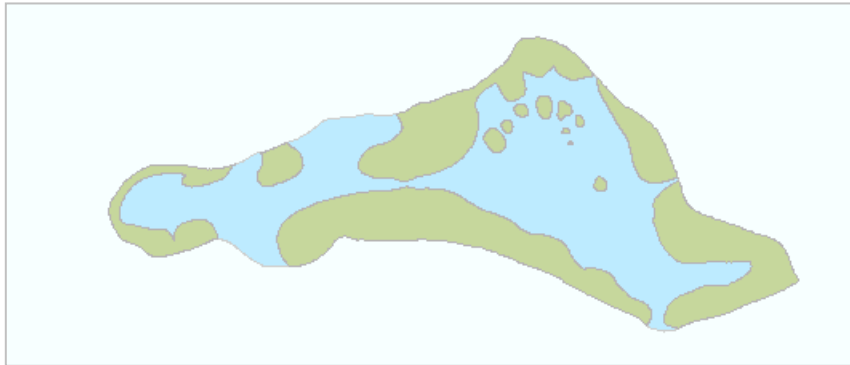
En 1991, les saules et tourradons étaient encore peu présents (et, de plus, moins visibles sur la photo, prise alors lorsque la végétation n'était pas encore développée). En 1999 par contre, tout l'espace est occupé par de la végétation. Cependant, il faut noter que ces différentes photos n'ont ni été prises avec la même inclinaison, ni à la même période de l'année. En effet, l'image de 1999 a été effectuée pendant la période de végétation, celle de 1991 plus tôt dans la saison. Cette différence peut fausser l'interprétation de l'abondance végétale dans le lac.

Nous n'avons pas pu nous procurer de photo en 2003. Il restait tout de même des zones d'eau libre cette année-là ; la végétation n'a probablement pas diminué depuis 1999, mais le niveau d'eau a pu augmenter. La couche des saules 2003 élaborée dans le SIG a donc été tracée approximativement, *de visu*, de même que celles de 1991 et de 1997.

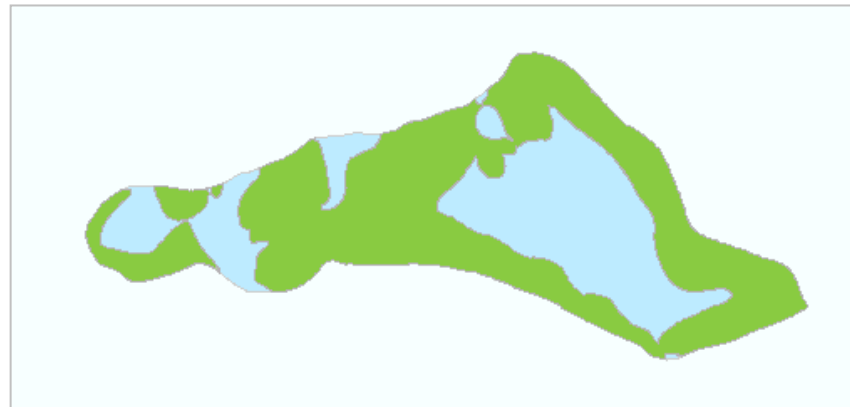
Cependant, même si ces trois couches sont approximatives, il est possible de constater une forte augmentation de la présence des saules dans le Lac Vert (Figure 11).

Figure 11 : Evolution de la ceinture des saules pour les trois années d'étude entre 1991 et 2003

