INCIDENCES DES FLUCTUATIONS DU NIVEAU DU LAC DE NEUCHÂTEL SUR LA FAUNE PISCICOLE

13 avril 1994

Mandat délivré par la Commission intercantonale de la pêche dans le lac de Neuchâtel

ENVIRONNEMENT & SCIENCES AQUATIQUES

AQUARIUS

FISCHEREI- UND UMWELTBIOLOGIE

CASE POSTALE 67 - CH-2001 NEUCHÂTEL - (038) 24 72 62 - (077) 37 27 57

ZWEIGSTELLE: 4588 UNTERRAMSERN

ENVIRONNEMENT &
SCIENCES AQUATIQUES

AQUARIUS

FISCHEREI- UND
UMWELTBIOLOGIE

INCIDENCES DES FLUCTUATIONS DU NIVEAU DU LAC DE NEUCHÂTEL SUR LA FAUNE PISCICOLE

Mandat délivré par la
Commission intercantonale de la pêche
dans le lac de Neuchâtel

Rédaction :

Blaise Zaugg & Jean-Carlo Pedroli, Drs sc. nat.
Claudia Zaugg, Lic. sc. nat.

AQUARIUS

CH-Neuchâtel, le 13 avril 1994

CASE POSTALE 67 - CH-2001 NEUCHÂTEL - (038) 24 72 62 - (077) 37 27 57
ZWEIGSTELLE: 4588 UNTERRAMSERN

SYNTHÈSE GÉNÉRALE

PROPOSITION D'UNE COURBE "PISCICOLE" IDÉALE DES FLUCTUATIONS DU NIVEAU DU LAC

1. GÉNÉRALITÉS - ÉTABLISSEMENT DE VARIANTES 28

2. RÉSULTATS ET COMMENTAIRES

2.1 Généralités 29
2.2 Domaine prioritaire : Population de brochet - frai et développement des juvéniles
2.2.1 Niveau du lac 30
2.2.2 Période de la crue printanière 30
2.2.3 Baisse graduelle du niveau du lac après la crue printanière 31
2.2.4 Baisse ponctuelle du niveau du lac après la crue printanière 32
2.3 Domaine important : Pêche du brochet
2.3.1 Niveau du lac 32
2.3.2 Période de la crue printanière 33
2.3.3 Baisse graduelle du niveau du lac après la crue printanière 33
2.3.4 Baisse ponctuelle du niveau du lac 33
2.4 Domaine important : Faune piscicole autre
2.4.1 Niveau du lac 34
2.4.2 Période de la crue printanière 34
2.4.3 Baisse graduelle du niveau du lac après la crue printanière 35
2.4.4 Baisse ponctuelle du niveau du lac après la crue printanière 35
2.5 Courbe piscicole des fluctuations de niveau du lac

CONCLUSIONS & COMMENTAIRES

1. GÉNÉRALITÉS 40

2. INCIDENCES PROBABLES DES MESURES DE LUTTE CONTRE L'ÉROSION 40

3. MESURES LOCALES D'AMÉNAGEMENT 41

4. INCIDENCES DES FLUCTUATIONS DU NIVEAU SUR D'AUTRES MILIEUX AQUATIQUES 41

ANNEXES 1 à 6

DOCUMENTATION PHOTOGRAPHIQUE

Bibliographie

Remerciements

INTRODUCTION

Il y a un peu plus d'une centaine d'années, les trois lacs subjurassiens, Morat, Neuchâtel et Bienne étaient liés par de vastes zones marécageuses intégralement inondées au moment de la fonte des neiges. Ces vastes territoires ont depuis un peu plus d'un siècle subi de considérables modifications provoquées par les travaux des deux corrections des eaux du Jura.

La première correction des eaux du Jura (1869-1891) exonda la région du Seeland fournissant ainsi de nombreuses terres propices à l'agriculture.
Du point de vue hydraulique, les bouleversements dûs à ces travaux ont été très importants, avec principalement un abaissement du niveau moyen des trois lacs de 3 mètres environ. L'abaissement du niveau des lacs exonda une partie importante de la zone littorale peu profonde qui existait principalement sur la rive sud du lac de Neuchâtel et par endroits sur les lacs de Morat et de Bienne. C'est sur ces nouvelles surfaces de grève et beine qu'un milieu palustre et aquatique d'une grande richesse s'est créé. Du point de vue de la nature, on peut considérer que ces nouveaux terrains marécageux, en particulier la "grande Cariçaie" de la rive sud du lac de Neuchâtel dont le statut de protection est contenu dans de nombreuses dispositions légales fédérales et cantonales, ont très partiellement compensés les vastes zones humides exondées.

Entre 1962 et 1973 se sont déroulés les travaux de la deuxième correction des eaux du Jura dont le principal but était la diminution des inondations qui avaient encore lieu dans le Seeland et plus en aval dans la région de Soleure. Par des travaux de régulation des eaux, la cote des hautes eaux des lacs a été abaissée, de plus l'amplitude des fluctuations des niveaux des lacs subjurassiens, aggravée par la première correction, a été fortement réduite, ceci par l'augmentation de la capacité de vidange des exutoires.

Sur le plan hydraulique, la régulation des eaux des lacs subjurassiens est complexe puisqu'elle doit tenir compte de quantités d'événements météorologiques qui ont lieu sur un vaste bassin versant. Ainsi, la question de la régulation des trois lacs subjurassiens fait l'objet d'un règlement adopté par les représentants des cantons de Vaud, Fribourg, Neuchâtel, Berne et Soleure.

OBJECTIFS & CADRE DU MANDAT

L'application du règlement de régulation des eaux des lacs subjurassiens fit rapidement ressortir un certain nombre d'inconvénients touchant aussi bien à l'agriculture, qu'à la protection de la nature et à la pêche. A l'occasion d'un réexamen de ce règlement, les autorités compétentes ont décidé d'entreprendre un certain nombre d'études qui doivent permettre d'optimaliser le règlement de régulation des eaux des lacs subjurassiens. Sur le plan scientifique, les travaux sont coordonnés par le Dr. A. Kühne du laboratoire de recherches hydrauliques, hydrologiques et glaciologiques de l'EPFZ (VAW, ETH-Zentrum).

C'est dans ce contexte que l'examen des incidences sur la faune piscicole et la pêche de la régulation artificielle des lacs subjurassiens a été confié le 19 janvier 1990 par la Commission intercantonale de la pêche dans le lac de Neuchâtel au bureau AQUARIUS (Neuchâtel). A dessein, le mandant a concentré l'examen de cette question au seul lac de Neuchâtel, et en particulier à sa rive sud. Au sein des trois lacs subjurassiens, il s'agit en effet non seulement de la zone potentiellement la plus riche, mais également de celle qui est la plus sensible aux effets des fluctuations artificielles du lac.

Le libellé des questions auxquelles devait répondre l'étude des incidences des fluctuations du niveau du lac de Neuchâtel sur la faune piscicole est le suivant :

a) *Quelles sont les relations entre l'étendue des zones lagunaires et le niveau du lac ?*

b) *Quelle est l'importance des zones lagunaires pour le frai et le développement du brochet et pour différentes autres espèces de poissons vivant dans le lac, en particulier celles qui sont rares et menacées ?*

c) *A partir de quel moment de l'année, combien de temps et selon quels critères les zones lagunaires doivent-elles être inondées ?*

RELATION "ZONES LAGUNAIRES - NIVEAU DU LAC"

1. DYNAMIQUE GÉNÉRALE DE LA RIVE SUD DU LAC DE NEUCHÂTEL

1.1 L'érosion : un rééquilibrage de la 1ère correction des eaux du Jura

Comme précédemment signalé, les zones marécageuses de la rive sud du lac de Neuchâtel résultent de l'abaissement du niveau du plan d'eau suite à la première correction des eaux du Jura. Ces territoires gagnés sur le lac sont donc la conséquence d'un déséquilibre artificiel dans la dynamique de la zone littorale que les phénomènes hydrauliques et physiques naturels lacustres tendent à corriger. Ce rééquilibrage se manifeste en particulier par une érosion importante due à l'action des vagues qui affecte une grande portion du rivage. Aujourd'hui, environ 40 % des rives du tronçon Yverdon-Estavayer et 20 % des rives situées entre Estavayer et la Broye subissent des phénomènes d'érosion. Pour ces tronçons, la rive a respectivement reculé depuis la première correction des eaux du Jura de 1.6 m/an et 1.4 m/an. Globalement, les surfaces de roselières et de marais déjà perdues (érosion moins atterrissement) sont de 5.26 km^2 et il a été estimé que sans mesures de protection anti-érosion, l'équilibrage du rivage serait atteint dans 100 à 200 ans. En de nombreux endroits, les zones marécageuses et roselières lacustres auraient alors presque disparu et la rive atteindrait le pied de la falaise de molasse ou des constructions "en dur" telles que routes ou voies ferrées.

