Grande Cariçaie

Gestion des zones naturelles
de la rive sud du Lac de Neuchâtel

4.3

Rapport interne

Effet de la fauche sur la végétation.
Etude dans la zone témoin de Cheyres.

Comparaison zone-témoin-zone fauchée.

Auteur :

M. Ménetrey
Stagiaire GEG
Grande Cariçaie
Champ-Pittet
1400 Yverdon-les-Bains

décembre 2001

1. INTRODUCTION 1

1.1 GENERALITES 1
1.2 ENTRETIEN DES MARAIS 1
1.3 BUTS DU TRAVAIL 1

2. MATERIEL ET METHODE 2

2.1 DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE 2
2.2 METHODE DE TRAVAIL 3
2.2.1 MESURE DE LA BIODIVERSITE 3
2.2.2 METHODE D'ANALYSES STATISTIQUES 4
2.2.4 MESURE DE LA TOPOGRAPHIE 5

3. RESULTATS 5

3.1 BIODIVERSITE 5
3.2 TOPOGRAPHIE 13

DISCUSSION 14

SYNTHESE ET PERSPECTIVES 17

BIBLIOGRAPHIE 18

1. Introduction

1.1 Généralités

La rive sud du lac de Neuchâtel s'est profondément modifiée suite à la première correction des eaux du Jura (1ère CEJ), survenue entre 1869 et 1888. A cette époque, l'abaissement du niveau du lac d'environ 2,70 mètres permit la mise en culture des marais du Seeland, de la Broye et de la plaine de l'Orbe. Simultanément, l'exondation d'un haut-fond bordant le lac dans sa partie sud-est favorisa l'installation de zones marécageuses. Par la suite, d'autres travaux de correction furent entrepris entre 1965 et 1973 dans le but de diminuer l'amplitude des variations annuelles du niveau du lac (2ème CEJ). Aujourd'hui encore, des facteurs naturels, tels que l'érosion et l'embrousaillement, ou anthropogènes (développement touristique et agricole, etc...) modifient l'aspect de la rive.

1.2 Entretien des marais

Les marais de la Grande Cariçaie produisent de 5 à 15 tonnes de végétation par hectare et par an (Rollier, 1993). Plusieurs auteurs ont avancé l'hypothèse que le dépôt de litière au sol provoquerait un atterrissement[1] de ce dernier. L'accumulation de cette litière élèverait peu à peu le niveau du sol, le soustrayant ainsi aux influences des eaux du lac et des nappes, permettant l'établissement de nouvelles espèces (Buttler, 1987). D'après Roulier (1980), le phénomène d'atterrissement se remarque sur le terrain par 1) l'avance des roselières intérieures dans les étangs, 2) l'avance des buissons du manteau de la forêt riveraine sur les prairies à laîches et d'une manière moins évidente 3) par un déplacement des limites des associations végétales. De manière générale, assurément deux phénomènes interviennent le long de la rive sud du lac : l'érosion de la rive et l'embrousaillement du marais. L'élévation du niveau du sol par accumulation de litières et son rôle dans les 3 phénomènes cités restent à vérifier. Cependant, le marais montre une tendance à l'assèchement et évolue petit à petit vers la forêt. La deuxième correction des eaux du Jura semble être la principale cause de cet assèchement (Le Nédic, 1994). Les mesures de gestion appliquées à la rive sud visent essentiellement à freiner cette dynamique voire à ramener le milieu à un stade antérieur. L'essentiel de l'entretien consiste donc à faucher régulièrement le marais afin de diminuer le phénomène d'embrousaillement. Les zones sont fauchées selon un rythme biennal ou triennal entre septembre et février et selon une mosaïque. Ce rythme de fauchage et cette période permettent de diminuer l'impact sur le cycle biologique des espèces.

Un suivi scientifique des mesures de gestion est en cours. Il concerne des carrés permanents. disposés par couple dans des secteurs fauchés et des zones témoins (zones non fauchées) sur diverses associations végétales (Le Nédic, en prép.).

1.3 Buts du travail

Le principal but de cette étude est de qualifier et quantifier l'effet du fauchage sur végétation. Elle va également tenter de mesurer les différences d'atterrissement qui devrait apparaître entre des zones fauchées et non fauchées.

L'effet du fauchage sur la végétation à été maintes fois abordé par le biais de carrés permanents (Roulier, 1980 ; Moret, 1986 ; Le Nédic, en prép.). L'avantage de cette étude est de disposer d'une zone fauchée et non fauchée côte à côte, assurant l'homogénéité des zones

[1] Le terme d'atterrissement est à prendre avec précaution puisqu'au sens strict du terme il signifie «amas de terres, de sables apportés par les eaux » (Larousse, 1985).

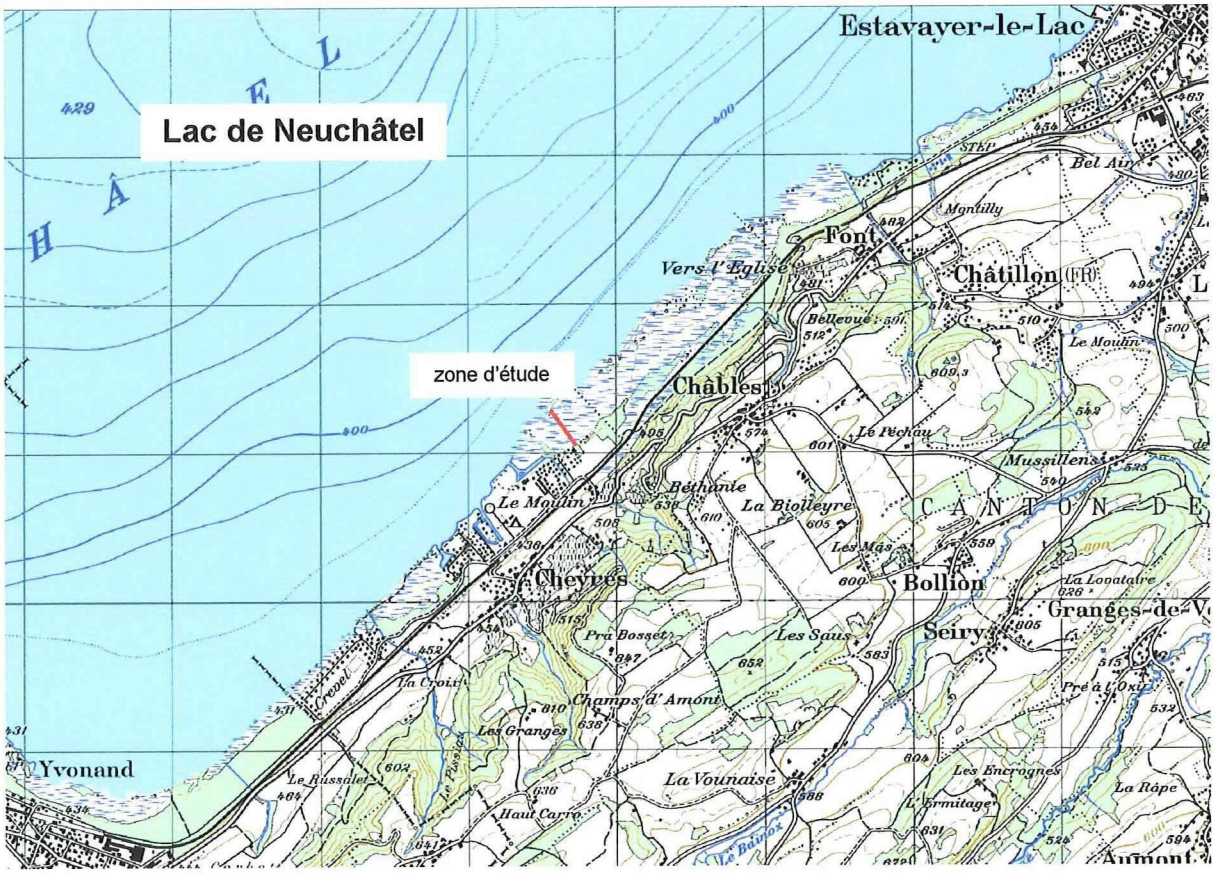
avant les fauches et de minimiser les variations locales du terrain. Cette nouvelle disposition devrait apporter un éclairage nouveau par rapport à la méthode des carrés permanents.

2. Matériel et méthode

2.1 Description de la zone d'étude

La réserve de Cheyres se situe entre Cheyres et Font, à 3 km au sud-ouest d'Estavayer-le-Lac, vers 430 m d'altitude. Délimitée par le lac et par la ligne de chemin de fer, elle comprend une bande de terrain d'environ trois km de long sur 600 m de large, englobant une beine lacustre, des marais non boisés, des forêts riveraines et des forêts de pente. La superficie de la réserve atteint environ 2 km^2. Depuis une vingtaine d'années, la partie est du marais non boisé est soumise à des fauches triennales. Auparavant, la réserve ne subissait aucune mesure de gestion.

La réserve de Cheyres est un site assez particulier puisqu'il est soumis à deux régimes hydriques très différents (OFEFP, 1995). La partie est, située à une altitude dépassant 430 m et comprenant une importante dune, est indépendante du niveau du lac. Son alimentation est essentiellement assurée par les ruissellements de la falaise. La partie ouest, située à une altitude inférieure à 430 m et comprenant une dune également inférieure à 430 m, subit une influence modérée du lac. Le site de Cheyres est donc, de part sa situation altitudinale, un cas particulier de marais et ne représente pas l'ensemble des marais de la rive sud du lac de Neuchâtel.



Situation générale de la zone d'étude située à l'ouest de la réserve de Cheyres.
Echelle: 1 : 50 000

2.2 Méthode de travail

2.2.1 Mesure de la biodiversité

La zone d'étude se situe au sein du marais non boisé. Elle traverse, du lac à la falaise, les associations végétales suivantes (tirées de la carte de végétation, Clerc (19 ? ?)) : prairie à laîche faux-panic, prairie à marisque, prairie à marisque et laîche faux-panic, prairie à marisque et laîche élevée, prairie à marisque, roselière à massettes à feuilles étroites, et prairie à marisque. Les parcelles d'étude sont localisées de part et d'autre de la limite de fauche. Cette disposition permet de minimiser les variations locales du terrain (degré d'immersion, pente, pédologie, ...) de part et d'autre de cette limite. L'effet de la fauche sur la diversité floristique devrait donc être le seul facteur de variation entre ces deux transects.

Les mesures de gestion appliquées à la réserve de Cheyres concernent la partie est du marais non boisé: cette zone a été fauchée huit fois entre 1983 et 1999 (en 1983-1984, 1986-1987, 1989-1990, 1992-1993, 1993-1994, 1995-1996, 1996-1997, 1998-1999). La partie ouest du marais ne subit aucune gestion. De 1984 à 1999, une clôture délimitait strictement les deux zones.