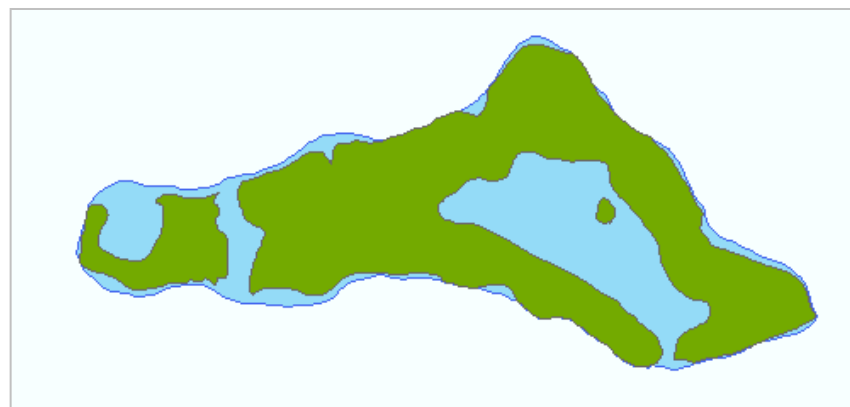
1991



1997



2003



3.3) Relevés des six carrés de végétation

Comparaison des relevés entre 1991 et 2003

De manière générale (Tableau 7), on constate que les carrés ne contiennent pas exactement les mêmes espèces entre 1991 et 2003, que ce soit dans la strate herbacée, arbustive ou arborée. Certaines étaient présentes en 1991 et ont disparu aujourd'hui, d'autres n'ont pas été relevées il y a 12 ans, mais sont présentes en 2003.

1) Strate arborée :

- Les espèces citées ci-dessous sont présentes en 1991, et absentes en 2003 :
Acer opalus, *Carpinus betulus*, *Cornus mas*, *Crataegus monogyna*, *Prunus mahaleb*.
- Il y a deux nouvelles espèces en 2003 :
Acer campestre, *Ulmus minor*.

2) Strate arbustive :

- Les espèces citées ci-dessous sont présentes en 1991, et absentes en 2003 :
Acer opalus, *Carpinus betulus*, *Cornus mas*, *Lonicera xylosteum*, *Fraxinus exelsior*, *Viburnum lantana*.
- Il n'y a aucune nouvelle espèce en 2003 appartenant à la strate arbustive.

3) Strate herbacée :

- Les espèces citées ci-dessous sont présentes en 1991, et absentes en 2003 :
Acer pseudoplatanus, *Acer opalus*, *Ajuga reptans*, *Cephalanthera damasonium*, *Coronilla emerus*, *Euphorbia amygdaloides*, *Lamium galeobdolon*, *Poa nemoralis*.
- Inversement, les espèces citées ci-dessous sont présentes en 2003, et absentes en 1991 :
Alnus glutinosa, *Crataegus oxyacantha*, *Salix cinerea*, *Sorbus alba*, *Urtica dioica*, *Viburnum lantana*, *Viburnum opulus*, *Vinca minor*.

3.4) Homogénéisation dans le système de coordonnées géographiques suisse

Les données géographiques relevées sur le terrain ont été homogénéisées dans le système de coordonnées géographiques suisse. Une déformation de l'espace d'environ 4 mètres a été remarquée lors de cette opération, plusieurs explications à ceci peuvent être amenées :

- L'imprécision du positionnement des arbres repères entre eux et par rapport au lac lors de la création du système de coordonnées en 1991,
- Des erreurs peuvent être survenues lors du dessin de la première carte dont nous nous sommes servis pour obtenir le positionnement des arbres repères,
- Un manque de précision dû à l'abaissement du seuil de précision de la prise des mesures GPS, qui a dû être effectué afin de pouvoir capter les signaux des satellites sous la strate arborée ainsi qu'au pied des collines,
- L'introduction d'erreurs lors du transfert des données du GPS au programme SIG, et lors de la manipulation de ces données.

4. Discussions

4.1) Ceinture des arbres entourant le Lac Vert

Les résultats obtenus mettent en évidence une dynamique forestière effective. Même si la composition en espèces ne varie pas de façon significative, il est évident que le nombre d'arbre diminue globalement.

Fréquence, dominance et variation de la composition des espèces sur les trois années d'étude

Les espèces les plus fréquentes sont, dans l'ordre, *Fagus sylvatica*, *Acer campestre*, *Crataegus monogyna*, *Fraxinus excelsior*, *Quercus robur x petraea*, *Corylus avellana*, *Abies alba*, *Alnus glutinosa*.