Comme la rive sud constitue la seule compensation naturelle des zones asséchées du Seeland suite à la première correction des eaux du Jura, ces phénomènes d'érosion sont à juste titre considérés comme très préoccupants. A cet effet, un groupe de travail "Erosion de la rive sud" a été mis sur pied par les cantons de Vaud et Fribourg et le groupe d'étude et de gestion des rives (GEG). Son but est d'examiner cette situation et de proposer des solutions concrètes pour y remédier. Actuellement, un avant-projet de mesures constructives de protection est en cours d'élaboration (AQUARIUS-VAW, 1994).

Dans le cadre de la présente étude, ces ouvrages de protection seront pris en compte dans la mesure où ils sont susceptibles de créer de nouvelles zones lagunaires ou d'avoir une incidence sur celles existant.

1.2 L'atterrissement : un effet de la 2ème correction des eaux du Jura

La deuxième correction des eaux du Jura a eu pour effets d'abaisser le niveau des hautes eaux et de diminuer l'amplitude des fluctuations du niveau du lac. Cette modification influe sur la végétation marécageuse qui doit vivre "les pieds dans l'eau" en favorisant les plantes supportant périodiquement un assèchement au détriment des espèces franchement palustres. Ce changement, qui se manifeste déjà à partir d'une variation de quelques centimètres du niveau de l'eau pendant certaines périodes cruciales, provoque l'accélération de l'atterrissement du marais; des surfaces s'embroussaillent et les lagunes (surfaces d'eau libre isolées par un cordon littoral) se comblent petit à petit.

La question posée dans le cadre du présent mandat découle directement des phénomènes d'atterrissements. Elle vise à procéder à un constat en déterminant d'une part l'évolution de la surface des zones lagunaires et leur dimension et accessibilité en fonction du niveau du lac.

2. MÉTHODES D'INVESTIGATION

Le phénomène d'atterrissement à long terme a déjà fait l'objet d'un examen détaillé sur la base des documents cartographiques à disposition (RENEVEY, 1981/82). Dans le présent rapport, nous reprendrons les données essentielles et conclusions de cet auteur qui portent sur une période s'étendant de 1937/46 à 1979.

Les relations directes et visibles entre la surface des lagunes et le niveau du lac ont été établies sur la base de photos aériennes effectuées par le service topographique national pour le groupe de gestion des rives.
Dans un premier temps, nous avons repéré et décrit sur cette base l'ensemble des 27 principales lagunes présentant un intérêt piscicole reconnu ou potentiel de la rive sud du lac (annexe 1). Ce premier inventaire a été complété par une enquête auprès des pêcheurs professionnels du lieu. Douze lagunes ou complexes de lagunes particulièrement bien visibles et circonscrits sur les photos aériennes et n'ayant pas subi de modifications artificielles (en particulier opérations d'entretien par recreusement) au cours des dernières années ont été retenus. Dans la collection disponible de photos aériennes, nous avons sélectionné deux situations de niveaux du lac différents permettant d'évaluer la variation de la surface des lagunes. Il s'agissait d'une part d'une situation avec un niveau d'eau du lac relativement élevé (429.68 m s.m.; photos prises le 23 mai 1986) et d'autre part d'une situation avec un niveau du lac sensiblement plus bas (429.21 m s.m; photos prises le 6 avril 1989). Les clichés devaient naturellement avoir été pris au début de la période de végétation.

3.2 Relation surface des zones lagunaires / niveau du lac

Sur un total de 27 lagunes (ou complexes de lagunes et chenaux) recensés, douze correspondaient aux caractéristiques nécessaires à l'évaluation de leur surface en fonction du niveau sur la base des photos aériennes, soit :

- être distinctement circonscrites;
- ne pas avoir été modifiées artificiellement entre les deux dates de prises de vue.

La planimétrie, basée sur les photos aériennes prises le 23 mai 1986 à un niveau du lac de 429.68 m s.m. et le 6 avril 1989 à un niveau de 429.21 m s.m., révèle qu'une baisse de niveau de 47 cm, entraîne une perte de la surface en eau des lagunes de l'ordre de 40 %.

Toutefois, aucune règle fiable permettant une extrapolation des modifications de surface des lagunes en fonction des niveaux du lac n'a pu être émise pour les raisons suivantes :

- Le mode de circulation de l'eau des lagunes est complexe, celles-ci sont en effet susceptibles d'être alimentées par le lac, via des chenaux et des infiltrations à travers la dune, par la nappe et par des cours d'eau. Ces apports et exports intervenant souvent, pour la même lagune, conjointement et à des degrés divers. Citons à titre d'exemple certaines lagunes dont les surfaces étaient plus élevées à bas niveau qu'à haut niveau.

- La géométrie tridimensionnelle des lagunes interdit toute relation linéaire entre la surface et le niveau du lac.

- Aucune information quant à la profondeur d'eau, par conséquent à la viabilité piscicole des surfaces inondées/exondées ne peut être tirée sur la base des photos.

- Seules deux séries de photos permettaient d'effectuer les comparaisons entre les surfaces des lagunes et le niveau du lac.

3.3 Relation accessibilité-viabilité des zones lagunaires / niveau du lac

Les résultats des mesures effectuées dans les lagunes et leurs entrées (chenaux) à différents niveaux du lac sont synthétisées dans la figure 1, page suivante.