De part et d'autre de la ligne de fauche, nous avons délimité deux bandes de 2 m de large et de longueur totale égale à la zone de marais non boisé (~250 m). Les bandes sont ensuite découpées en aires-échantillons de 2 m de large sur approximativement 10 m de long définissant les surfaces végétales étudiées. Deux relevés, situés en bordure de zone du côté lac et falaise (relevés n°0a resp. 25a) présentes des incertitudes quand à la fauche. La largueur de 2 mètre est choisie afin d'englober une zone tampon centrale due à la limite de fauche, pour prendre en compte le sentier situé dans la zone fauchée (sentier des ornithologues), de même que les éventuelles traces laissées par les chenilles de la machine de fauche. A l'intérieur de chaque aire-échantillon, nous avons effectué un relevé exhaustif de la végétation en notant les indices de dominance-diversité définis comme suit:

1 = 1 individu, recouvrement très faible
2 = Quelques individus, recouvrant moins de 1 % de la surface
3 = Individus assez abondants, recouvrant 1 à 5 % de la surface
4 = Nombre d'individus quelconque, recouvrant 5 à 25 % de la surface
5 = Nombre d'individus quelconque, recouvrant 25 à 50 % de la surface
6 = Nombre d'individus quelconque, recouvrant 50 à 75 % de la surface
7 = Nombre d'individus quelconque, recouvrant 75 à 100 % de la surface

Les espèces végétales ont été déterminées à l'aide de l'ouvrage de AESCHIMANN et BURDET (1994) : Flore de la Suisse, le nouveau Binz et dans les cas difficiles, avec l'ouvrage de HESS, LANDOLT et HIRZEL (1967, 1970, 1972) : Flora der Schweiz. durant l'été 2001

Il a fallu approximativement 14 jours pour effectuer le travail sur le terrain tandis que les analyses et la rédaction ont globalement été réalisées en trois semaines. L'ensemble du travail a été supervisé par Christian Clerc (GEG) qui a consacré une semaine au travail de terrain et une autre pour le traitement des résultats, la lecture du travail et les corrections.

Ces résultats vont permettre de comparer le nombre d'espèces présentes en zone fauchée et non fauchée. Ils vont également permettre d'effectuer des mesures plus fines. Premièrement, en comparant le nombre d'espèces différentielles présentes de part et d'autre de la ligne de fauche, deuxièmement, en comparant la distribution de certains groupes dans les différentes zones. Ces groupes spécifiques sont les espèces rares, les espèces de faciès, les espèces hygrophiles et les espèces ligneuses.

Localisation des transects au sein de la réserve de Cheyres. Les relevés en zone fauchée sont notés à l'aide de la lettre a, en zone témoin par la lettre b. Les relevés de 0 à 25 sont orientés en partant du lac en direction de la falaise. Echelle approximative: 1 : 2000

2.2.2 Méthode d'analyses statistiques

Comme le nombre d'espèce n'est pas un bon indice de la diversité, nous avons utilisé un indice qui tient compte à la fois du nombre d'espèces et de leur distribution d'abondance. Cet indice, appelé indice de Shannon-Weaver, est défini comme suit :

$$H' = -\sum_{s=1}^{s} \frac{n_s}{N} \ln \frac{n_s}{N}$$

Avec n : pourcentage de recouvrement d'une espèce pour un relevé
S : nombre d'espèces
N : pourcentage de recouvrement total pour un relevé.

L'indice de diversité est calculé pour chacun des aires-échantillons en remplaçant les indices de dominance-diversité par des pourcentages de recouvrement. 1 = 0.01 ; 2 = 0.5 ; 3 = 3.5 ; 4 = 15.5 ; 5 = 38 ; 6 = 63 ; 7= 83.

A partir de là, nous avons calculé un nombre de Hill (*N1*) plus facile à interpréter écologiquement. Ce nombre de Hill représente le nombre effectif d'espèces ; il varie de 1 (diversité nulle) à S (diversité max., S = nombre total d'espèces).

$$N1 = e^{H'}$$

Afin de savoir s'il existe une différence significative entre les diversités floristiques de la zone fauchée et non fauchée, un test de t apparié est effectué. Ce test utilise les indices de diversité de Hill. Les tests sont effectués à l'aide du logiciel SPSS 9.0.

2.2.4 Mesure de la topographie

Afin de comparer le niveau relatif du sol entre la zone fauchée et la zone non fauchée nous avons utilisé un dispositif expérimental comprenant une barre graduée de plus de 2 mètre, un niveau à huile, trois piquets et un double mètre. Ce dispositif est présenté en figure 3. Le niveau du sol a été mesuré tous les 20 centimètres depuis le centre en direction de la zone fauchée et non fauchée. Ce dispositif, placé au milieu de la surface du relevé, a été répété tout au long du transect.

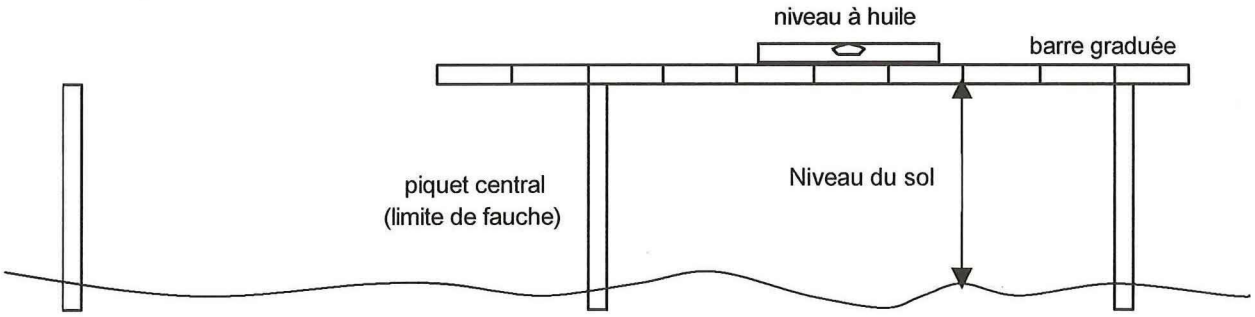


Figure 3 : dispositif expérimental permettant la mesure du niveau du sol en zone fauchée et non fauchée.

Afin de savoir s'il existe une différence significative du niveau relatif du sol entre la zone fauchée et non fauchée, nous effectuons un test de t apparié sur les différences de niveau.

3. Résultats

3.1 Biodiversité

L'étude réalisée dans la réserve de Cheyres a fourni une liste des espèces rencontrée le long de la limite de fauche. Cette liste est présentée en annexe I. La zone étudiée abrite un total de 56 espèces. La liste des espèces rencontrées par aires-échantillons ainsi que leur indice de dominance-diversité est présentée dans le tableau en annexe II.
Ces données nous permettent d'effectuer plusieurs analyses mesurant la biodiversité présente dans chacune des zones et de les comparer.

3.1.1
La première analyse consiste à comparer le nombre d'espèces présentes dans la zone fauchée versus la zone non fauchée tout au long de la limite de fauche. Les résultats sont présentés en figure 4. En moyenne, le nombre d'espèce par relevé s'élève à 17.4 pour la zone fauchée et à 12.8 pour la zone non fauchée. Le nombre total d'espèce par zone diffère lui aussi puisqu'en

zone fauchée on relève 51 espèces tandis qu'en zone non fauchée ce nombre s'élève à 46 espèces.

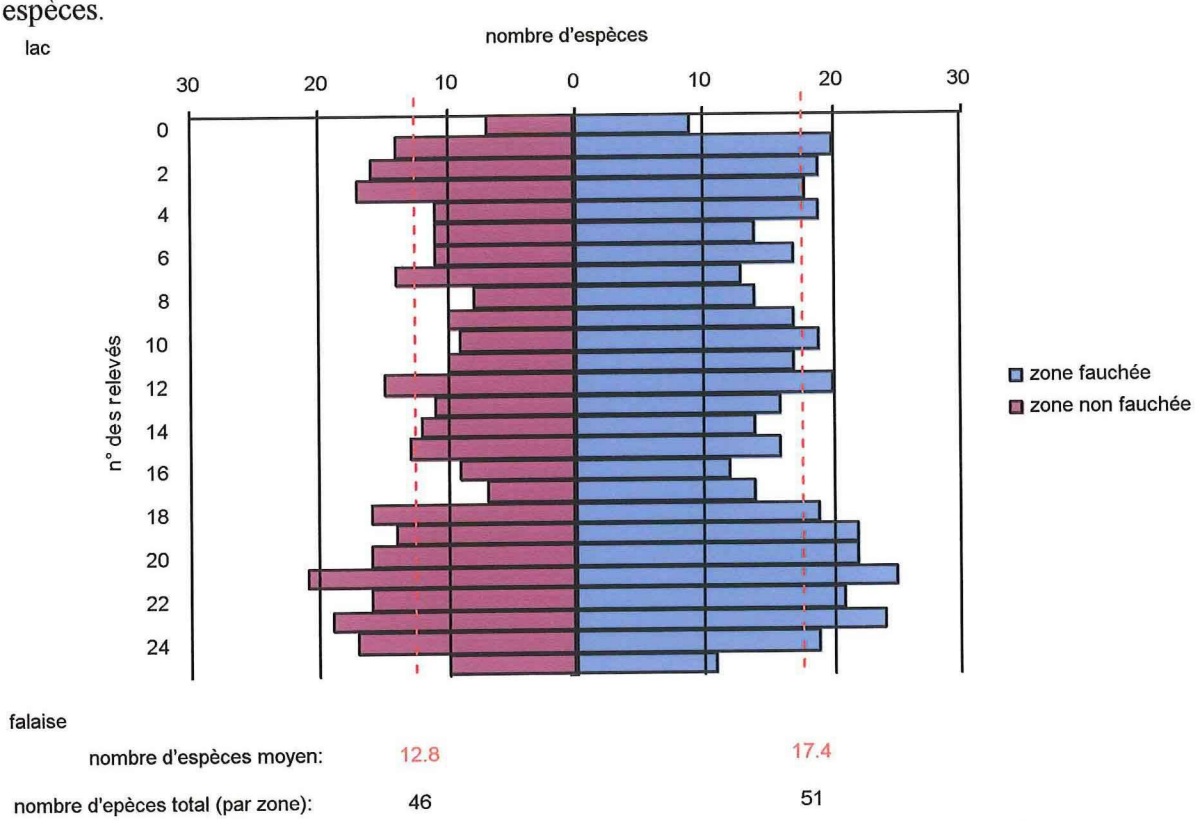


Figure 4: comparaison du nombre d'espèces présentes dans la zone fauchée et non fauchée le long du transect.

3.1.2

Les indices de diversité de Hill sont présentés dans le tableau I.

Tableau I : Indice de diversité de Hill calculé pour chaque relevé et pour les deux zones étudiés. ZF :zone fauchée, ZNF : zone non fauchée.

No relevé	Diversité ZF	Nombre d'espèce ZF	diversité ZNF	Nombre d'espèce ZNF
0	2.7	9	2.6	7
1	6.3	20	5.6	14
2	7.2	19	4.1	16
3	5.1	18	3.2	17
4	5.9	19	1.9	11
5	4.8	14	3.7	11
6	6.2	17	2.3	11
7	4.7	13	3.2	14
8	4.5	14	2.6	8
9	5.1	17	4.4	10
10	5.9	19	3.0	9
11	4.9	17	3.2	10
12	5.5	20	3.8	15
13	6.5	16	3.7	11
14	4.6	14	4.6	12
15	4.9	16	5.5	13
16	4.3	12	3.3	9
17	4.1	14	2.1	7

18	6.2	19	5.1	16
19	9.9	21	7.3	14
20	9.6	22	6.3	16
21	12.6	25	8.4	21
22	11.3	21	8.1	16
23	12.2	24	8.5	19
24	6.9	19	8.6	17
25	3.7	11	2.9	10

Globalement, les indices de Hill sont plus élevés dans la zone fauchée de même que le nombre d'espèces. Il semble donc que la diversité soit plus importante en zone fauchée qu'en zone non fauchée.