Depuis le début de l'étude, le nombre de plantes total a significativement changé. Entre 1991 et 1997 la population d'arbre diminue significativement. Entre 1997 et 2003, le nombre d'arbres présents diminue aussi, mais la tendance n'est alors pas significative. Ce phénomène s'observe surtout chez *Fagus sylvatica* et *Cornus mas*. Contrairement, la population d'*Ilex aquifolium* ne présente pas de morts, et augmente même légèrement, probablement à cause de l'assombrissement du sous-bois suite à la croissance de la canopée. Cette situation n'étant pas favorable aux autres espèces, *I. aquifolium*, l'espèce la plus sciaphile, profite de l'espace alors laissé libre (idéalement il aurait fallu mesurer l'assombrissement effectif du sous-bois). La plupart des Hêtres morts étaient distribués dans les couches les plus éloignées du lac. Ceci peut être dû aux variations de la nappe phréatique ; en effet, si celle-ci diminue, les racines des arbres éloignés du lac ne peuvent plus profiter de son eau. D'autres *Fagus*, plus près du lac et donc plus vulnérables aux intempéries car non protégés par le sous-bois, ont été déracinés lors du passage de l'ouragan Lothar en 1999.

La fréquence générale totale de présence des espèces reste stable entre les trois études. Cependant, la fréquence d'*A. campestre*, *C. betulus*, *C. monogyna*, *F. excelsior*, *I. aquifolium* augmente, alors que celle de *C. mas*, *P. avium*, *Q. robur x petraea* diminue. Les populations d'*A. glutinosa*, *F. sylvatica* et *C. avellana* demeurent constantes.

Les espèces les plus fréquentes de ce bois appartiennent aussi bien au groupe des pionniers (*A. glutinosa*), des post-pionniers, opportunistes ou pas (*A. campestre*, *F. excelsior*, *Q. robur x petraea*, *C. avellana*), que des dryades (*F. sylvaticus*, *A. alba*). *C. monogyna* est une espèce de milieux stables en lisière. On en aperçoit effectivement un grand nombre sur les berges du lac, qui peuvent jouer le rôle de lisière. Cependant, les espèces post-pionnières et dryades sont les espèces proportionnellement dominantes.

De plus, la diminution générale du nombre d'arbres (beaucoup de morts chez les arbres à petits diamètres) accompagne une augmentation de la croissance du tronc. La densité en arbre de la forêt semble alors diminuer, en sélectionnant une partie des jeunes pousses seulement, par compétition pour la lumière (*F. sylvatica* en sort souvent vainqueur). Ceux-ci, arrivés à une certaine taille, ont moins de risques de mourir. Les arbres ayant atteint de grandes tailles meurent probablement à cause de maladies, perturbations environnementales, ou tout simplement de vieillesse. Des erreurs de mesures concernant le déclin du nombre général d'arbres sont à minimiser, puisque la tendance se répète dans les laps de temps de 1991-1997 et 1997-2003, bien que plus important pendant le premier laps.

Laissée à elle même, la forêt tend vers la hêtraie.

Croissance et inclinaison des arbres

Pour ce qui concerne la croissance du diamètre des troncs, il n'y a pas de différence significative entre les périodes de 1991-1997 et de 1997-2003. Cependant, il faut noter que la deuxième période de croissance a été la plus forte. Ce phénomène se remarque de façon générale, mais ne se produit pas chez toutes les espèces.

On observe donc une augmentation de la croissance en diamètre chez *A. campestre*, *C. mas*, *C. avellana*, *C. monogyna*, *F. sylvatica*, *F. excelsior*, *P. abies* et *Q. robur x petraea* entre les deux périodes.

Cette croissance est particulièrement élevée pour *P. tremula*, *U. campestre* et *Salix caprea*. Une grande augmentation entre les deux périodes est visible en ce qui concerne *F. excelsior*, *C. avellana*, *C. mas*, *C. monogyna*, comportant beaucoup d'arbres de petit diamètre, à beaucoup de troncs, situés sur les rives. Ils ont donc accès à l'eau en profusion, ce qui pourrait favoriser leur croissance. *P. tremula*, *S. aria*, *P. spinosa*, *P. avium* et *C. betulus* semblent par contre avoir eu une diminution de leur croissance.

La croissance plus importante dans la deuxième partie de l'étude peut être due au comportement aléatoire du climat, éventuellement au réchauffement global, ou à une éventuelle augmentation d'azote dans l'atmosphère, ce qui favoriserait la croissance des espèces nitrophiles.

De même, de par l'évolution de la forêt, la mort de certains arbres a libéré de l'espace, ce qui permet aux autres arbres alentours de s'étendre alors. Une autre hypothèse que nous pourrions émettre est que, lorsque les arbres ont fini leur croissance en hauteur, ils investissent plus dans la croissance de leur tronc.