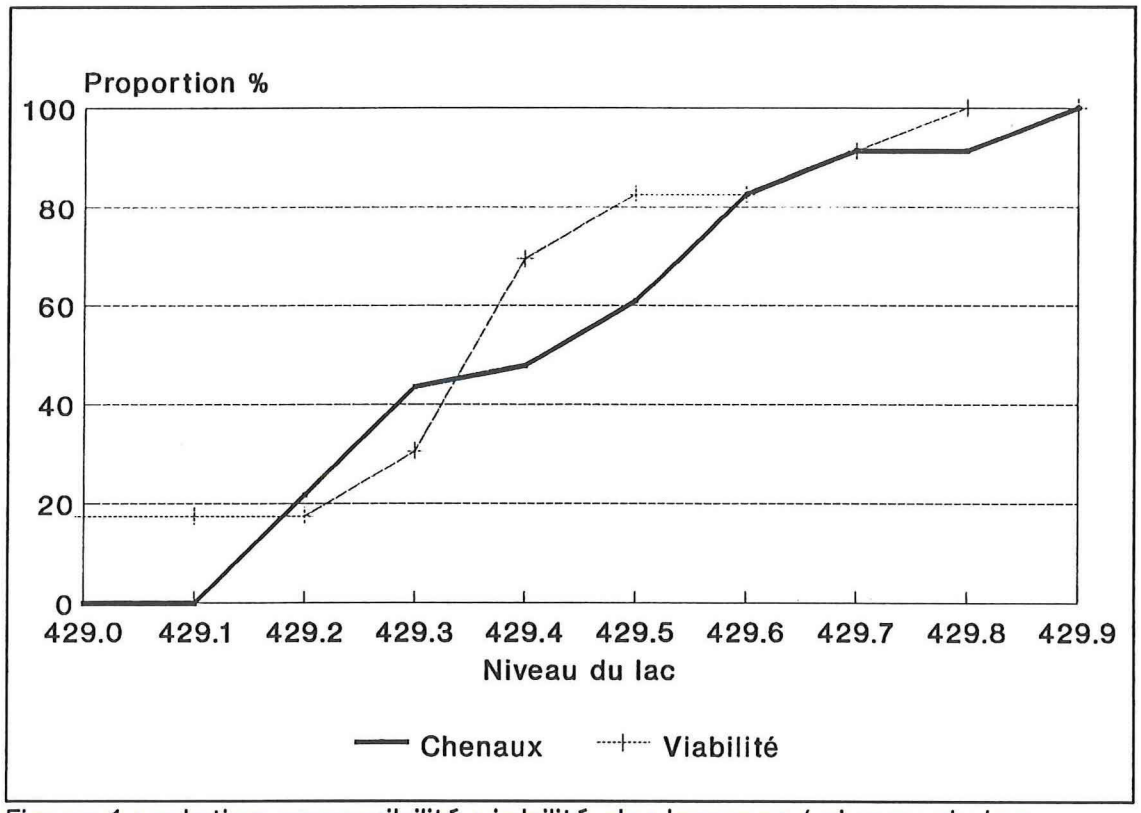


Figure 1 : relation accessibilité-viabilité des lagunes / niveau du lac

Globalement, on constate qu'avec un niveau du lac de 429 m s.m., aucune lagune n'est accessible à la faune piscicole; pour que la moitié des zones lagunaires puisse être colonisée par les poissons et soit viable dans de bonnes conditions, le niveau du lac doit être de 429.45 m s.m. environ. Avec un niveau lacustre de 429.90 m s.m., "toutes" (23 sites répertoriés) les lagunes sont accessibles et propices à la faune piscicole.

Ces résultats seront déterminants dans l'établissement des variantes "piscicoles" de courbes de fluctuations du niveau du lac.

Il a été constaté que très souvent, l'accessibilité aux lagunes était limitée sur de très courts tronçons des chenaux par des débris végétaux ou un ensablement très localisé.

IMPORTANCE DES ZONES LAGUNAIRES POUR LA FAUNE PISCICOLE

1. GÉNÉRALITÉS

De nombreux travaux, dont certains effectués sur le lac de Neuchâtel (QUARTIER(1968), DUFOUR & al.(1987), NEUENSCHWANDER(1989)), ont déjà attesté l'importance des zones lagunaires pour le frai du brochet. Dans le contexte du présent travail, il ne s'agissait pas de démontrer à nouveau cet élément mais, en regard d'une révision du règlement de régulation des eaux des lacs subjurassiens, de définir les périodes pendant lesquelles:

- les zones lagunaires jouent un rôle important pour le brochet;
- la libre circulation entre les lagunes et le lac doit être garantie.

L'importance que revêtent les zones lagunaires pour d'autres taxons de poissons est beaucoup moins évidente et connue. Nous avons donc entrepris de déterminer le rôle de ces milieux pour la faune piscicole dans son ensemble, en particulier pour les espèces rares.
Dans ce contexte nous avons avant tout recherché si les lagunes constituaient, pendant tout ou partie de l'année, un milieu plus ou moins exclusif pour certaines espèces de poissons.

2. MÉTHODES D'INVESTIGATION

Un certain nombre de données de base ont été obtenues par l'examen de la littérature, des statistiques de pêche dans le lac de Neuchâtel ainsi qu'à l'aide d'enquêtes auprès des pêcheurs professionnels. Elles permettent une première approche afin de caractériser l'intérêt piscicole et halieutique des différentes lagunes et fournissent les indications de fond sur la biologie de reproduction du brochet.

Le recensement de la faune piscicole a principalement été effectué à l'aide de pêches à l'électricité effectuées dans la période allant de mai à septembre, entre une à trois fois en 1991 et 1 fois en 1992 dans 30 sites distincts de la rive sud situés entre le canal de la Thielle (effluent) et la région des Tuileries (Yverdon) (annexe 1). Au total 70 pêches ont ainsi été pratiquées.

Celles-ci avaient pour but d'établir le spectre des espèces, leur localisation, leur abondance (selon la technique des indices ponctuels d'abondance (NELVA & al., 1979)) ainsi que l'existence d'une reproduction naturelle pour chacun des taxons.
Le procédé des indices ponctuels d'abondance (EPA) nécessite une série d'échantillonnages ponctuels de surface connue. Chaque point de mesure doit être hors de l'influence des précédents. La multiplication des points de mesures sur l'ensemble de chaque site étudié réduit les erreurs d'échantillonnage (ici 10 points de mesures sur un linéaire de 10 m par site). Le traitement des résultats permet une estimation de l'abondance relative des différentes espèces.

Afin de compléter ces données et tenter de recenser des oeufs et/ou alevins de brochets, trois campagnes d'observation en plongée et au moyen d'un bathyscope ont également été effectuées. De surcroît, nous avons participé a deux opérations d'élimination de végétation aquatique submerse de la beine (herbiers) par une faucardeuse dans le but d'échantillonner les espèces capturées accidentellement lors de cette opération et ainsi améliorer le spectre qualitatif des espèces recensées dans ce type d'habitat.

Les résultats d'échantillonnages (pêches électriques et aux engins) effectués dans le cadre d'autres travaux ont également été utilisés.

Dans le terrain en sus de mesures "bathymétriques" du niveau des chenaux et des lagunes (se référer au § 3), nous avons procédé à une série d'analyses physico-chimiques standard de la qualité des eaux. Celles-ci ont eu lieu pendant la période estivale, au cours de laquelle la qualité physico-chimique des eaux est susceptible d'être la plus critique pour la vie aquatique. Précisons qu'à titre de comparaison nous avons également procédé à des investigations similaires dans la zone littorale proprement dite.

3. RÉSULTATS - PHYSICO-CHIMIE

3.1 Caractéristiques physiques des zones lagunaire et littorale

Pour la rive sud du lac de Neuchâtel, un certain nombre de caractéristiques physiques permettent de distinguer les zones lagunaires de la zone littorale lacustre proprement dite (tableau 2).

Tableau 2 : caractéristiques physiques des zones littorale et lagunaire

Critères	Zone littorale	Zone lagunaire
Température C°	amplitude moyenne réchauffement printanier lent	amplitude élevée réchauffement printanier rapide
Circulation des eaux	importante courant action des vagues	faible abrité
Sédiment/substrat	relativement uniforme	relativement variable
Profondeur	≤ 12 m	≤ 1 m

D'une façon générale et par rapport au frai des poissons, les zones lagunaires se distinguent essentiellement de la zone littorale lacustre par un réchauffement printanier plus rapide des eaux et par des plans d'eau très calmes non (ou peu) soumis à l'action des vagues.

Soulignons que nos observations ont montré que certaines portions de la zone littorale, en particulier celles de très faible profondeur (inférieure à 1 m) et situées à l'arrière et/ou au sein des roselières lacustres présentent certaines caractéristiques similaires à celles des lagunes. Leur faible profondeur autorise un rapide réchauffement des eaux et le brassage est réduit par l'effet amortisseur de la roselière. Ces zones sont également souvent accessibles via un chenal au sein de la roselière.

3.2 Caractéristiques chimiques des zones lagunaire et littorale

Nos analyses ont été effectuées le 25 août 1991 dans sept lagunes et deux zones témoins de la zone littorale. Elles ont porté sur les paramètres suivants NH_4^+, NO_2^-, NO_3^-, OD et température. De plus nous avons noté l'éventuel dégagement caractéristique de H_2S. Les résultats de ces analyses sont reportés sur le tableau 3, page suivante.

Tableau 3 : résultats des analyses chimiques

Situation (annexe 1)	NH_4^+ mgN/l	NO_2^- mgN/l	NO_3^- mgN/l	OD mgO_2/l	odeur H_2S	T°C
Z.litt. Champmartin	<0.01	<0.001	0.81	8.82	non	22
Z.litt. Yvonand	<0.01	<0.001	0.61	11.34	non	23
Lag. 6/Yvonand	<0.01	<0.001	0.43	6.12	non	23
Lag. 7/la Maladaire	<0.01	<0.001	0.55	7.06	non	22
Lag.21/Pierre Noire	<0.01	<0.001	0.47	6.02	non	23
Lag.24/Champmartin	<0.01	<0.001	0.57	8.01	non	22
Lag. 2/Champ-Pittet	<0.01	<0.001	0.87	5.56	oui	24
Lag. 3/Cheseaux	<0.01	0.049	3.51	3.87	oui	25
Lag. 4/Châble-Perron	0.16	<0.001	0.47	5.86	oui	24

Les analyses chimiques, délibérément effectuées en période "critique", étaient destinées à mettre en évidence les éventuelles différences entre milieux aquatiques et à déceler les éventuels paramètres chimiques pouvant avoir une influence négative sur la faune piscicole.