La première étape de l'analyse statistique consiste à tester la normalité des données. Comme nous n'avons qu'une seule variable (variable diversité) à tester, nous pouvons calculer la différence de diversité entre les deux zones. Le test de normalité de Kolmorov-Smirnov porte donc sur la différence entre les deux séries de données. Les valeurs du test sont KS = 0.428 et p = 0.993, les données sont donc normales.
Les données étant paramétriques, nous pouvons utiliser un test de t sur les données appariées. Les résultats du test sont t = 6.122 et p < 0.001, il existe donc une différence hautement significative entre les deux séries de données, à savoir la zone fauchée et non fauchée.

3.1.3
Il est également possible de compter le nombre d'espèces différentielles par relevé d'une zone par rapport à l'autre, c'est-à-dire le nombre d'espèces uniquement présentes dans la zone fauchée ou dans la zone non fauchée pour chacun des relevés. Les résultats sont présentés en figure 5.

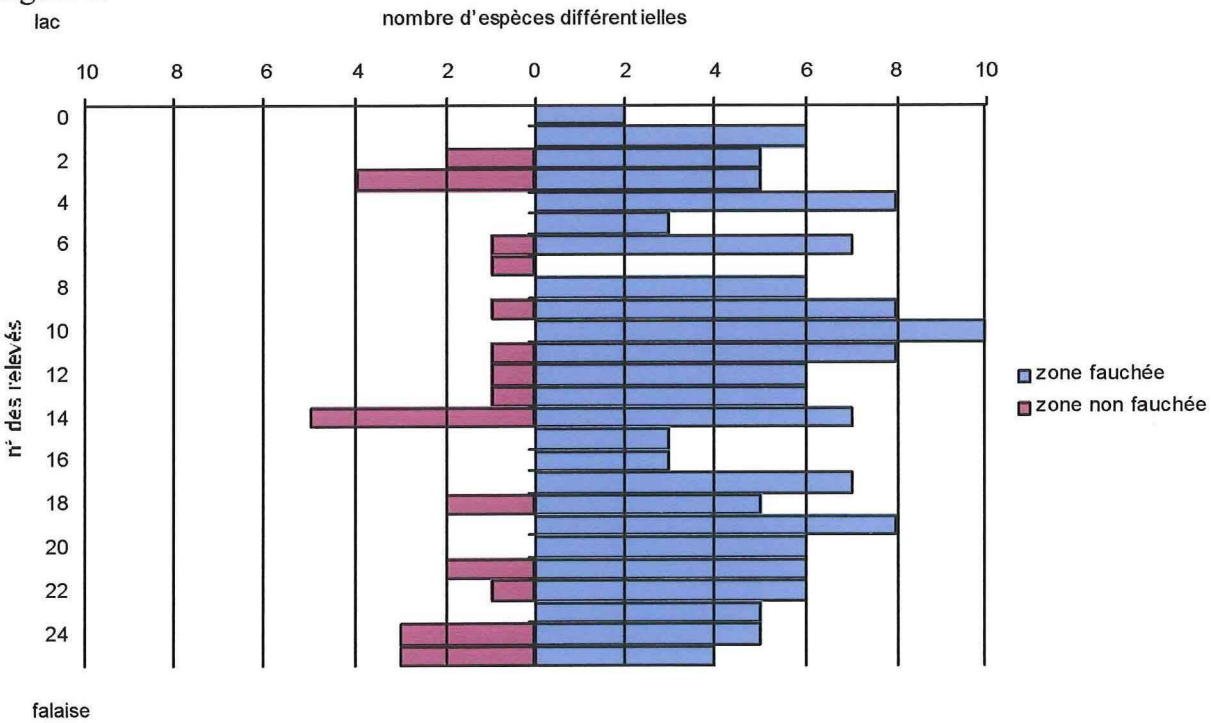


Figure 5 : Comparaison du nombre d'espèces différentielles présentes en zone fauchée et non fauchée le long du transect.
Sur l'ensemble des relevés, seules 9 espèces sont exclusivement trouvées dans la zone fauchée, tandis que 5 espèces sont exclusives à la zone non fauchée. Ces espèces sont pour la

zone fauchée : *Alisma plantago-aquatica* (2-3 ;2), *Betula pendula* (3 ;2), *Dactylorhiza incarnata* (1-2 ;2), *Epilobium tetragonum* (1 ;1), *Molinia caerulea* (4 ;1), *Myosotis scorpioides* (1-3 ;2), *Nymphaea alba* (2 ;1), *Pulicaria dysenterica* (2 ;1), *Scrophularia umbrosa* (1 ;2). Pour la zone non fauchée : *Carex lasiocarpa* (2 ;1), *Humulus lupulus* (1 ;1), *Solanum dulcamara* (1 ;1), *Solidago gigantea* (1 ;1) et *Sonchus oleraceus* (1 ;1). Entre parenthèses sont indiqués les intervalles de recouvrement et le nombre de relevé contenant l'espèce.

3.1.4

La distribution des quatre groupes de part et d'autre de la ligne de fauche est présentée séparément. Pour chaque groupe, des analyses statistiques utilisant l'indice de diversité de Hill, sont effectuées pour permettre de comparer les deux zones. Les résultats des analyses sont présentés dans le tableau II, les indices de diversité de chaque groupes en annexe III.

1) Espèces rares

   Les espèces rares ont été répertoriées selon la liste rouge des plantes vasculaires menacées en Suisse (Landolt, 1991). On dénombre ainsi 10 espèces rares en Suisse, présentes dans la zone étudiée. Pour chaque espèce, on réalise un graphique des taux de recouvrement le long de la ligne de fauche. Les graphiques sont présentés en figure 6. Les espèces rares sont majoritairement présentes dans la zone fauchée. Seul *H. vulgaris* présente des taux de recouvrement important dans les deux zones. Les résultats de l'analyse statistique indiquent qu'il existe une différence significative entre les deux zones du point de vue de la diversité en espèces rares et qu'elles sont majoritairement présentes dans la zone fauchée.

2) Espèces de faciès

   On dénombre 5 espèces dont le taux de recouvrement est important et qu'on retrouve régulièrement le long du transect. Pour chaque espèce, on réalise un graphique des taux de recouvrement le long de la ligne de fauche. Les graphiques sont présentés en figure 7. C. elata et C. panicea sont majoritairement présentes dans la zone fauchée. C. mariscus est plus abondante dans la zone non fauchée malgré le fait qu'elle soit également bien représentée dans la zone fauchée. P. australis présente des taux de recouvrement similaires dans les deux zones. Les résultats de l'analyse statistique indiquent qu'il existe une différence significative entre les deux zones du point de vue de la diversité en espèces de faciès et qu'elles sont majoritairement présentes dans la zone fauchée.

3) Espèces hygrophiles

   Les espèces hygrophiles ont été définies selon l'« Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora » de E. Landolt (1977) pour lesquels un indice de 5 est donnée à la valeur d'humidité. On dénombre ainsi 8 espèces hygrophiles relevées dans la zone étudiée. Pour chaque espèce, on réalise un graphique des taux de recouvrement le long de la ligne de fauche. Les graphiques sont présentés en figure 8. La plupart des espèces hygrophiles sont plus présentes dans la zone fauchée, à l'image de *A. plantago-aquatica, B. erecta, E. uniglumis, N. alba, P. gramineus* et *U. intermedia. P. australis* et *T. angustifolia* ne semblent pas avoir de préférence entre les deux zones. Les résultats de l'analyse statistique indiquent qu'il existe une différence significative entre les deux zones du point de vue de la diversité en espèces hygrophiles et qu'elles sont majoritaires dans la zone fauchée.

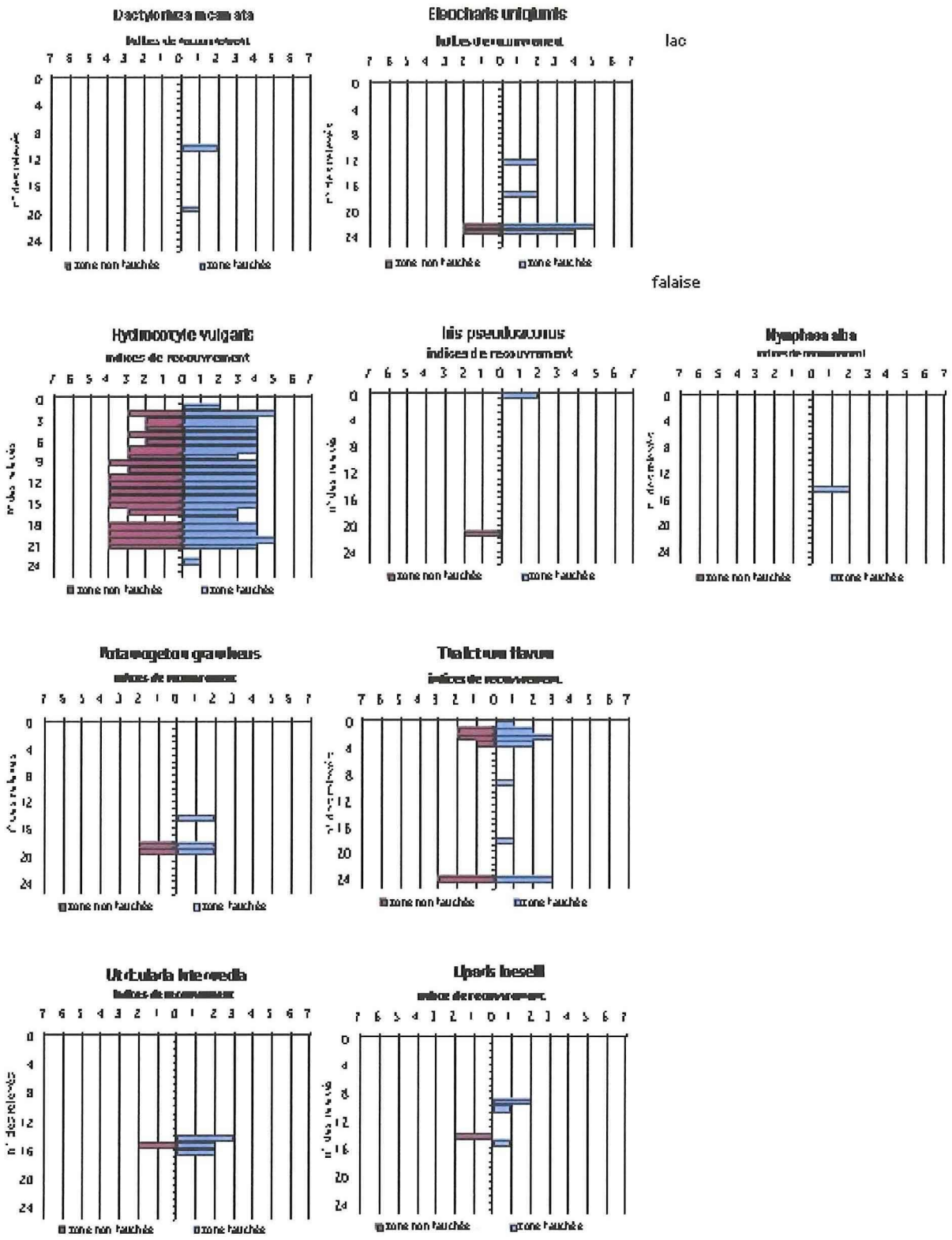


Figure 6: distribution des espèces rares et menacées de Suisse le long du transect.