L'inclinaison des troncs est, pour la plupart des plantes, de classe 2. *A. alba*, de par sa nature, a cependant une nette prépondérance de troncs parfaitement droits.

Pour ce qui concerne le changement de classe d'une année à l'autre, on remarque une diminution significative du nombre de changements de classe entre les deux périodes, ceci pour toutes les espèces. Ce sont surtout *F. sylvatica*, *Q. robur x petrae* et *A. campestre* qui ont changé de classe. Ces passages concernent en plus grande partie une transition de la classe 3 à 4, 4 à 5 et 1 à 2. On remarque une étrange augmentation du nombre de passages des classes 2 à 4, 2 à 5 et 3 à 5 pour la deuxième période et concernant surtout *F. sylvatica*.

Suite à notre étude, il faut mentionner que le facteur « inclinaison » est assez subjectif. En effet, chaque personne a sa propre vision sur cette mesure, ce qui peut induire des erreurs dans les résultats. Nous avons remarqué ce phénomène en comparant notre estimation de l'inclinaison avec celle des études précédentes, et avons effectivement observé des désaccords.

Un effet du lac sur l'inclinaison est visible, car il est profitable aux arbres de croître en direction de la lumière, ou alors d'incliner sa couronne vers elle, afin d'en profiter d'avantage. On remarque donc une tendance à l'augmentation de l'inclinaison en se rapprochant du lac, même si elle n'est pas significative. Inversement, plus on s'éloigne du lac et plus les arbres ont tendance à être droits.

Lors de l'évolution de l'atterrissement du lac, ce ne sont pas les branches se penchant sur lui qui refermeront la trouée, mais plutôt l'apparition de nouvelles plantes sur l'espace occupé maintenant par le lac.

Sans observer de grandes variations d'une année à l'autre, on remarque pourtant une diminution des classes les plus petites en faveur des classes plus élevées. Ce phénomène s'accroît d'année en année, on peut donc penser que l'augmentation de l'inclinaison va se

poursuivre jusqu'à ce qu'un grand nombre d'arbres trop penchés meurent et s'affaissent dans le lac, jouant alors un rôle important dans son atterrissement.

Certaines zones entourant le lac subissent des dynamiques de régénération quelque peu différentes des zones principales. Ceci par l'éventuelle présence de microclimats réagissant de manière indépendante. Effectivement, lors de l'étude des relevés de végétation, on a pu constater que certains carrés (surtout celui se trouvant à l'extrémité ouest) sont plus pauvres en plantules que d'autres, ce qui indique une régénération plus faible. Cette abondance en nouvelles pousses peut être influencée par la pente, l'ensoleillement ou l'inondation périodique.

Toutes ces observations pourraient laisser penser que la parcelle de forêt incluant le Lac Vert atteindra bientôt un état stationnaire de climax, à moins qu'une perturbation importante n'ait lieu dans un futur relativement proche. En effet, les espèces dryades occupent la majeure partie de l'espace, et leur proportion ne semble pas diminuer. La proportion d'espèces pionnières ou post-pionnières n'augmente pas significativement, au mieux se stabilise. On constate que les troncs aux plus grands diamètres sont ceux de *Abies alba* et de *Fagus sylvatica*, deux espèces dryades. Les espèces, avec un cycle de génération plus long, influencent la dynamique forestière, qui devient alors plus lente. La tendance à la diminution de *Abies alba*, espèce fortement dryade, peut être un signe d'une faible compétitivité par rapport aux Hêtres.

L'hypothèse du rajeunissement suite à la mort de vieux arbres est ici peu plausible, car les espèces pionnières sont loin d'être dominantes. Les espaces libérés par la mort de gros arbres seront plutôt refermés par les couronnes avoisinantes que par de jeunes plantules, comme le proposent Lemme & al. (1982). De même, une espèce pionnière par excellence, *A. glutinosa*, est en déclin. Ceci est peut-être une conséquence de l'évolution de la nappe phréatique. Les associations humides, dominées par *A. glutinosa*, en contact avec la nappe, seraient alors devenues plus sèches, le Frêne serait donc en train de remplacer l'Aulne.