Les deux prélèvements effectués sur la zone littorale présentent des résultats similaires. Aucun des paramètres mesurés n'atteint des valeurs pouvant être considérées comme critiques. Globalement, les résultats obtenus s'inscrivent dans les fourchettes de valeurs mesurées à pareille époque partout ailleurs le long du bord du lac. Relevons que l'oxygène dissous est sursaturé, ce qui témoigne de la présence d'une forte végétation subaquatique.

Des différences de qualité d'eau sont mise en évidence entre les sept lagunes. Celles-ci possèdent par conséquent des caractéristiques propres qui dépendent principalement du mode de circulation de leurs eaux (importance relative entre alimentation par la nappe, un ou plusieurs cours d'eau et/ou un ou plusieurs chenal(ux)). Dans deux cas (lagunes 3 & 4), on relève que les seuils de toxicité pour la faune piscicole sont atteint par les composés d'azote, l'oxygène dissous (et l'hydrogène sulfuré) (ALABASTER & al., 1980; USPEA, 1976; MÜLLER, 1991).

4. RÉSULTATS - FAUNE PISCICOLE

4.1 Espèces recensées

Les pêches à l'électricité pratiquées ont permis de recenser 11 taxons présents dans les lagunes, les chenaux et sur la frange littorale riveraine (roselières ou herbiers). A cette liste s'ajoutent quatre autres espèces (marquées d'un * dans le tableau 4) observées dans ces milieux dans le cadre d'autres travaux effectués sur la rive sud du lac de Neuchâtel (AQUARIUS, 1991; ZAUGG, 1983 & 1987). Les autres méthodes d'investigations n'ont pas permis d'augmenter le spectre des espèces recensées.
Au total, les 15 espèces suivantes doivent donc faire l'objet d'une analyse vis à vis de leur sensibilité aux fluctuations du niveau du lac (tableau 4).

Tableau 4 : spectre des poissons recensés

Taxons	Z. lagunaire				Z. littorale			
	lagunes		chenaux		roselières		herbiers	
	juv	ad	juv	ad	juv	ad	juv	ad
Brochet (Esox Lucius)	+		+		+		++	
Brème franche (Abramis brama)	+	+	+	+	+	+	+	+
Brème bordelière (Blicca bjoerkna)*					+	+	+	+
Ablette (Alburnus alburnus)	+		+				++	+
Carpe (Cyprinus carpio)*	+	+			+			+
Bouvière (Rhodeus amarus sericeus)	++	++	++	++	++	++	+	+
Gardon (Rutilus rutilus)	+		++			++	+	+++
Rotengle (Scardinius erythrophtalmus)	+	+	+			+	+	++
Tanche (Tinca tinca)	+	+	++	+		+	+	+
Goujon (Gobio gobio)	+		+		++	+	+	+
Loche franche (Noem. barbatulus)						+	+	+
Loche de rivière (Cobitis taenia)			+++	++	++	+	++	++
Silure (Silurus glanis)*		+				+		
Perche (Perca fluviatilis)	+	+	+		++	+	+	+++
Palée (Coregonus ssp.)*								(+)
Alevins indéterminés < 10 mm	+++				++			
Totaux (sans les alevins ind.)	10	7	10	4	8	11	12	13
Spectre des espèces par habitat	11		10		13		14	

Légende : + abondance relative faible
++ abondance relative moyenne
+++ abondance relative élevée

Les sites analysés sont divisés en quatre catégories : lagunes, chenaux d'accès aux lagunes; roselières lacustres et herbiers de la zone littorale riveraine (prof. ≤ 1m). Pour chaque espèce de poisson, nous avons séparés les adultes des juvéniles (0+). En cas de présence de ces derniers nous avons admis que soit le taxon considéré se reproduisait dans le milieu proprement dit ou à proximité immédiate, soit que l'habitat revêtait une importance particulière dans le développement des juvéniles.

Il ressort de nos observations (tableau 4, page précédente) que tant du point de vue quantitatif que qualitatif, les lagunes (et chenaux) sont les plus pauvres alors que les herbiers sont les plus riches. Cette observation étant valable pour les juvéniles comme pour les adultes.

L'examen détaillé des pêches effectuées à l'intérieur même des sept lagunes au sens strict, soit celles qui sont isolées du lac par un cordon littoral et dont la relation avec celui-ci n'est possible que par le biais d'un ou plusieurs chenaux (tableau 5) bien marqués, montre la grande variabilité des résultats au sein de ces milieux :

Tableau 5 : résultats des pêches dans les lagunes (situation, annexe 1)

Lagunes →	2 Ch.-Pittet		3 Cheseaux		4 Ch.-Perron		6 Yvonand		7 Maladaire		21 P.-Noire		24 Ch.-Martin	
Taxons ↓	juv	ad	juv	ad	juv	ad	juv	ad	juv	ad	juv	ad	juv	ad
Brochet											+			
Brème franche											++	++		
Ablette													+	
Bouvière													+++	+++
Gardon											++		++	
Rotengle													+	+
Tanche							++	++	++	++	++	++	+	
Goujon													+	
Perche											++			+
Al. indét. <10mm	+						+		+		+++		+++	

Légende : + abondance relative faible
++ abondance relative moyenne
+++ abondance relative élevée

Si l'on considère les juvéniles et adultes, à l'exception des alevins indéterminés, le bilan est le suivant :

- 3 lagunes (n°2, 3 & 4) ne contenaient aucun poisson
- 1 lagune (n°6) contenait 1 taxon
- 1 lagune (n°7) contenait 1 taxon
- 1 lagune (n°21) contenait 5 taxons
- 1 lagune (n°24) contenait 7 taxons

Remarquons que les lagunes ne contenant ni poissons ni alevins (n°3 & 4) sont précisément celles dont les analyses ont révélé une qualité chimique des eaux défavorable à la vie piscicole (§ 3.2).

Bien que la présence de juvéniles dans les lagunes confirme, pour certains taxons, que ces zones sont propices et "utilisées" pour leur cycle reproductif et/ou de développement, aucun de ces poissons ne semble dépendre exclusivement des zones lagunaires pour assurer sa pérennité.

4.2 Incidences des fluctuations du niveau du lac

4.2.1 Généralités

Nous avons constaté que tant la zone lagunaire que la zone littorale riveraine constituaient pendant une grande partie de l'année des habitats favorables pour plusieurs espèces de poissons. Pour les 15 taxons vivant dans ces milieux, c'est incontestablement pendant la période de reproduction et les premiers stades de développement des alevins que les fluctuations du niveau du lac sont susceptibles d'avoir un impact majeur. En effet, on peut admettre qu'au moment où les jeunes poissons ont atteint une certaine aptitude à la natation, ils sont capables de fuir les zones exondées par l'abaissement des eaux.

4.2.2 Degrés de sensibilité des poissons aux fluctuations du niveau du lac

L'examen de la biologie de reproduction des 15 taxons nous a conduit à les classer en deux catégories en fonction de leur degré de sensibilité aux fluctuations du niveau du lac.

Selon les connaissances actuelles, hormis pour le brochet dont l'étude fera l'objet d'un chapitre particulier (§ 4.3), les variations de niveau du lac n'ont pour ces poissons pas d'incidence prépondérante sur leur comportement en période de frai (en particulier migratoire).

a) Espèces sensibles

- Majorité des zones de frai de profondeur inférieure à 1 m.
- Oeufs ou alevins se fixant dans les premiers stades sur un support immergé ou résidant dans un nid.