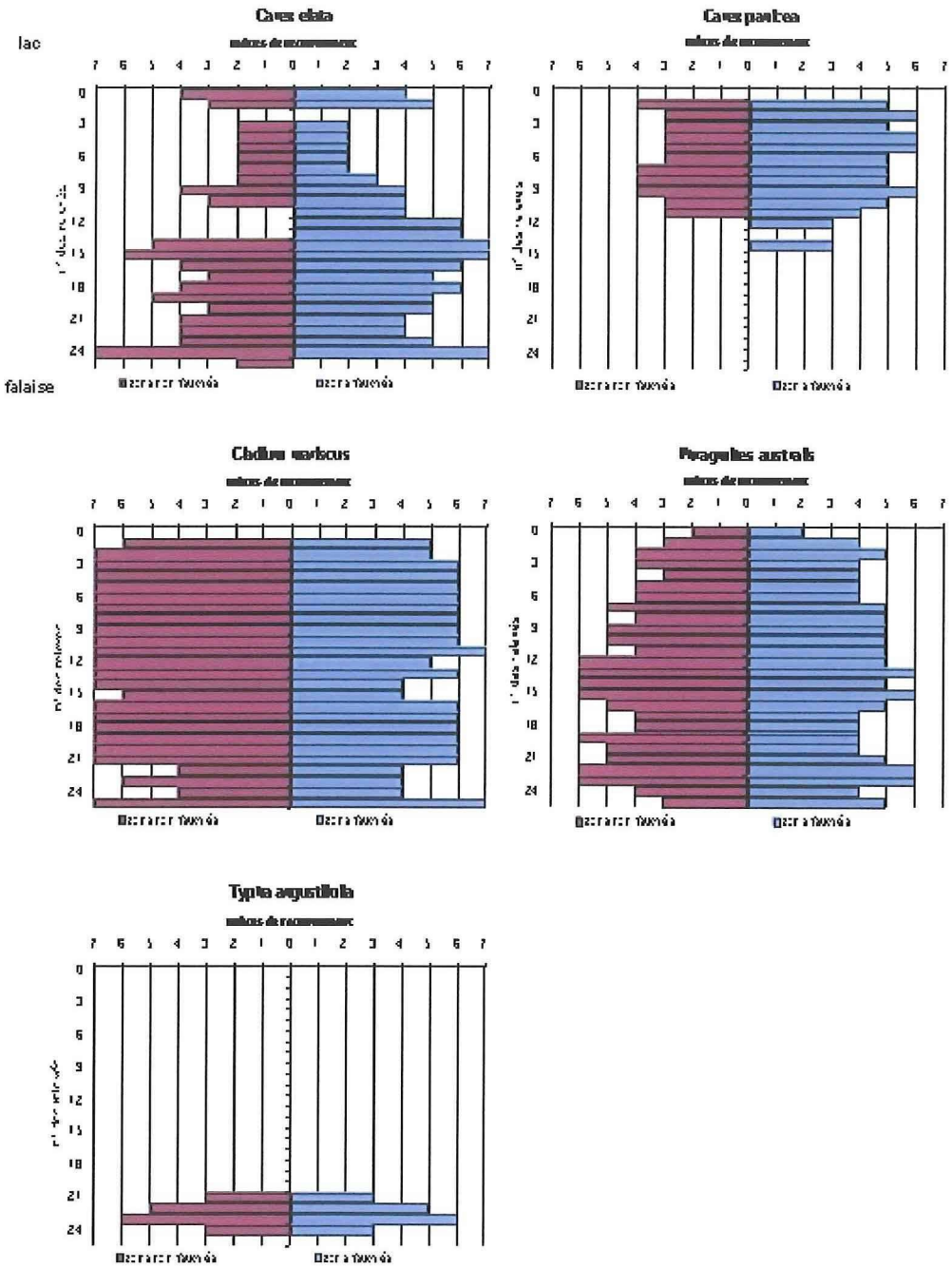


Figure 7: distribution des espèces les plus fréquentes le long du transect.

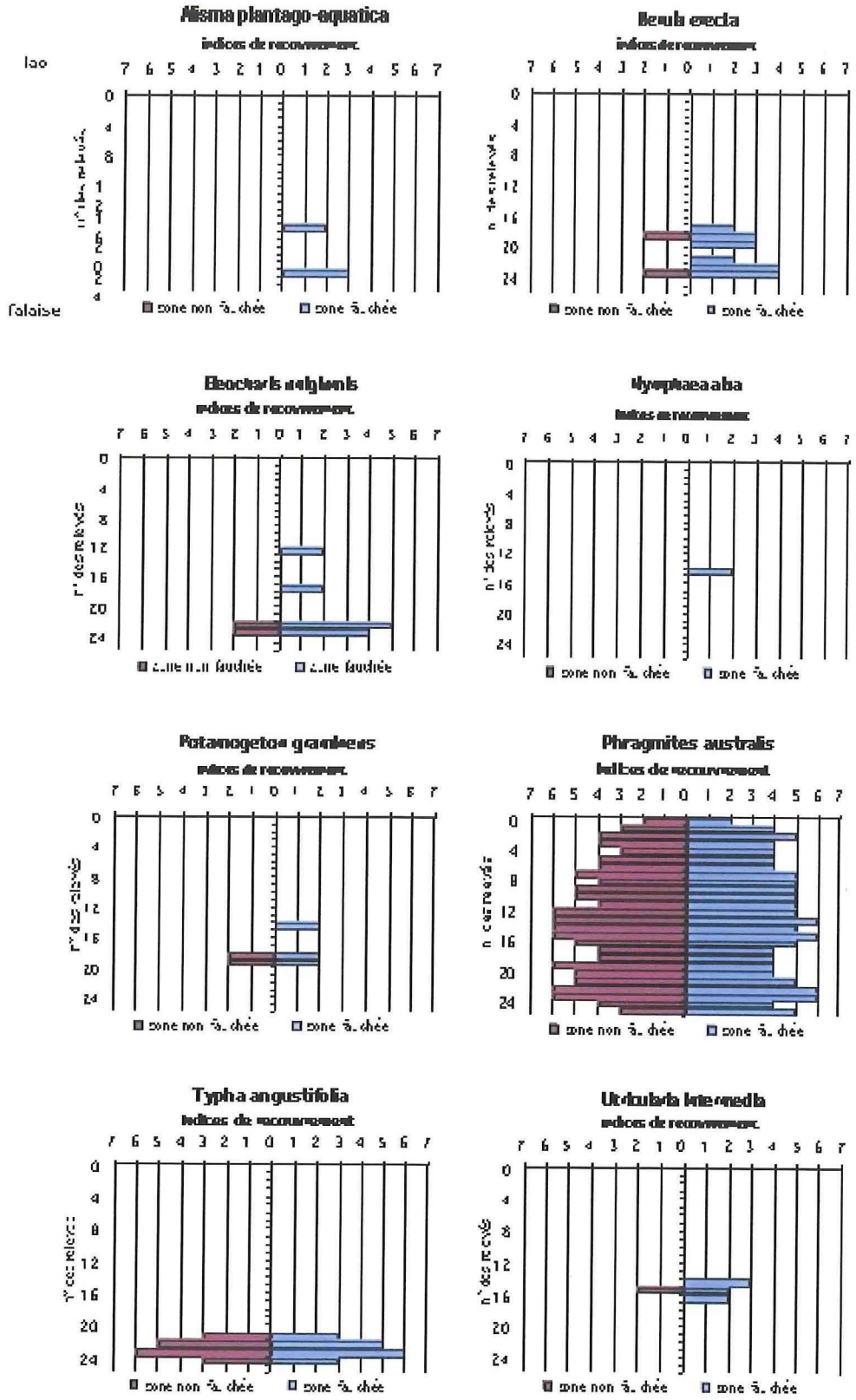


Figure 8: distribution des espèces hygrophiles le long du transect.

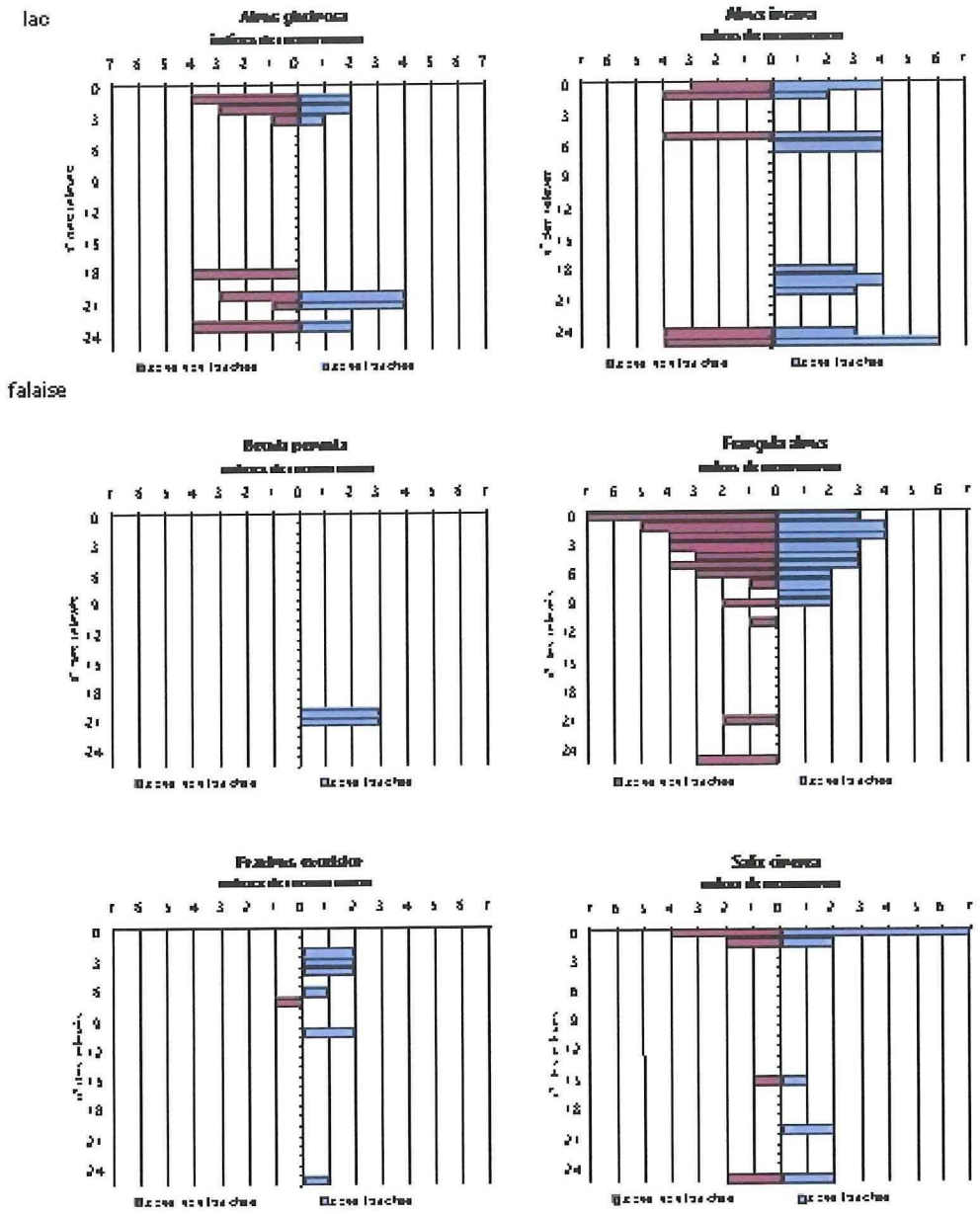


Figure 9: distribution des espèces ligneuses le long du transect.