La question qui pourrait se poser maintenant est de savoir si la tendance observée au Lac Vert se généralise aux forêts alentour. D'après le travail de Anne-Marie Haller (1995), pendant la période de 1975 à 1995, la strate arbustive a fortement diminué suite à un manque d'ensoleillement, ce qui se retrouve également dans nos observations.

4.2) Evolution de l'atterrissement par l'avancée de la ceinture des saules

La situation des saules, qui se trouvent donc dans le lac, est due au fait que le niveau du lac était proche de son maximum, et l'eau a donc dépassé la ceinture formée précédemment par les saules. Cependant, cette situation doit être plus ou moins récente, car comme expliqué précédemment les saules ne supportent pas l'immersion de leur tronc trop longtemps.

Evolution éventuelle de la ceinture des saules

De par la présence d'une prairie de tourradons au milieu des saules, on pourrait faire l'hypothèse que les saules réussiraient dans quelques années, par appui sur les tourradons, à envahir l'entier du lac. Cependant, connaissant l'écologie des saules, ceci semble difficile, car, comme le niveau d'eau n'est pas négligeable entre les tourradons, il est peu probable que les saules s'avancent encore davantage dans le lac, leurs racines ne pouvant se développer dans l'eau. Leurs branches ne pourront pas s'allonger indéfiniment au-dessus du lac.

Il serait aussi possible que les saules meurent, suite à une trop grande période d'immersion de leur tronc. Il semblerait que ceux-ci soient déjà dans l'eau depuis un certain temps.

Les saules faisant partie des espèces pionnières, ils devraient, suite à l'évolution de la dynamique du Lac Vert, se faire remplacer par d'autres espèces, surtout si le niveau effectif d'eau diminue suite à l'accumulation de matière organique au fond du lac. L'aulne noir, s'il arrive à prendre sa place, pourrait être un bon candidat. Cependant, cette espèce est plus exigeante que le saule en matière de colonisation, et aurait besoin d'espaces libres plus importants.

Comme nous verrons dans la discussion sur les relevés de végétation qui suit, un *Alnus glutinosa* a été découvert en bordure du lac. Du point de vue de la quantité, aussi bien dans la strate herbacée qu'arbustive, les différentes espèces d'Erables, du groupe des post-pionnières, ont de bonnes chances de pouvoir augmenter leur densité dans les années à venir.

Avec le temps, et sans un changement aléatoire important, cette zone est destinée à évoluer.

L'hypothèse la plus plausible est un développement et une stabilisation du lieu en Aulnaie ; en effet si d'un côté les Saules ne se régénèrent pas, que de l'autre les Hêtres et les Erables ne pourront pas s'implanter sur le milieu qui est trop humide, car sous influence directe de la nappe, les Aulnes sont alors les colonisateurs les plus probables.

La zone du Lac Vert se développera donc probablement en Aulnaie, tout comme une aire de son environnement proche. En effet, à une centaine de mètres à l'ouest du Lac Vert se trouve une Aulnaie, inondée périodiquement. Ce milieu a probablement suivi le même chemin évolutif que pourrait prendre le lac. Dans les deux milieux, comme la nappe phréatique est et sera probablement toujours présente, et de ce fait fluctuante, elle y exercera donc toujours son influence.

4.3) Relevés des six carrés de végétation

Comme dit précédemment, les carrés ne contiennent pas exactement les mêmes espèces en 1991 et en 2003, que ce soit dans la strate herbacée, arbustives ou arborée.

La première difficulté rencontrée fut de retracer le plus exactement possible les mêmes carrés de végétation qu'étudiés en 1991. Ceci a pu être fait grâce à la carte du lac réalisée à la main en cette même année ; les principaux arbres nous permettant de situer les carrés y étaient représentés.

Remarques préliminaires

En comparant les indices d'abondance des relevés en 1991 et en 2003, on constate de plus ou moins grandes variations, ceci pour toutes les strates, tous les carrés et toutes les espèces. Il faut savoir que l'indice d'abondance de Braun-Blanquet (1964) utilisé est peu exact. C'est une estimation du recouvrement végétal pour chaque strate, dans notre cas d'une surface de 10 x 10 mètres. De ce fait, chaque personne ayant son propre mode d'observation, il est peu probable que deux individus évaluent ce recouvrement exactement de la même manière. De plus, certains végétaux peuvent ne pas être placés dans la bonne strate, leur taille estimée étant à la limite entre deux niveaux.