Les taxons suivants appartiennent à cette catégorie :

Brochet	Goujon	Rotengle
Silure	Brème franche	Tanche
Loche franche	Brème bordelière	Ablette
Loche de rivière		

A l'exception du brochet, toutes ces espèces ont une période de reproduction et de développement des alevins située entre avril et juin. La très faible profondeur des zones de frai ainsi que la relative immobilité et la concentration locale dans des habitats précis des alevins dans leurs premiers stades entraîne une très grande sensibilité à toute baisse du niveau d'eau.

b) Espèces peu sensibles

- Majorité des zones de frai de profondeur supérieure à 1 m.

Les taxons suivants appartiennent à cette catégorie :

Palée	Perche
Gardon	Bouvière

Ces espèces ont une période de reproduction et de développement des alevins situées entre décembre-janvier (palée), avril-mai (perche) et mai-juin (gardon & bouvière). Les frayères étant essentiellement situées à plus d'un mètre de profondeur, l'influence des fluctuations du lac est faible. De surcroît, hormis pour les alevins de gardon qui sont momentanément fixés à des supports immergés, les alevins de palées et de perches sont mobiles dès leur éclosion.
Le cas de la bouvière est particulier car ce poisson introduit ses ovules dans un bivalve par le biais d'un ovipositeur, la fécondation, l'incubation et le développement des larves se déroulent ensuite au sein de ce coquillage. Ce cycle reproductif est donc étroitement lié à la biologie des bivalves qui lui servent d'hôte. Ceux-ci vivant dans des zones "en permanence" inondées, la reproduction de la bouvière n'est qu'indirectement influencée par les fluctuations du niveau du lac. Seul l'examen de l'incidence des fluctuations du niveau du lac sur la biologie et l'abondance d'unio et/ou anodonta permettrait d'évaluer un impact éventuel sur la bouvière. Cette analyse sortait du cadre de l' étude.

4.3 Un cas particulier - le Brochet

4.3.1 Rappel de la biologie de reproduction du brochet

Cette brève description est tirée de diverses études détaillées et de synthèses bibliographiques sur le brochet (notamment SOUCHON (1983)).

Pendant la majeure partie de l'année le brochet est relativement sédentaire. Il vit essentiellement dans les herbiers de la zone littorale où, en tant que carnassier, il chasse ses proies à l'affût. La maturité sexuelle est précoce chez cette espèce, à deux ou trois ans; dans certains cas elle intervient dès la première année. La reproduction du brochet a lieu au tout début du printemps (février) mars-avril. Les individus quittent alors leur terrain de chasse et migrent dans des zones très peu profondes pour se reproduire ($\leq$ 1 m, strate préférentielle 0.2 à 0.6 m) . Le déclenchement de cette migration intervient à la faveur d'une montée des eaux; pour le lac de Neuchâtel, il est selon QUARTIER(1968) provoqué déjà à partir d'une augmentation de 10 cm du niveau du lac.
Les géniteurs peuvent rester longtemps sur les lieux de frai (30 à 110 jours), en particulier les mâles, toutefois la période de reproduction proprement dite (dépôt et fécondation des ovules) est beaucoup plus courte, de l'ordre de 10 à 30 jours pour le stock de géniteurs tout entier. Nos observations basées sur les rendements de pêche des brochets capturés par un échantillon de 11 pêcheurs professionnels de la rive sud entre 1986 et 1992 à proximité immédiate des frayères et au moment du frai corroborent ces valeurs. En effet, la période moyenne au cours de laquelle les rendements de pêche hebdomadaires sont supérieurs à la moyenne annuelle s'étend sur 100 jours (63 à 126 jours). Pendant la période de frai proprement dite, qui se déroule essentiellement au cours des mois de février, mars et avril, soit sur 89 jours, les rendements hebdomadaires de pêche supérieurs à la moyenne hebdomadaire au cours de cette période, sont de 30 jours (14 à 32 jours) (annexe 2).

Contrairement à la plupart des poissons, les ovules sont déposés en plusieurs fois ce qui permet une grande dispersion dans les frayères.
Le nombre de degré-jours est faible (environ 120) et par le fait que l'espèce recherche au printemps des eaux relativement chaudes, la durée d'incubation est très courte, elle se situe entre 10 et 15 jours. Sitôt éclos, les alevins se fixent pendant 5 à 10 jours sur un support végétal où, sans s'alimenter, ils résorbent leur vésicule vitelline. Il s'agit de la phase de suspension. Après cette phase intervient celle de la nage libre planctophage dont la durée est d'environ trois semaines. L'alevin commence à se déplacer et s'alimente de zooplancton vivant. Au terme de cette période, il mesure entre 3 et 4 cm. Dès cette taille il devient

vorace, se nourrit pendant un court laps de temps d'invertébrés puis très rapidement de poissons, souvent d'ailleurs de ses congénères les plus faibles.

Les travaux de GEIGER & al.(1975) effectués en laboratoire ont montré que pendant leurs premiers stades de développement, les brochetons sont très sensibles aux fluctuations du niveau du plan d'eau qui les abrite. Ces auteurs ont trouvé que pendant la phase de résorption de la vésicule vitelline des alevins et le début de la phase d'alimentation des jeunes poissons, la mortalité augmente sensiblement déjà lorsque surviennent des fluctuations supérieures à 10 cm, les alevins, peu ou pas mobiles ne pouvant pas compenser les baisses d'eau par des déplacements. Ainsi pour le brochet, on peut supposer que par rapport au niveau de l'eau, la **phase critique** qui comprend la migration et le séjour "actif" des géniteurs sur la frayère (10 à 30 jours), l'incubation (10 à 15 jours) et les premiers stades de développement de l'alevin (20 à 30 jours) est au total d'**environ 40 à 75 jours.**
Lorsque les jeunes brochets ont un régime alimentaire essentiellement piscivore, la croissance devient rapide et le comportement de chasse est alors similaire à celui de l'adulte. C'est à cette période également que les brochetons regagnent des terrains de chasse de la zone littorale. Pour autant qu'ils puissent regagner la zone littorale, leur sensibilité à la baisse des eaux est dès lors très réduite.

De ce qui précède, on peut caractériser l'habitat de frai optimal du brochet vivant dans un grand lac comme suit :

- peu profond (≤ 1 m)
- ne subissant "pas" de baisse du niveau et accessible depuis la zone littorale du début de la période de frai jusqu'au moment où les brochetons sont carnassiers;
- présentant un réchauffement printanier marqué;
- offrant de nombreux supports végétaux aux oeufs adhésifs puis aux alevins pendant la phase de suspension;
- calme, à l'abri des vagues afin d'éviter l'exondation périodique des oeufs ou alevins;
- riche en ressources alimentaires, en particulier très productifs en zooplancton.

Relevons enfin la grande tolérance des oeufs et alevins qui supportent des taux descendant jusqu'à 3 mg/l d'oxygène dissous.

4.3.2 Importance de la zone lagunaire de la rive sud du lac de Neuchâtel en tant que territoire de frai

4.3.2.1 Généralités

Si l'on se réfère aux caractéristiques optimales des habitats de frai pour le brochet, toutes les zones naturelles marécageuses abritées et d'une faible profondeur de la rive sud du lac de Neuchâtel représentent potentiellement des habitats de frai idéaux pour l'espèce.

Cette situation est notamment illustrée par le fait qu'entre 1986 et 1992, selon les statistiques de pêche, le 82 % (écart-type = 4,5 %) des captures annuelles de brochets calculé sur "un échantillon" de 11 pêcheurs professionnels de la rive sud ont été réalisées au cours des mois de février, mars et avril dans ce secteur (annexe 3).
Il est délicat de déterminer dans quelle mesure, par rapport aux autres zones marécageuses abritées et de faible profondeur, en particulier les roselières, les zones lagunaires proprement dites jouent un rôle déterminant pour le frai de l'espèce. Si l'on admet que la majorité des individus capturés dans les nasses à l'entrée des gouilles recherchent des zones lagunaires comme lieu de frai, les sondages effectués auprès des pêcheurs professionnels de la rive sud permettent d'estimer de façon très approximative qu'environ la moitié des prises de brochets au printemps s'effectuent dans ces lieux et par ce mode de pêche.