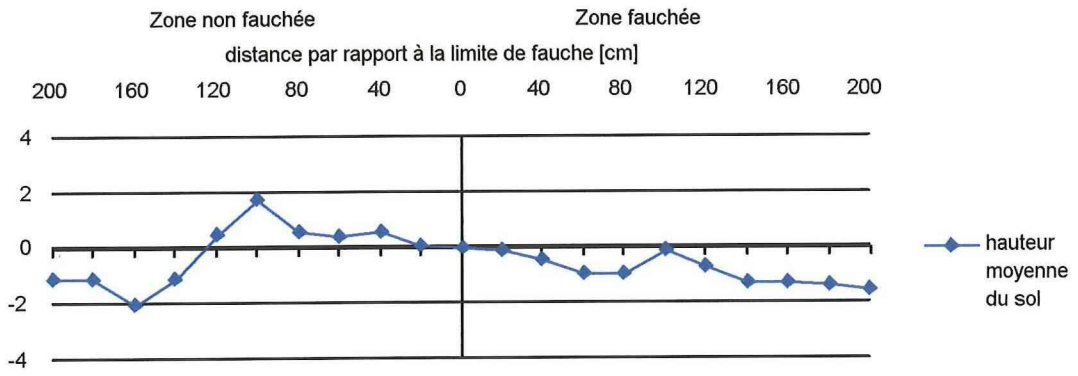
4) Espèces ligneuses
On dénombre 6 espèces ligneuses relevées dans la zone étudiée. Pour chaque espèce, on réalise un graphique des taux de recouvrement le long de la ligne de fauche. Les graphiques sont présentés en figure 9. Les deux zones abritent des ligneux de manière relativement similaire. Ils sont essentiellement relevés en amont et en aval de la zone étudiée. Seul B. pendula se trouve uniquement dans la zone fauchée. Les résultats de l'analyse statistique indiquent qu'il n'existe aucune différence significative entre les deux zones du point de vue de la diversité en espèces ligneuses.

Tableau II : Résultats des analyses statistiques concernant les différentes diversités présentes en zone témoin et en zone fauchée pour chacun des groupes. K-S = valeurs du test de normalité. P(K-S) = résultats du test de normalité. Si P(K-S) > 0.05 on effectue un test de t apparié (t), si P(K-S) < 0.05 on effectue un test de Wilkoxon sur les paires de rangs signés (Z). P(Z/t) = résultats du test de t ou Wilcoxon.

GROUPES	K-S	P (K-S)	Z / t	P (Z / t)	significativité
Espèces rares	1.52	0.02	Z = -2.645	0.008	**
Espèces de faciès	0.701	0.709	t = 5.472	0.000	***
Espèces hygrophiles	1.956	0.01	Z = -2.668	0.008	**
Espèces ligneuses	1.668	0.008	Z = -0.153	0.878	NS

3.2 Topographie

Les différences de niveau du sol relatif de part et d'autre de la ligne de fauche sont présentées sur les graphiques en annexe IV. Le fait de moyenner les niveaux se trouvant à même distance de la limite de fauche permet de synthétiser l'information sur un seul graphique présenté en figure 10. Le niveau moyen du sol en zone non fauchée est de –0.2 cm, tandis qu'il est de –0.8 cm en zone fauchée.



Moyenne des hauteurs de sol: -0.2 -0.8

Figure 10 : hauteur du sol relatif [cm] moyennée sur tous les relevés le long du transect.

Comme nous n'avons là aussi qu'une seule variable à tester (variable niveau moyen du sol), nous pouvons calculer la différence de niveau moyen entre les deux zones. Le test de normalité (Kolmogorov-Smirnov) porte sur la différence entre les deux séries de données. Les valeurs du test sont KS = 0.735 et p = 0.653, les données sont donc normales.

Les résultats du test de t appariés permettent de voir s'il existe une différence significative du niveau du sol entre les deux zones. Les résultats du test sont $t = 1.657$ et $p = 0.653$. Les niveaux mesurés en zone fauchée et non fauchée ne sont donc pas significativement différents.

Discussion

Les nombreuses analyses effectuées permettent de mesurer l'effet du fauchage sur la biodiversité floristique. Le graphique en figure 4 présentant le nombre d'espèces relevées de part et d'autre de la limite de fauche montre que la zone fauchée abrite un plus grand nombre d'espèces. Cette zone compte 51 espèces contre 46 en zone non fauchée, représentant une différence d'environ 10 %. Similairement, la diversité floristique, tenant compte du nombre d'espèces et de leur recouvrement, est significativement différente dans les deux zones d'études. La comparaison du nombre d'espèces différentielles permet de préciser cette différence. Les espèces relevées en zone non fauchée se retrouvent pour la plupart en zone fauchée. Il existe donc globalement un même pool d'espèces à gauche et à droite de la limite de fauche tandis que le surplus d'espèces est principalement présent en zone fauchée (24 relevés sur 25, allant de deux à dix espèces supplémentaires). Ce surplus d'espèces peut être important, de l'ordre de dix espèces dans le relevé n° 10, représentant 50 % d'augmentation. Globalement, les cinq espèces différentielles trouvées dans la zone témoin sont des espèces fréquentes sur le territoire suisse ; parallèlement, la zone fauchée abrite deux espèces rares ou menacées en Suisse, *Dactylorhiza incarnata* et *Nymphaea alba*. Les études menées depuis une quinzaine d'année par le GEG ne permettent pas de comparer nos résultats. En effet, elles concernent des couples de carrés permanents placés dans des zones respectivement fauchées (aires d'essai) et témoins (zone témoin) présentant quelques inconvénients pour la comparaison. Malgré le fait que ces couples de carrés ont été placés dans des groupements végétaux présentant des homologies du point de vue de la végétation et des caractéristiques écologiques (cf. rapport n°1, GEG), il n'est pas certain que ces zones soient réellement comparables (différences de hauteur du sol, microdépressions, différence pédologique, etc...). Parallèlement, les premiers relevés floristiques ont été réalisés après le fauchage de l'aire d'essai. L'état de départ étant méconnu, il serait difficile de savoir si les différences observées sont nouvelles ou datent de la situation initiale. Le souci d'avoir des parcelles en zone de fauche versus en zone témoin comparables nous a poussé à placer les zones d'étude côte à côte. Ainsi, l'état initial des deux zones est proche.

Les mesures du niveau relatif du sol en zone fauchée et non fauchée montrent qu'il n'existe aucune différence significative entre les deux secteurs. Il semble donc que le fauchage ne freine pas l'élévation du sol. BUTTLER (1987) décrit, le long de la rive sud du lac de Neuchâtel, un phénomène d'atterrissement en milieu infra-aquatique, c'est-à-dire dans les associations telles que le Potamogetonion, Nymphaeion, Phragmitetum communis et Caricetum elatae. L'accumulation de vase et de tourbe élève peu à peu le niveau du sol par rapport à la nappe, ce qui permet l'établissement de nouvelles espèces. Dans les autres associations, les sols n'accumulent guère de matières organiques. Szücz (1999) a étudié le sol de la zone d'étude. Elle a mis en évidence que les deux parcelles (zone témoin et zone fauchée) présentait des conditions générales défavorables au développement et au maintien d'un milieu tourbeux. D'une part, le rapport C/N des deux parcelles les classes comme des tourbes en voie de dégradation, d'autre part, les conditions hydriques présentes sont défavorables au maintien de cette tourbe. Szücz précise que si la fauche n'est pas responsable de l'arrêt de croissance de la tourbe dans la réserve de Cheyres, elle semble accélérer les processus de minéralisation et d'humification naturels. Tout comme BUTTLER et SZÜCZ, il est

impossible de mettre en évidence une accumulation qui aurait pour effet d'augmenter le niveau du sol des zones non fauchées par rapport aux zones fauchées. Il faut donc minimiser l'effet de l'atterrissement dans la disparition des milieux humides. D'autres phénomènes plus importants sont intervenus ou interviennent encore. La deuxième correction des eaux du Jura joue un rôle prépondérant dans la fragilisation des milieux humides. En effet, l'amplitude des variations annuelles du niveau du lac a été ramenée à moins de 1mètre provoquant l'apparition de deux phénomènes. Premièrement, la diminution de l'amplitude a concentré l'énergie contenue dans les vagues sur une plus petite surface, augmentant leur pouvoir érosif. Dans le secteur de Cheyres, le recul de la rive atteint une trentaine de mètres, mesuré entre 1979 et 2001 (Clerc, comm.pers.). Durant la période comprise entre la 1e et la 2e CEJ, le phénomène de l'érosion était également présent. La 1e CEJ a en effet déplacé la zone riveraine d'érosion (située au pied de la falaise molassique) dans un secteur autrefois immergé (substrat meuble constitué de sables détritiques provenant de l'altération de la molasse ou d'accumulation sédimentaires fluviales ou glaciaires) (DUFOUR et ROBIN, 1982). Ce déplacement sur un substrat plus meuble provoqua dans une moindre mesure le recul de la rive (VAW, 1993). Dans tous les cas, les zones érodées concernent les milieux humides et contribuent à accentuer la fragilité de ces milieux. Deuxièmement, la diminution de l'amplitude du lac empêche toutes crues naturelles du lac et par la même, l'inondation exceptionnelle des marais. En outre, le niveau du lac est suffisamment bas et peu variable pour qu'un déficit hydrique apparaisse dans les associations végétales. Ce déficit peut être quantifié au moyen des graphiques en figure 11, montrant le niveau du lac pour une période de vingt ans avant et après la 2e CEJ.

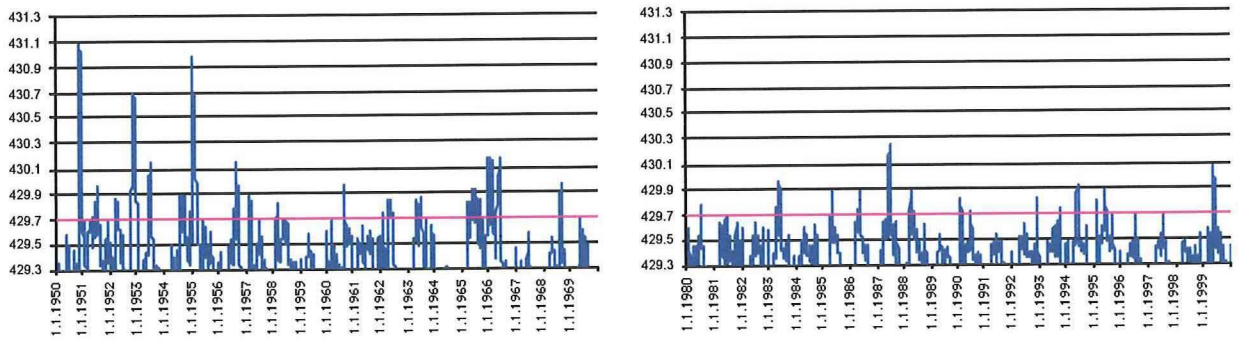


Figure 11 : niveaux journaliers du lac [m] pour la période du 01.01.1950 au 31.12.1969 (avant la 2e CEJ) et pour la période du 01.01.1980 au 31.12.1999 (après la 2e CEJ). La ligne rouge indique la hauteur moyenne du sol dans la région d'étude de la réserve de Cheyres.