Une autre inexactitude sur l'estimation de l'abondance est survenue. En effet, nous avons d'abord mal interprété la manière d'estimer cette abondance, en négligeant les espaces démunis de végétation dans notre analyse (nous avons estimé l'abondance de chaque espèce uniquement par rapport au reste de la végétation présente). Ayant décelé cette erreur, nous avons pu modifier les indices afin d'obtenir des valeurs plus précises (nous avons, pour

chaque quadras, compté et noté exactement le nombre de pousses de chaque espèce). Suite à toutes ces inexactitudes, les informations concernant l'évolution de ces parcelles restent approximatives, ne pouvant alors servir de base solide à l'étude de la dynamique de la végétation.

Dynamique des strates

En ce qui concerne la strate herbacée, celle-ci subit une très forte dynamique. En effet, de nombreuses herbes apparaissent et disparaissent au fil du temps.

La plupart des espèces rares ou peu présentes en 1991 ont disparu (*Acer pseudoplatanus*, *Acer opalus*, *Ajuga reptans*, *Cephalanthera damasonium*, *Coronilla emerus*, *Euphorbia amygdaloides*, *Lamiasrum galeobdolon*, *Poa nemoralis*). Il faut noter qu'*Acer opalus*, bien que moyennement présent en 1991, ne s'est pas retrouvé en 2003. Seules quelques unes des espèces rares, certainement celles les mieux adaptées au milieu, telles que *Acer pseudoplatanus*, *Carex sylvatica*, *Fraxinus exelsior* ont accru leur distribution.

Les espèces d'abondance moyenne et forte en 1991 sont restées plus ou moins stables, telles que *Fagus sylvatica*, *Hedera helix*, *Ilex aquifolium* et *Rosa canina*. Aucune n'a montré une expansion ou une régression importante.

Pour de ce qui est des nouvelles espèces, pour l'instant toutes rares, telles que *Alnus glutinosa*, *Crataegus oxyacanta*, *Salix cinerea*, *Sorbus alba*, *Urtica dioica*, *Viburnum lantana*, *Viburnum opulus*, *Vinca minor*, celles-ci peuvent augmenter leur distribution, ou disparaître dans les années à venir. Cela dépend de leur capacité de colonisation et d'adaptation à leur nouveau milieu.

Par contre, en ce qui concerne les strates arbustive et arborée, les changements d'abondances sont plus étonnants. En effet, il n'est pas surprenant de voir des herbacées apparaître ou disparaître plus ou moins subitement, mais ce phénomène peut difficilement se produire chez les arbres ou arbustes. Sauf, bien évidemment, si l'un de ceux-ci meurt, il disparaît alors. C'est la principale hypothèse pour expliquer la disparition des espèces telles que *Carpinus betulus*, *Cornus mas*, *Lonicera xylosteum*, *Fraxinus exelsior*, *Viburnum lantana* de la strate arbustive, ou *Carpinus betulus*, *Cornus mas*, *Crataegus monogyna*, *Prunus mahaleb* de la strate arborée ; *Acer opalus* constitue un cas à part, qui sera discuté plus loin. Ces arbres morts, bien que nombreux, sont néanmoins crédibles, beaucoup d'arbres ayant été signalés morts dans le relevé de la ceinture des arbres entre 1991 et 2003. De plus, certaines espèces de la strate herbacée ont pu passer dans la strate arbustive, et certaines espèces de la strate arbustive dans la strate arborée.

Seules deux espèces, dans la strate arborée, sont apparues, soit *Acer campestre* et *Ulmus minor*. Nous n'avons pas d'explication formelle pour l'apparition d'*Ulmus minor*. Soit il n'a pas été repéré en 1991, le carré de relevé n'ayant peut-être pas été mis exactement au même endroit, ou alors simplement omis. Ou encore, nous l'aurions éventuellement confondu avec une autre espèce lors des observations de cette année.