DUFOUR & al.(1987) dans leur étude de la migration des brochets dans le voisinage de cinq lagunes de la rive sud ont capturé 277 géniteurs dans les chenaux d'accès à 5 lagunes.

4.3.2.2 Recensement d'oeufs et d'alevins

DUFOUR & al.(1987) ont tenté d'observer des pontes ou alevins dans quatre lagunes de la rive sud au sein desquelles de nombreux géniteurs avaient migré pour se reproduire. Malgré des recherches minutieuses, aucun oeuf n'a pu être décelé alors que seuls trois alevins ont été observés.

Lors des trois campagnes d'observation en plongée et au bathyscope effectuées les 20 mars, 3 avril et 20 avril 1991 dans les lagunes et au sein des roselières, aucun oeuf ni alevin n'a été recensé.

Il semble donc que l'on se heurte à une difficulté méthodologique qui rend très difficile l'évaluation quantitative de la valeur d'une frayère de brochet basée sur le dénombrement des oeufs ou alevins.

4.3.2.3 Recensement de brochetons

La technique de recensement par pêche à l'électricité utilisée (indice ponctuel d'abondance (NELVA & al.,1979)) permet d'obtenir des indications sur l'abondance relative des brochetons dans les différents milieux analysés. En considérant un effort de pêche uniforme, la répartition des 31 brochetons recensés en 1991 et 1992 entre juin et septembre est la suivante (tableau 6) :

Tableau 6 : Résultats des recensements de brochetons

Zones	Lagunes	Chenaux	Roselières	Herbiers
Ind./m^2	1/210m^2	1/350m^2	1/175m^2	1/116m^2

La densité sensiblement plus élevée de brochetons dans les roselières et les herbiers semble indiquer que soit la reproduction y est plus intense ou plus efficace, soit que les brochetons ont déjà migrés des lagunes pour regagner ces secteurs littoraux. Malheureusement, les faibles quantités d'individus recensés excluent toute exploitation statistique des résultats.

Les résultats des recensements de brochetons dans les lagunes effectuées par DUFOUR & al.(1987) permettent d'aboutir aux mêmes conclusions. En effet selon ces auteurs la densité des brochetons âgés de 6 mois ne serait plus que de 1 ind/100m^2 dans les lagunes, ce qui, extrapolé à l'ensemble des surfaces de lagunes de la rive sud du lac de Neuchâtel ne représenterait que quelque 1054 individus !

Ces résultats sont susceptibles d'être biaisés par les conditions de niveau du lac au cours des années d'investigation. Pour les recensements effectués en 1987 (DUFOUR & al., 1987) et 1991/1992 dans le cadre de la présente étude, nous avons comparé la courbe des niveaux moyens du lac (période 1983-1990) à celle des années 1987, 1991 et 1992 (figure 2, page suivante).
On s'aperçoit dans les deux cas que la crue printanière a été relativement bien marquée mais que les niveaux sont restés nettement plus élevés en 1987 qu'en 1991 et 1992 où ils sont restés en dessous de la cote autorisant l'accès du 50% des lagunes aux géniteurs. Cette situation, cumulée aux nombreux autres facteurs d'incertitudes tant biologiques, physico-chimiques que méthodologiques rend difficile l'interprétation fine des données. On constate néanmoins une correspondance dans les ordres de grandeurs des brochetons recensés.

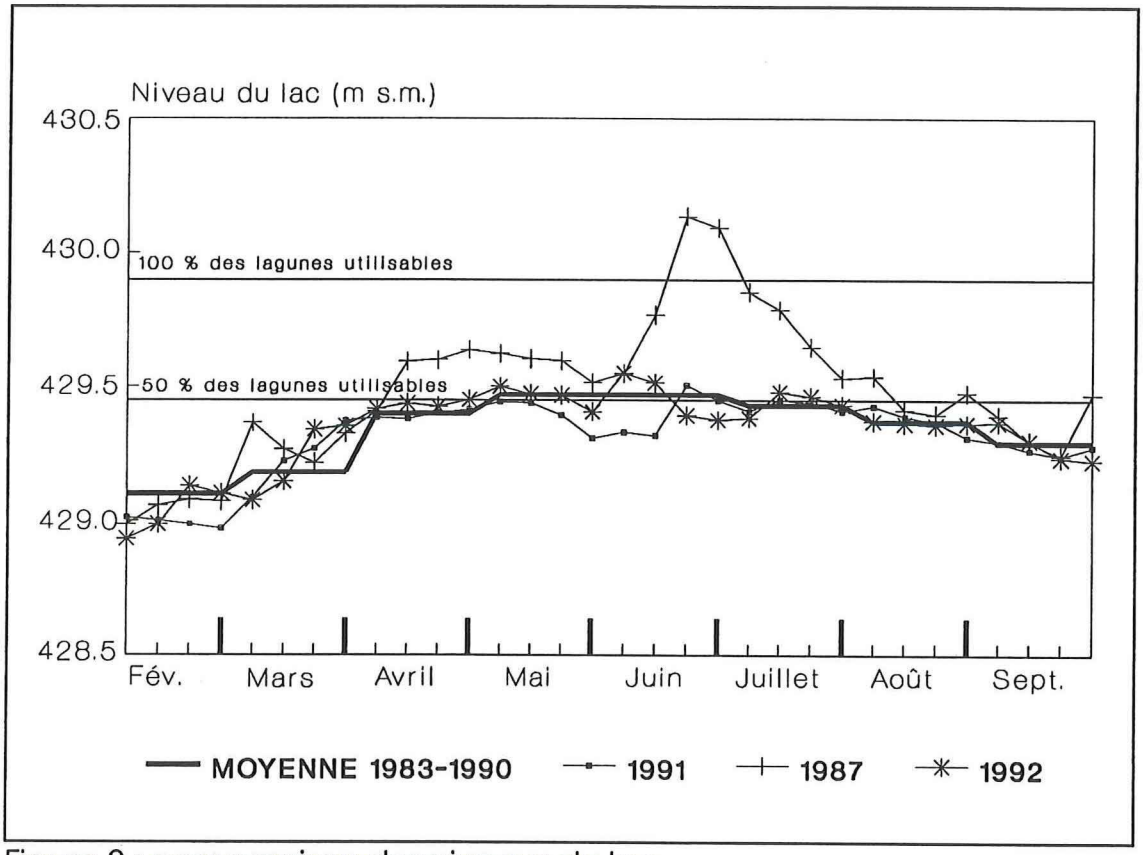


Figure 2 : comparaison des niveaux du lac

Les valeurs citées dans la littérature pour des frayères reconnues de brochets sont très variables, comprises dans une fourchette de 1 à 15 juvéniles de 3,5 cm pour 100 m^2 (SOUCHON, 1983). Compte tenu des taux de mortalité élevés des juvéniles, ces chiffres correspondent aux valeurs établies pour le lac de Neuchâtel.

4.3.2.4 Conclusions

On peut conclure que les lagunes, bien que dans une moindre mesure que les roselières peu profondes et abritées, jouent un rôle non négligeable comme lieu de reproduction et/ou de développement du brochet.

4.3.3 Importance de la zone lagunaire pour la pêche

Le rendement moyen de la pêche du brochet dans le lac de Neuchâtel de 1923 à nos jours est d'environ 7'800 kilos par année (Ecart-type=1491), moyennés par tranches de 10 ans, les rendements sont les suivants (figure 3, page suivante). On constate que la pêche du brochet au cours des 10

dernières années, avec 6'878 kg/an, se situe légèrement au dessous de la moyenne mais est plus régulière, les fluctuations annuelles lors de cette période sont en effet les plus faibles observées depuis 1923 (annexe 4). Les captures des amateurs représentent environ 20 à 35 % des rendements totaux.