Durant les périodes allant de 1950 à 1969 et de 1980 à 1999, le niveau moyen du lac est de 429.3 m. Les différences entre ces deux périodes résident dans la hauteur des crues et leurs fréquences. La hauteur maximale du lac pour la première période est de 431.1 m avec trois pics au-dessus de 430.3 m, totalisant 111 jours d'immersion. La valeur 430.3 m correspond au niveau maximal du sol dans la zone d'étude. Similairement, la hauteur maximale du lac pour la deuxième période est seulement de 430.2 m, ne dépassant pas le niveau maximal du sol. Le niveau moyen du sol étant de 429.7 m, le lac a débordé sur la zone d'étude 30 fois, soit 855 jours avant la 2e CEJ et 19 fois après, soit seulement 232 jours. Les minima des hauteurs du lac sont semblables pour les deux périodes puisqu'elles atteignent 428.6 m, respectivement 428.8 m. Ces données montrent clairement que la 2e CEJ a eu pour effet un assèchement global du milieu de même que la disparition de grandes crues pouvant limiter, par exemple, le phénomène de l'embuissonement. Cet assèchement contribue à la disparition des espèces liées aux milieux humides, disparition encore accélérée par l'arrivée des arbustes. SZÜCZ (1999)

suggère que la présence de buissons peut se traduire par une baisse de la nappe par pompage des racines, entraînant un milieu plus sec, favorable à l'humification et la minéralisation. Si à cela s'ajoute une strate recouvrante, la composition floristique du milieu peut changer. Les successions végétales qui s'ensuivent amènent peu à peu la fermeture du milieu jusqu'à la formation d'une forêt. Les faibles différences de niveaux relatifs du sol observées entre la zone témoin et la zone fauchée semblent, dans notre cas, essentiellement dues aux dépressions locales telles que les touradons de laîches, le sentier des ornithologues ou le passage répété de la machine ELBOTEL qui pourrait tasser le terrain.

La comparaison des données actuelles avec les données récoltées lors d'une étude des groupements végétaux réalisée dans la réserve de Cheyres vers 1970 (Keller, 1970) confirme le phénomène d'assèchement subit par le marais. On retrouve 76 % des espèces citées par Keller avec une augmentation de 32 % du nombre d'espèce (9 espèces disparues et 27 nouvelles espèces, Annexe V). Les 9 espèces disparues sont pour la plupart à tendance hygrophile, à l'exemple de *Lemna minor, Utricularia ochroleuca, Utricularia vulgaris* et *Sparganium erectum*. Les milieux humides sont des milieux relativement pauvres en espèces. L'augmentation du nombre d'espèces (plus de 30 %) de même que la disparition des espèces les plus hygrophiles confirme que ces milieux ont changé et qu'ils se sont relativement asséchés.

Les analyses réalisées sur les différents groupes d'espèces permettent de mieux comprendre l'effet du fauchage sur la végétation. La zone fauchée abrite dans une plus large mesure les espèces spécialisées. On dénombre deux espèces rares ou menacées exclusives à la zone fauchée, *Dactylorhiza incarnata* et *Nymphaea alba* de même que *Alisma plantago-aquatica*, une espèce hygrophile. De manière générale, les espèces spécialisées sont plus abondantes et ont un taux de recouvrement plus élevé dans la zone fauchée (diversité des espèces rares et hygrophiles significativement plus élevée en zone fauchée). Mis à part les espèces déjà citées, on trouve les espèces rares et menacées *Thalictrum flavum* et *Liparis loeselii*, les espèces hygrophiles, rares et menacées *Eleocharis uniglumis, Potamogeton gramineus, Utricularia intermedia* et l'espèce hygrophile *Berula erecta*. Les espèces *Hydrocotyle vulgaris, Phragmites australis* et *Typha angustifolia* sont abondantes de part et d'autre de la limite de fauche. Il apparaît à lumière de ces premiers résultats que la zone fauchée est plus attractive que la zone témoin. En effet, elle semble contenir un taux d'humidité supérieur permettant la présence d'espèces hygrophile et par la même peu fréquente sur le territoire suisse. Ce taux d'humidité plus élevé peut être dû au sentier des ornithologues creusé, encore rempli d'eau pendant les périodes sèches mais également au sillon créé par le passage répété de la machine. C'est notamment le long de ce sentier que l'on retrouve des espèces comme *P. gramineus, N. alba* et *U. intermedia*. L'abondance d'espèces spécialisées des milieux palustres en zone fauché par rapport à la zone témoin peut être expliquée par l'ouverture du milieu juste après la fauche, permettant l'installation de ces nouvelles espèces. La zone témoin présente un faciès tout différent de la zone fauchée, rendant sa visualisation sur le terrain facilitée. Elle possède une strate recouvrante constituée essentiellement de marisque (20 relevés sur 25 où la marisque atteint un taux de recouvrement supérieur à 75 %). Parallèlement, le sol est recouvert lui aussi d'anciens pieds de marisque, rendant tout à fait impossible le passage de lumière. Malgré cela, certaines espèces attractives arrivent à pousser. On les trouve essentiellement en bordure de zone au niveau de la limite de fauche. Il existe donc un effet de lisière à ce niveau permettant à la lumière de passer.

Au niveau des espèces les plus fréquentes, *C. elata* et *C. panicea* sont plus abondantes dans la zone fauchée où elles prédominent en même temps que le roseau et la marisque. Le fauchage semble avoir un effet positif sur ces deux laîches, fauchage qui permet la stabilisation de la

marisque la diminution de la compétition. *Typha angustifolia* et *Phragmites australis* sont similairement présents dans les deux zones. Elles arborent un même indice écologique désignant des plantes très souvent dans l'eau, mais parfois aussi émergées, indicatrices de niveaux d'eau extrêmement variables (LANDOLT, 1977). Ces deux espèces possèdent donc une plus grande tolérance écologique et peuvent supporter l'ombre apportée par la strate recouvrante de la marisque. De manière générale, le fauchage ne semble pas avoir d'effet sur la mobilité des groupements végétaux, ou un éventuel déplacement de leurs limites, tel que décrit par de nombreux auteurs (Roulier, 1980).

Au niveau des espèces ligneuses, l'effet du fauchage hivernal semble beaucoup moins important que prévu. En effet, depuis l'hiver 1998-1999, date de la dernière fauche, les ligneux ont extrêmement bien poussé. Quatre espèces ligneuses sur six sont plus abondantes dans la zone fauchée que dans la zone témoin. Il s'agit de *Alnus incana*, *Betula pendula* (exclusive à la zone fauchée), *Fraxinus excelsior* et *Salix cinerea*. Seuls *Alnus glutinosa* et *Frangula alnus* sont plus abondants dans la zone témoin. En 1994, les études menées jusqu'alors par le GEG ont mis en évidence certaines tendances concernant l'embuissonnement. Ce dernier était bien stoppé par le fauchage malgré le rejet des souches des ligneux année après année (LE NEDIC, 1994). Il semble aujourd'hui que d'une part, l'effet du fauchage hivernal ne détruit pas les souches des ligneux mais que d'autre part, ces mêmes souches sont d'autant plus vivaces et rejettent plus rapidement. Le fauchage hivernal, de même que la fréquence de fauche triennale, ne freine en rien la progression des buissons dans le marais, il dissimule simplement cette progression. Rappelons tout de même que ces constatations sont valables pour la zone située dans la réserve de Cheyres, qui de par sa situation altitudinale est particulière, et qu'elles ne sont pas forcément applicables tout au long de la rive.

Synthèse et perspectives

Cette étude montre que, à petite échelle, le fauchage hivernal a un effet positif sur la biodiversité floristique. Les espèces palustres semblent favorisées par le passage répété de la machine. D'une part, l'ouverture du milieu juste après la fauche permet à ces espèces moins compétitives de s'installer, d'autre part les sillons apparaissant aux endroits de passage de la chenille conservent de l'eau pendant les périodes sèches. En absence de fauche, le milieu s'obscurcit en raison de la strate herbacée qui devient recouvrante. Ce faciès empêche l'installation de nouvelles espèces et assèche le milieu. Les différences visibles entre les deux zones d'étude se situent au niveau des espèces hygrophiles et rares sur le territoire suisse. Par contre, à grande échelle, la diversité varie peu puisque le même pool d'espèce se retrouve en zone fauchée et témoin. D'autres études devraient être menées dans des configurations similaires, le long de la rive, afin de confirmer ou d'infirmer ces résultats.

Cette étude met également en évidence le fait que le fauchage hivernal ne freine en aucun cas l'embuissonnement du marais. Au contraire, l'élagage des arbustes en hiver semble augmenter le nombre de rejets et renforcer la repousse de ces jeunes individus. Ces résultats sont déconcertants puisque le principal but du fauchage est de limiter les successions végétales et par la même l'installation de la strate arbustive. Le fauchage hivernal, de même que la fréquence de fauche triennale, ne freine en rien la progression des buissons dans le marais, il dissimule simplement cette progression. A ce stade, il serait intéressant de connaître l'effet de la fauche printanière sur les arbustes. De la même manière, le rythme de fauche est-il bien adapté aux arbustes ou ne faudrait-il pas rapprocher les fauches afin d'empêcher le rejet des arbustes et à moyen terme diminuer leur présence. Une étude menée par le GEG, sur de petites parcelles, est en cours afin de qualifier et quantifier l'effet du fauchage estival sur

l'ensemble des strates. Il serait également opportun d'appliquer un traitement différent sur la strate arbustive par rapport à la strate herbacée. Sachant que fauchage hivernal et le rythme de fauche triennal conviennent parfaitement à la strate herbacée, il serait possible de tester l'effet de l'élagage des arbustes au printemps, en été, de même que les outils utilisés, sans oublier de quantifier les impacts des travaux sur les espèces du marais.

Il serait également intéressant de définir en combien de temps la situation de la zone fauchée, telle que décrite ici, se met en place. Similairement, en absence de fauche, combien de temps lui faudrait-elle pour disparaître. L'inversion des traitements infligés à la zone d'étude de Cheyres pourrait être un bon moyen de répondre à ces interrogations.

La deuxième partie de l'étude, consacrée aux différences de niveau du sol entre la zone témoin et la zone fauchée, montre que le terme d'atterrissement et son rôle dans la problématique des milieux palustres sont définitivement devenus obsolètes. C'est l'assèchement global de la zone d'étude, dû à la 2e CEJ, qui est responsable de l'embuissonnement du marais et de la modification des groupements végétaux au sein du marais. Aucune étude le long de la rive n'a permis de mettre en évidence une quelconque élévation du sol, ni même de voir une différence de niveau du sol entre des zones fauchées et des zones qui ne le sont pas.