L'abondance, même la simple présence d'*Acer opalus*, reste à discuter. En effet, dans les carrés de relevés de 1991, il est présent dans toutes les strates, et particulièrement abondant dans la strate arborée. Cependant, il est étonnamment absent dans le relevé de la ceinture des arbres de la même année, ainsi que de 1997, où seul *Acer campestre* est cité, celui-ci recouvrant pourtant tous les carrés de végétation... En 1991, il a dû y avoir une grosse erreur dans la détermination ou dans le traitement des données. *Acer opalus* et *Acer campestre* ont probablement été confondus, *A. opalus* n'étant jamais cité dans le relevé de la ceinture des arbres. Lors de l'étude de 2003, nous avons seulement noté la présence d'*A. campestre* lors de

ce relevé, car, comme nous avons commencé le travail avant que le feuillage n'apparaisse, nous avons fait confiance aux données précédentes en ce qui concerne la détermination. C'est pourquoi nous pensions que tous les *Acer* étaient *campestre*. Suite à cette erreur, nous avons également pris les *A. opalus* des carrés de relevé pour des *A. campestre* ; ceci explique l'absence d'*A. opalus* des carrés 2003.

Cependant, suite à une petite vérification des carrés 3 et 5, les *Acer* des strates arborée et arbustive sont des *Acer campestre*. Il y a donc eu erreur de détermination, en ce qui concerne les carrés 3 et 5 en tous cas, lors de la première détermination. Il est possible que cette erreur ait été étendue aux autres carrés.

Cependant, par la suite, Florian Meier, gardien du Bois de Chênes, nous a confirmé la présence des deux espèces autour du Lac Vert.

Comparaison entre carrés

Les six carrés étudiés sont, dans l'ensemble, assez similaires. Ils possèdent le même type de végétation, même si celle-ci est plus ou moins abondante. Cependant les espèces les peuplant diffèrent parfois, probablement à cause de la situation des carrés : distance au lac, pente, exposition.

Par exemple, *Abies alba* est absent des carrés 4 et 5, où l'on trouve par contre un grand nombre de *Ilex aquifolium*. Ces carrés se situent sur le côté le plus pentu et le plus ombragé du lac. Cela démontre une différence de sensibilité à la lumière, éventuellement à la pente, de ces espèces.

Dans la plupart des carrés, la disparition d'arbres suite à leur mort est plus fréquente que l'apparition de jeunes arbres.

Le carré 2 occupe une place bien particulière ; il se situe dans la zone de variation du niveau de l'eau, donc souvent inondée. Il faut relever que, cette année (2003), le niveau du lac est particulièrement haut. Ce carré est de ce fait très pauvre en végétation.

Remarques générales

De manière générale, on peut constater que le sous-bois de la hêtraie à pulmonaire entourant le Lac Vert est relativement pauvre. Les espèces, peu nombreuses, sont parsemées çà et là. Le sol est recouvert d'une couche importante de débris végétaux. Quelques *Abies alba* buissonnants sont en dormance, attendant une percée pour pouvoir se développer. Les *Ilex aquifolium*, bien présents autour du lac, se rencontrent en plus grand nombre du côté le plus ombragé, ce qui laisse supposer que cette espèce préfère l'ombre pour se développer. *Fraxinus excelsior*, espèce adaptée aux milieux humides, pousse de préférence très près de l'eau. Par contre, *Alnus glutinosa*, espèce pionnière des milieux humides, est étrangement rare. De plus, aucune augmentation de sa présence n'a été observée depuis 1991. Ceci est peut-être dû à la présence de rives fortement pentues, à un taux d'humidité trop faible, ou à un espace disponible trop restreint.

5) Conclusion

Lors de cette étude diachronique de la dynamique de la végétation du Lac Vert, nous avons pu remarquer la puissance d'outils géographiques tels que les SIG, très utilisés de nos jours dans les études botaniques. Grâce à ce programme, plusieurs étapes et observations ont pu être faites, qui n'auraient certainement pas pu apparaître en utilisant d'autres méthodes plus traditionnelles (exemple des études de 1991 et de 1997, qui n'ont pas pu situer géographiquement les objets étudiés au Lac Vert dans le système de coordonnées suisse). La superposition de couches SIG, notamment les saules des différentes années, nous a réellement permis de visualiser l'évolution de la végétation. De même, la simple possibilité de visualiser les données offre beaucoup de possibilités de découvertes intéressantes, et permet une plus grande compréhension des phénomènes. L'analyse plus fine des couches créées aurait pu amener à bien d'autres détails intéressants, qui n'ont malheureusement pas pu être discutés dans le cadre de ce travail.