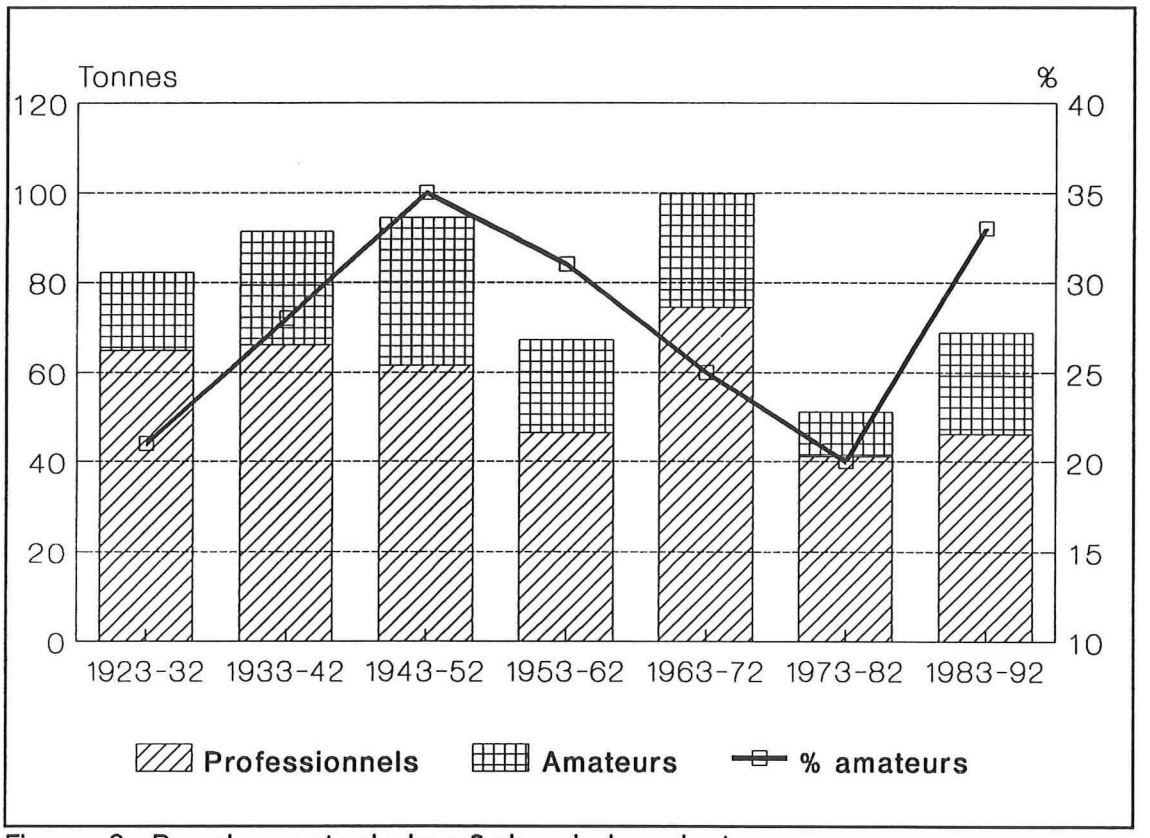


Figure 3 : Rendements de la pêche du brochet

Pour les professionnels, les captures ont essentiellement lieu pendant la période de reproduction (février, mars & avril). Les pêcheurs piègent alors au moyen de filets et de nasses les poissons lors de leurs déplacements vers ou sur les lieux de frai. Rappelons dans ce contexte que l'examen des statistiques détaillées de pêche "d'un échantillon" de 11 pêcheurs de la rive sud nous a permis de déterminer qu'entre 1986 et 1992, le 82 % des prises annuelles de brochet a été effectué pendant la période et sur les lieux de frai (§ 4.3.2.1). Remarquons qu'à un échelon plus général, la part capturée au cours de cette période n'a cesser d'augmenter, passant d'environ 30 % dans les années 1930 à 60-70 % actuellement (NEUENSCHWANDER, 1989).

Les prises des pêcheurs amateurs s'effectuent au moyen de lignes traînantes (pêche à la traîne) essentiellement le long de la zone littorale entre 6 et 15 m de profondeur.

4.3.4. Incidences du niveau du lac et de ses fluctuations

Selon FORTIN & al.(1983), il est largement reconnu que les niveaux printaniers hauts et stables ont une influence positive sur le succès de la reproduction du brochet.

Pour le lac de Neuchâtel, QUARTIER(1968) en étudiant durant 26 ans les relations existant entre des crues et les rendements printaniers de pêche du brochet des pêcheurs professionnels trouve une corrélation évidente entre l'occurrence des crues et les captures maximales effectuées. Durant cette période, la répartition des crues/rendements maximaux est la suivante : 7 (27 %) fois en février, 13 (50 %) fois en mars et 6 (23 %) fois en avril.
Selon cet auteur, l'importance (amplitude) de la crue n'est pas déterminante dans le déclenchement du frai pour autant qu'elle survienne au moment opportun. Par contre une décrue, même de faible importance (5 cm), bloque momentanément tout comportement migratoire.

Une même analyse répétée pour les années 1986 à 1992 confirme cette étroite corrélation entre les rendements de pêche du brochet et les crues printanières. Dès que le niveau monte, même de 10 à 20 cm, le rendement de la pêche du brochet augmente subitement, témoignant de la migration de frai des géniteurs (annexe 2). La répartition des crues/rendements maximaux est de 1 (14 %) fois en février, 3 (43 %) fois en mars et 3 (43 %) fois en avril. On constate à l'évidence une baisse soudaine des rendements de pêche, illustrant l'arrêt de la migration, dès qu'une décrue, même modérée survient.

Du point de vue de la pêche amateur, il ne semble pas qu'il y ait de relation directe entre le succès de la pêche et le niveau du lac.

Selon nos connaissances actuelles, il apparaît donc que tant du point de vue de l'abondance de sa population que de son rendement pour la pêche professionnelle, le brochet est le seul poisson du lac de Neuchâtel intimement dépendant des fluctuations du niveau du lac.

Nous avons tenté d'établir une relation entre les niveaux moyens du lac des mois de février, mars et avril et le rendement de la pêche du brochet (1973 à 1992). Dans la fourchette des niveaux observés au cours de cette période (min. 428.78 m s.m. en février 1973 / max. 429.67 m s.m. en avril 1988), aucune influence sur les rendements de pêche n'a pu être mise en évidence (annexe 5).

4.3.5 Conclusions

Une bonne saison printanière de capture pour le brochet ne signifie pas nécessairement un succès élevé de la reproduction de l'espèce. L'examen de la relation entre les rendements de pêche printaniers et le succès de la reproduction est difficile, notamment par le fait que les géniteurs appartiennent à différentes classes d'âges et que leur âge moyen est relativement élevé NEUENSCHWANDER(1989).

D'après nos résultats, le niveau du lac et ses fluctuations peuvent être considérés comme **optimales** pour le développement des populations de brochet et le rendement de sa pêche professionnelle dans les conditions suivantes :

- Une crue printanière (dès février) en 1 ou plusieurs paliers qui atteint un niveau idéal minimal vers la mi-mars.
- Afin d'autoriser la circulation dans tous les chenaux, ce niveau doit atteindre 429.90 m s. m.
- Depuis le début de la montée des eaux (dès 10 cm) qui devrait idéalement se situer vers la mi-février (déclenchement de la migration vers les lieux de frai), aucune décrue même ponctuelle supérieure à 5 cm ne devrait survenir jusqu'à fin juin.

4.4 Espèces menacées

Parmi les 15 taxons recensés dans la zone littorale et la zone lagunaire (§ 4.1), 4 sont considérés selon l'Atlas de distribution des poissons et cyclostomes de Suisse (PEDROLI & al., 1991) comme menacés à des degrés divers :

Bouvière	fortement menacé
Loche de rivière	menacé
Carpe	potentiellement menacé
Silure	potentiellement menacé

La loche de rivière n'a été recensée que dans la zone littorale ou dans les chenaux d'accès aux lagunes. Pour cette espèce menacée, la zone lagunaire ne joue donc qu'un rôle mineur.

Selon leur biologie (§ 4.2.2) et les résultats des recensements effectués (§ 4.1), la bouvière, la carpe et le silure semblent être des poissons plus étroitement inféodés à la zone lagunaire ou aux secteurs très peu profonds et abrités de la zone littorale (chenaux, roselières lacustres).