Bibliographie

AESCHIMANN D. et M. BURDET (1994). *Flore de la Suisse et des territoires limitrophes. Le nouveau Binz*. Griffon : Neuchâtel.

BUTTLER A. (1987). *Etude écosystématique des marais non boisés de la rive sud du lac de Neuchâtel (Suisse) : phytosociologie, pédologie, hydrodynamique et hydrochimie, production végétale, cycles biogéochimiques et influence du fauchage sur la végétation*. Thèse de l'Université de Neuchâtel.

DUFOUR B. et P. ROBIN (1982). *Etude du recul d'une rive du lac de Neuchâtel*. Travail de recherche postgrade, EPFL.

HESS H.-E., E. LANDOLT, R. HIRZEL (1967,1970,1972). *Flora der Schweiz*. Birkhäuser : Basel und Stuttgart.

KELLER L. (1970). *Etude des groupements végétaux de la réserve de Cheyres*. Extrait du Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles. Vol. 59, pp. 47-59.

LANDOLT E. (1977). *Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora*. Veröffentlichung des geobotanischen Institutes der ETS, Zürich. 64. Heft.

LANDOLT E. (1991). *Plantes vasculaires menacées en Suisse. Liste rouge nationale et régionales*. OFEFP.

LE NEDIC (1994). *Programme général de Surveillance Scientifique*. Rapport de gestion n° 29, GEG.

MORET J.-L. (1986). *Effet de l'entretien sur la végétation. Résultats de 1984*. Rapport de gestion n° 1, GEG.

ROULIER C. (1980). *Etude phytosociologique et dynamique des groupements végétaux de la rive sud du lac de Neuchâtel.* Travail de licence de l'Université de Neuchâtel.

SZÜCZ E. (1999). *Effet de la fauche triennale sur le sol.* Travail de stage, GEG.

VAW (1993). *Erosion de la rive sud du lac de Neuchâtel. Rapport final.* Laboratoire de Recherches Hydrauliques, Hydrologiques et Glaciologiques de l'Ecole Polytechnique fédérale de Zurich.

Autres Lectures :

BERSET J. (1950). *La végétation de la réserve de Cheyres et des rives avoisinantes du lac de Neuchâtel.* Extrait du Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles. Vol. 40, pp. 65-94.

CLERC C. (1996). *Les roselières lacustres de la Grande Cariçaie. Cartographie. Evolution entre 1979 et 1987.* Rapport de gestion n° 16, GEG.

CLERC C. (1999). *Suivi scientifique des roselières lacustres. Résultats 1993 et 1998.* Rapport de gestion n° 37, GEG.

MICHEL F. (1996). *Inventaire floristique de la Grande Cariçaie. Essai méthodologique sur une zone test.* Travail de stage, GEG.

MORET J.-L. (1990). *Effet de l'entretien sur la végétation. Résultats de 1987.* Rapport de gestion n° 15, GEG.

ROULIER C. (1983). *Contribution à l'étude phytosociologique des groupements végétaux non boisés de la rive sud du lac de Neuchâtel.* Extrait du Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles. Vol. 72, pp.75-125.

Annexe 1 : liste d'espèces déterminées le long de la zone d'étude.

Nom	Famille
Agrostis stolonifera	Poaceae
Alisma plantago-aquatica	Alismataceae
Alnus glutinosa	Betulaceae
Alnus incana	Betulaceae
Berula erecta	Apiaceae
Betula pendula	Betulaceae
Calamagrostis epigejos	Poaceae
Calystegia sepium	Convolvulaceae
Cardamine palustris	Brassicaceae
Carex acutiformis	Poaceae
Carex elata	Poaceae
Carex lasiocarpa	Poaceae
Carex panicea	Poaceae
Carex rostrata	Poaceae
Cirsium palustre	Asteraceae
Cladium mariscus	Cyperaceae
Dactylorhiza incarnata	Orchidaceae
Dryopteris carthusiana	Polypodiaceae
Eleocharis uniglumis	Poaceae
Epilobium palustre	Onagraceae
Epilobium parviflorum	Onagraceae
Epilobium roseum	Onagraceae
Epilobium tetragonum	Onagraceae
Equisetum palustre	Equisetaceae
Eupatorium cannabinum	Asteraceae
Frangula alnus	Rhamnaceae
Fraxinus excelsior	Oleaceae
Galium palustre	Rubiaceae
Humulus lupulus	Cannabaceae
Hydrocotyle vulgaris	Apiaceae
Hypericum tetrapterum	Hypericaceae
Iris pseudacorus .	Iridaceae
Liparis loeselii	Orchidaceae
Lycopus europaeus	Lamiaceae
Lysimachia vulgaris	Primulaceae
Lythrum salicaria	Lythraceae
Mentha aquatica	Lamiaceae
Molinia caerulea	Poaceae
Myosotis scorpioides	Boraginaceae
Nymphaea alba	Ceratophyllaceae
Peucedanum palustre	Apiaceae
Phragmites australis	Poaceae
Potamogeton gramineus	Potamogetonaceae
Pulicaria dysenterica	Asteraceae
Salix cinerea	Salicaceae
Scrophularia umbrosa	Scrophulariaceae
Scutellaria galericulata	Lamiaceae
Senecio paludosus	Asteraceae
Solanum dulcamara	Solanaceae
Solidago gigantea	Asteraceae
Sonchus oleraceus	Asteraceae
Stachys palustris	Lamiaceae
Symphytum officinale	Boraginaceae
Thalictrum flavum	Renunculaceae
Typha angustifolia	Typhaceae
Utricularia intermedia	Lentibulariaceae

Zone fauchée

Date	7/09/01	23/07/01	24/07/01	24/07/01	24/07/01	24/07/01	25/07/01	25/07/01	25/07/01	25/07/01	26/07/01	26/07/01	26/07/01	26/07/01	27/07/01	27/07/01	27/07/01	27/07/01	30/07/01	30/07/01	30/07/01	30/07/01	31/07/01	31/01/01	31/07/01	31/07/01
No_relevé	0a	1a	2a	3a	4a	5a	6a	7a	8a	9a	10a	11a	12a	13a	14a	15a	16a	17a	18a	19a	20a	21a	22a	23a	24a	25a
Agrostis stolonifera		2	4	2	2									2											1	1
Alisma plantago-aquatica																		2						3		
Alnus glutinosa		2	2	1																	4	4		2		
Alnus incana	4	2				4	4												3	4	3				3	6
Berula erecta																		2	3	3		2	4	4		
Betula pendula																					3	3				
Calamagrostis epigejos		2	2		2					2	2								2						2	
Calystegia sepium		2	3										3	3		2			2					2		
Cardamine palustris													1				1			1						
Carex acutiformis	2																					4	6			2
Carex elata	4	5		2	2	2	2	2	3	4	4	4	6	6	7	7	6	5	6	5	5	4	4	5	7	
Carex lasiocarpa																										
Carex panicea		5	6	5	6	6	5	5	5	6	5	4	3		3											
Carex rostrata																							3	3		
Cirsium palustre			2	3	3	2	2	2	2		3	1	1	3							1				1	
Cladium mariscus		5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	7	5	6	4	4	6	6	6	6	6	6	4	4	4	7
Dactylorhiza incarnata											2									1						
Dryopteris carthusiana																						2				
Eleocharis uniglumis													2					2					5	4		
Epilobium palustre		2			2		2	2	2	2	2			2					2	3	3	3	3	2		
Epilobium parviflorum																				1		1	1		1	
Epilobium roseum												1														
Epilobium tetragonum																		1								
Equisetum palustre			1		1																					
Eupatorium cannabinum			1	1	2	2	2			2	2	1	2	3		3	2			1	1	1	1	2	1	1
Frangula alnus	3	4	4	3	3	3	2	2	2	2																
Fraxinus excelsior			2	2	2		1				2															1
Galium palustre		2		2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2	3	3	4	
Humulus lupulus																										
Hydrocotyle vulgaris		2	5	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	5	4		1		
Hypericum tetrapterum																				3	1	3		2		
Iris pseudacorus .	2																									
Liparis loeselii										2	1					1										
Lycopus europaeus							3		1	1	2	2	2	3		1	1		3	3	3	4	4	4		
Lysimachia vulgaris	2	3	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		1	3	4	4	4	3	4	4	4
Lythrum salicaria		2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	3	2			2		2	2	3	2	3	3	4	4	2
Mentha aquatica			1	2									2	3	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	
Molinia caerulea					4																					
Myosotis scorpioides																							1	3		
Nymphaea alba															2											
Peucedanum palustre					2	2	3	2	2	2	2	2	2	3	2	3	3	2	3	4	4	5	4	4	2	
Phragmites australis	2	4	5	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	6	5	6	5	4	4	4	4	5	6	6	4	5
Potamogeton gramineus															2				2	2						
Pulicaria dysenterica																										
Salix cinerea	7	2														1					2					2
Scrophularia umbrosa																					1	1				
Scutellaria galericulata		2	2	2	3	2	3	2	3	2	2	2	3	2	2	2	1		2	2	3	3	2	2	3	2
Senecio paludosus												2	1									2			2	
Solanum dulcamara													1													
Solidago gigantea																										
Sonchus oleraceus																										
Stachys palustris		2	3	2								1						1	2	3	3	3	3	4		
Symphytum officinale		2									2	2	2	4	1					2	3	4	4	3	1	
Thalictrum flavum	1	2	3	2						1									1						3	
Typha angustifolia																						3	5	6	3	
Utricularia intermedia															3	2	2									