Il faut rajouter que, bien que chaque étape de cette étude diachronique ait certainement été conduite avec soin, des erreurs sur certaines mesures ont pu être commises. Par là nous pensons particulièrement à des mesures assez subjectives, telle l'inclinaison des arbres. De même, la mesure du périmètre des troncs n'a pas toujours été effectuée de la même manière. C'est pourquoi une partie de nos résultats, corrélée avec ces différentes mesures, sont peu fiables. Nous pouvons donc, suite à ce travail, tirer des conclusions générales sur l'évolution de la végétation aux alentours du Lac Vert, sans pour autant assimiler nos résultats à la réalité. Il faudrait, pour atteindre des résultats plus fiables, qu'une plus grande rigueur dans la récolte des données soit introduite dans les études des années à venir.

De même, il est tout simplement difficile de juger de l'état d'évolution d'une forêt, de par le grand nombre de phénomènes plus ou moins imprévisibles qui s'y déroulent. Nos idées émises lors de la discussion sur la situation forestière dans le périmètre du Lac Vert sont donc à considérer comme des hypothèses.

6) Bibliographie

Braun-Blanquet J. (1964). *Pflanzensoziologie*, 3ème éd. Springer, Wien, New York: 865p.

Haller, A-M. (1974). *Causes et orientation des changements de la végétation du Bois de Chênes depuis sa cartographie en 1974*, Travail de diplôme, Université de Lausanne, ETH de Zurich

Laydu, N., Peter, C. (1992). *Base pour une étude diachronique du Lac Vert (Bois de Chênes, Vaud)*, Université de Lausanne, Lausanne.

Lemee, G., Faille, A. & Pontaville, J-Y. (1986). *Dynamique de cicatrization des ouvertures naturelles dans des réserves biologiques de la forêt de Fontainebleau (environs de Paris)*. In : Fanta, J. (ed.) *Forest Dynamics Research in Western and Central Europe. Proceeding of the Workshop held 17-20 September 1985 in Wageningen, The Netherlands*. IUFRO- subject group SI 01_00 Ecosystems. Pudoc, Wageningen, pp. 170-183.

Oerli, B., Auderset JOYE, D., Castella, E., Juge, R. & Lachavanne, J-B. (2000). *Diversité biologique et typologie écologique des étangs et petits lacs de Suisse*, Laboratoire d'Ecologie et de Biologie Aquatique de l'Université de Genève, Genève

Rameau, J-C. (2001), « *Dynamique des écosystèmes forestiers* » dans *Dynamique des écosystèmes terrestres*, La Jaune et la Rouge ([http://www.xenvironnement.org/Jaune Rouge](http://www.xenvironnement.org/Jaune_Rouge))

7) Remerciements

Tout d'abord, nos remerciements s'adressent à Pascal Vittoz, premier assistant, qui nous a offert l'opportunité d'entreprendre ce travail sur la dynamique du Lac Vert. Tout en nous soutenant au long de notre travail, il nous a laissées libres dans le choix de nos analyses.

Nous remercions également toutes les personnes nous ayant aidé d'une manière ou d'une autre dans l'élaboration de notre travail :

- Florian Meier, gardien du Bois de Chênes, pour son aide sur le terrain, ses réponses à nos questions, ainsi que pour nous avoir offert son hospitalité dans les alentours de sa ferme.
- Nathalie Laydu, qui étudia la dynamique du Lac vert en 1991, pour nous avoir consacré une partie de son temps, en nous indiquant le chemin à prendre pour nos mesures.
- Thomas Czák, informaticien, et Christophe Randin, assistant-doctorant, pour leur aide et leur grande patience en nous montrant et remontrant comment fonctionnent les programmes SIG et les GPS.
- Raymond Gruaz, premier préparateur, qui s'est arrangé, à chaque fois que nous en avions besoin, pour nous trouver un moyen de transport pour nous rendre sur notre lieu de travail.
- Thierry Renaud et Simone Peverelli, assistants-doctorants, qui nous ont dépanné suite à quelques problèmes concernant les SIG et les statistiques.
- L'IBSG, pour le prêt de matériel.

Enfin, nous remercions toutes les autres personnes que nous aurions omises sans le vouloir de cette liste.