Zone non fauchée

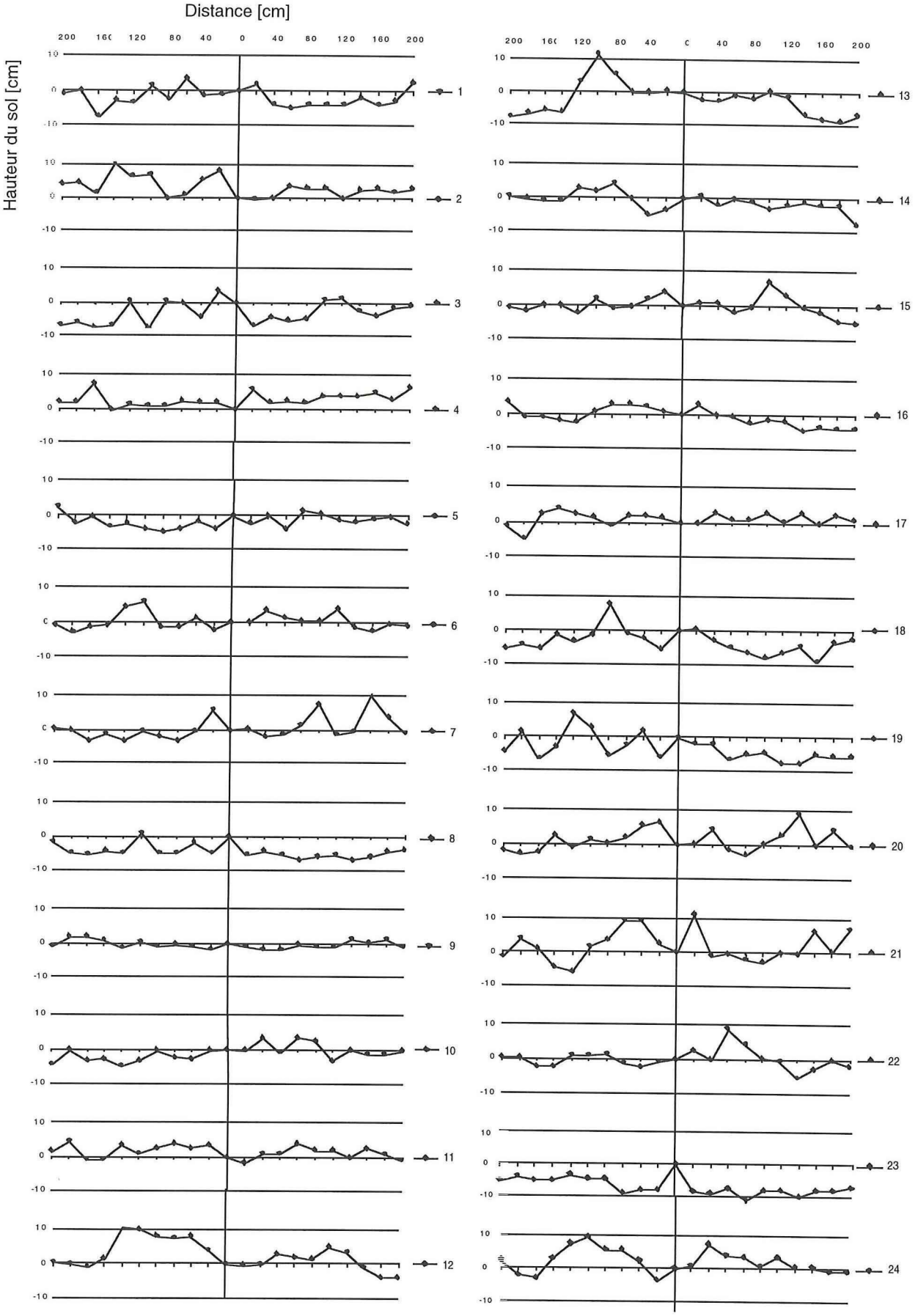
Date	7/09/01	23/07/01	24/07/01	24/07/01	24/07/01	25/07/01	25/07/01	25/07/01	25/07/01	26/07/01	26/07/01	26/07/01	26/07/01	27/07/01	27/07/01	27/07/01	27/07/01	30/07/01	30/07/01	30/07/01	30/07/01	31/07/01	31/07/01	31/07/01	31/07/01	31/07/01	31/07/01
No_relevé	0b	1b	2b	3b	4b	5b	6b	7b	8b	9b	10b	11b	12b	13b	14b	15b	16b	17b	18b	19b	20b	21b	22b	23b	24b	25b
Agrostis stolonifera			2											2												
Alisma plantago-aquatica																										
Alnus glutinosa		4	3	1															4		3	1		4		
Alnus incana	3	4				4																			4	4
Berula erecta																			2					2		
Betula pendula																										
Calamagrostis epigejos			2											2												
Calystegia sepium		2	3	3									2	2	2											
Cardamine palustris													1						2							
Carex acutiformis	2																					4	6			
Carex elata	4	3		2	2	2	2	2	2	4	3				5	6	4	3	4	5	3	4	4	4	7	2
Carex lasiocarpa																										2
Carex panicea		4	3	3	3	3	3	4	4	4	3	3														
Carex rostrata																								2		
Cirsium palustre				2	2			2					1								1				2	
Cladium mariscus		6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	7	7	7	7	7	7	4	6	4	7
Dactylorhiza incarnata																										
Dryopteris carthusiana															1							2				
Eleocharis uniglumis																							2	2		
Epilobium palustre								2					2								2	2	2	2	4	
Epilobium parviflorum																									2	
Epilobium roseum																							1			
Epilobium tetragonum																										
Equisetum palustre					1																					
Eupatorium cannabinum													1		3	2	2					1	3	2		
Frangula alnus	7	5	4	4	3	4	3	1		2		1										2				3
Fraxinus excelsior								1																		
Galium palustre			2	2		2		2	1	2	2	2	2	2		2	1	1	2	2	2	2		3	4	
Humulus lupulus							1																			
Hydrocotyle vulgaris			3	2	2	3	2	3	3	4	3	4	4	4	4	4	3		4	4	4	4				
Hypericum tetrapterum																								3	3	
Iris pseudacorus .																						2				
Liparis loeselii															2											
Lycopus europaeus			1				2						2				1		3	4	2	3	2	1		
Lysimachia vulgaris	2	3	3	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3		1	3	4	4	4	3	4	4	4
Lythrum salicaria		2	2	2	2	2	2	2				2	2		2	2			2	3	3	4	3	4	4	2
Mentha aquatica															3	4	3	3	3	4	3	3	4	4	4	
Molinia caerulea																										
Myosotis scorpioides																										
Nymphaea alba																										
Peucedanum palustre						1		2					2	2	3	4	3	2	2	3	4	3	4	3	2	
Phragmites australis	2	3	4	4	3	4	4	5	4	5	5	4	6	6	6	6	5	4	4	6	5	5	6	6	4	3
Potamogeton gramineus																			2	2						
Pulicaria dysenterica				2																						
Salix cinerea	4	2														1										2
Scrophularia umbrosa																										
Scutellaria galericulata			2	2	2		2	2	2	2	2	2	2	2		2			2	2	3	2		2	3	1
Senecio paludosus																										
Solanum dulcamara																										
Solidago gigantea				1																						
Sonchus oleraceus				1																						
Stachys palustris		2	2																1	4	3	3	4	4	1	
Symphytum officinale		1								2	2	3	4	4						3	3	4	3			
Thalictrum flavum		2	2	1																					3	
Typha angustifolia																						3	5	6	3	
Utricularia intermedia																2										

Indices de diversité de Hill calculé pour chaque groupe. ZF: zone fauchée, ZNF: zone non fauchée.
Ces indices varient de 1 (diversité nulle) à S (nombre d'espèces)

Espèces rares					Espèces de faciès				
n° relevé	diversité ZF	nombre d'espèces ZF	diversité ZNF	nombre d'espèces ZNF	n° relevé	diversité ZF	nombre d'espèces ZF	diversité ZNF	nombre d'espèces ZNF
0	1,1	2	1,0	0	0	1,1	2	1,1	2
1	2,0	2	1,0	1	1	3,8	4	2,2	4
2	1,3	2	1,5	2	2	2,9	3	1,8	3
3	1,1	2	1,1	2	3	2,7	4	1,8	4
4	1,0	1	1,0	1	4	2,7	4	1,4	4
5	1,0	1	1,0	1	5	2,7	4	1,8	4
6	1,0	1	1,0	1	6	2,7	4	1,8	4
7	1,0	1	1,0	1	7	3,0	4	2,5	4
8	1,0	1	1,0	1	8	3,2	4	2,2	4
9	1,2	3	1,0	1	9	3,6	4	3,1	4
10	1,2	3	1,0	1	10	3,6	4	2,3	4
11	1,0	1	1,0	1	11	3,1	4	1,8	3
12	1,1	2	1,0	1	12	3,2	4	2,0	2
13	1,0	1	1,0	1	13	3,0	3	2,0	2
14	2,0	4	1,1	2	14	2,7	4	2,9	3
15	1,2	3	1,1	2	15	2,5	3	3,0	3
16	1,5	2	1,0	1	16	2,9	3	2,5	3
17	1,5	2	1,0	0	17	2,6	3	1,8	3
18	1,2	3	1,1	2	18	2,6	3	2,2	3
19	1,2	3	1,1	2	19	2,6	3	2,9	3
20	1,0	1	1,0	1	20	2,6	3	2,1	3
21	1,0	1	1,1	2	21	2,9	4	2,7	4
22	1,0	1	1,0	1	22	3,4	4	3,4	4
23	1,6	3	1,0	1	23	3,6	4	3,6	4
24	1,0	1	1,0	1	24	2,4	4	2,4	4
25	1,0	0	1,0	0	25	1,9	2	1,2	3

Espèces hygrophiles					Espèces ligneuses				
n° relevé	diversité ZF	nombre d'espèces ZF	diversité ZNF	nombre d'espèces ZNF	n° relevé	diversité ZF	nombre d'espèces ZF	diversité ZNF	nombre d'espèces ZNF
0	1,0	1	1,0	1	0	1,8	3	1,8	3
1	1,0	1	1,0	1	1	1,5	4	2,8	4
2	1,0	1	1,0	1	2	1,3	3	1,6	2
3	1,0	1	1,0	1	3	1,5	3	1,0	2
4	1,0	1	1,0	1	4	1,5	2	1,0	1
5	1,0	1	1,0	1	5	1,6	2	2,0	2
6	1,0	1	1,0	1	6	1,2	3	1,0	1
7	1,0	1	1,0	1	7	1,0	1	2,0	2
8	1,0	1	1,0	1	8	1,0	1	1,0	0
9	1,0	1	1,0	1	9	1,0	1	1,0	1
10	1,0	1	1,0	1	10	1,0	1	1,0	0
11	1,0	1	1,0	1	11	1,0	0	1,0	1
12	1,1	2	1,0	1	12	1,0	0	1,0	0
13	1,0	1	1,0	1	13	1	0	1,0	0
14	1,5	4	1,0	1	14	1,0	0	1,0	0
15	1,0	2	1,0	2	15	1,0	1	1,0	1
16	1,1	2	1,0	1	16	1,0	0	1,0	0
17	1,5	4	1,0	1	17	1,0	0	1,0	0
18	1,8	3	1,3	3	18	1,0	1	1,0	1
19	1,8	3	1,0	2	19	1,0	1	1,0	0
20	1,0	1	1,0	1	20	2,5	4	1,0	1
21	1,4	3	1,3	2	21	1,6	2	1,1	2
22	3,6	4	2,0	3	22	1,0	0	1,0	0
23	3,6	5	2,1	4	23	1,0	1	1,0	1
24	1,6	2	1,6	2	24	1,0	1	1,0	1
25	1,0	1	1,0	1	25	1,0	3	1,8	3

Niveau relatif du sol [cm] par relevé



Annexe V : Liste des espèces végétales perdues et nouvelles par rapport à l'étude de Keller (1970).

ESPECES PERDUES	ESPECES NOUVELLES
Galium elongatum	Agrostis stolonifera
Lemna minor	Alnus glutinosa
Phalaris arundinacea	Alnus incana
Ranunculus flammula	Betula pendula
Schoenus nigricans	Calamagrostis epigejos
Sparganium erectum	Calystegia sepium
Typha latifolia	Cardamine palustris
Utricularia ochroleuca	Carex acutiformis
Utricularia vulgaris	Carex lasiocarpa
	Carex rostrata
	Dactylorhiza incarnata
	Dryopteris carthusiana
	Eleocharis uniglumis
	Epilobium roseum
	Epilobium tetragonum
	Equisetum palustre
	Frangula alnus
	Humulus lupulus
	Hypericum tetrapterum
	Liparis loeselii
	Myosotis scorpioides
	Potamogeton gramineus
	Salix cinerea
	Scrophularia umbrosa
	Solidago gigantea
	Sonchus oleraceus
	Symphytum officinale
	Utricularia intermedia