Par conséquent, considérant leur biologie de reproduction et de développement ainsi que leur degré de menace, on peut qualifier le **degré de sensibilité aux fluctuations du niveau du lac** des 15 poissons recensés ainsi :

Sensibles et dépendants des fluctuations du niveau du lac

carpe	silure	brochet

Moyennement sensibles et dépendants des fluctuations du niveau du lac

loche franche	brème franche	ablette	rotengle
loche de rivière	brème bordelière	goujon	tanche
bouvière			

Faiblement sensibles et dépendants des fluctuations du niveau du lac

palée	gardon	perche

SYNTHÈSE GÉNÉRALE

Nos travaux ont clairement démontré les points essentiels suivants :

a) La surface des zones lagunaires de la rive sud du lac de Neuchâtel a fortement régressé (environ 70 %) au cours des dernières décennies. Cette situation provient :

* D'une régression marquée des zones marécageuses à la suite de phénomènes d'érosion;
* d'un atterrissement des surfaces d'eau libre (lagunes) par un envahissement de la végétation.

b) Une relation générale existe entre le niveau du lac et la surface des lagunes au sens strict. Dans un certain nombre de cas cependant, la surface de ces dernières n'est qu'à des degrés divers influencée par le niveau du lac. D'autres facteurs, souvent interdépendants, tels les apports en eau de la nappe, les phénomènes de rétention, l'évapotranspiration, les affluents et/ou l'importance des exutoires jouent parfois un rôle tout aussi important.

c) L'accessibilité des lagunes aux poissons est déterminée par les caractéristiques des chenaux les reliant au lac. Avec un niveau du lac inférieur à 429.0 m s.m., aucun accès n'est possible; si le niveau se situe à environ 429.55 m s.m., la moitié des chenaux sont praticables par les poissons alors qu'avec un niveau de 429.90, la totalité des lagunes peuvent être colonisées.
Le libre accès des lagunes est également dépendant des travaux d'entretien périodiques de leur chenaux. Ces tâches pratiquées autrefois par des pêcheurs professionnels ont tendance à être négligées ou abandonnées.

d) Les paramètres physico-chimiques de base de l'eau sont relativement uniformes pour la zone littorale lacustre alors qu'ils varient d'une zone lagunaire à l'autre. Pour certaines de ces dernières, la qualité de l'eau devient impropre à la vie piscicole en période estivale.

e) La faune piscicole de la zone lagunaire et de la zone littorale de la rive sud du lac comprend 15 espèces. Selon leur degré de menace et leur biologie de reproduction et de développement, nous avons défini leur sensibilité et dépendance en regard des fluctuations du niveau du lac (essentiellement période de reproduction / mars-juin):

Sensibles

carpe silure brochet

Moyennement sensibles

ablette rotengle bouvière brème franche
loche franche tanche goujon brème bordelière
loche de rivière

Faiblement sensibles

palée gardon perche

f) Le recensement détaillé de la faune piscicole a permis de mettre en évidence la présence de 11 taxons dans les zones lagunaires alors que 14 taxons ont été échantillonnés dans la zone littorale. Nos résultats ont également montré qu'aucune espèce de poissons ne vivait exclusivement ou essentiellement dans les zones lagunaires.

g) Pour le brochet, les zones lagunaires accessibles depuis le lac ainsi que la zone littorale de très faible profondeur jouent un rôle déterminant en tant que lieux de frai pour les raisons suivantes :

* Au cours des mois de février, mars et avril, les géniteurs migrent dans ces milieux pour se reproduire. Les crues printanières déclenchent cette migration;
* ces sites abrités permettent un réchauffement précoce de l'eau et sont ainsi favorables à l'incubation des oeufs et au développement des alevins;
* la végétation abondante et autre substrat immergés dans ces milieux sont propices à la fixation des oeufs et des larves et offrent des abris aux jeunes poissons.

h) Pour le brochet, les zones lagunaires ainsi que la zone littorale de très faible profondeur sont essentiellement importantes de février à fin juin. En effet dès l'été, les jeunes brochets alors carnassiers quittent progressivement ces milieux pour regagner les herbiers de la zone littorale que les géniteurs ont déjà rejoints précédemment.

i) Les rendements/efforts de la pêche professionnelle du brochet sont les plus importants lors du frai printanier. Le succès de la pêche dépend alors essentiellement des crues printanières qui déclenchent le déplacement des géniteurs vers les frayères et, dans une certaine mesure, du niveau du lac qui détermine l'accessibilité aux frayères des poissons.

j) La pêche sportive (pêche à la traîne) du brochet est indépendante du niveau du lac et des crues printanières.

PROPOSITION D'UNE COURBE "PISCICOLE" IDÉALE DES FLUCTUATIONS DU NIVEAU DU LAC

1. Généralités - établissement de variantes

Les différents travaux scientifiques sectoriels entrepris dans le but d'optimaliser le règlement de régulation des trois lacs subjurassiens doivent chacun fournir des éléments précis pouvant être intégrés à un modèle mathématique d'évaluation globale des incidences des fluctuations du niveau du lac de Neuchâtel.
Selon les résultats obtenus dans le cadre de cette étude et en respectant les directives émises par le VAW (annexe 6) dans le contexte de la réalisation d'un modèle mathématique, nous avons en premier lieu déterminé les valeurs requises pour ce modèle. Il en découle l'établissement d'une notation pour une série de facteurs. Ce procédé peut apparaître fastidieux et relativement complexe, il était néanmoins indispensable pour fournir les valeurs chiffrées nécessaires au modèle. Par la suite, sur ces bases, nous avons également proposé une courbe "piscicole" idéale[1] des fluctuations du niveau du lac.

a) La première démarche a consisté à établir des "variantes principales" établies sur la base des paramètres de base suivants:

Profondeur d'eau	- circulation piscicole dans les chenaux = 0,2 m
	- viabilité piscicole optimale des lagunes = 0,4 m
Périodes	- migration et période de frai
	- développement des jeunes poissons

b) Pour l'établissement de ces variantes principales, trois domaines ont été définis et classés selon deux degrés de priorité :

Prioritaire	-> développement des populations de brochets en considérant leur biologie de reproduction et de développement
Importants	-> pêche professionnelle du brochet
	-> développement des populations des autres taxons de poissons sensibles aux fluctuations du niveau du lac

[1] La **courbe piscicole idéale** illustre les **niveaux minimum** à atteindre aux différentes périodes de l'année pour répondre de façon optimale aux impératifs piscicoles. Si le niveau est supérieur (translation verticale de la courbe), la situation piscicole sera encore améliorée.

A des fins de simplification, nous avons renoncé à établir des courbes de fluctuations du lac basées sur les espèces de poissons dont la sensibilité vis à vis du niveau est modérée ou faible (§4.4). Néanmoins, la similitude des modes et périodes de frai des taxons de sensibilités différentes dont les contraintes rentes, valide les courbes idéales proposées pour la majorité des poissons recensés.

c) Pour ces domaines, une courbe fluctuation idéale des niveaux est proposée.

d) Facteurs affaiblissant la validité des différentes courbes de fluctuations du niveau du lac proposées.
Ces facteurs sont indépendants du niveau du lac proprement dit mais dépendent de ses fluctuations. Selon le modèle proposé par le VAW, ils affaiblissent les valeurs des courbes de fluctuations du lac proposées. Ils s'agit des facteurs suivants :

- Période de la crue printanière minimale idéale;
- baisse globale du niveau du lac pendant la période critique suivant la cote printanière minimale idéale; cette période dépend du domaine considéré;
- baisse (décrue) ponctuelle du niveau du lac pendant une période de quelques jours.

e) Sur la base de la courbe idéale des fluctuations du niveau (pt. c), quelques courbes influencées négativement par les facteurs décrits au point d) sont présentées.

2. Résultats et commentaires

2.1 Généralités

Pour les trois domaines retenus (§ 1b), selon les directives et exigences dictée par le modèle numérique du VAW (annexe 6), les différents critères décrits sous 1a) et 1d) ont été évalués et leur importance vis-à-vis de chacun des domaines chiffrée. Ainsi la note maximale 1.00 est attribuée à la valeur du critère pour laquelle aucun impact négatif ne survient, alors que la valeur minimale 0.00 correspond à la situation catastrophe; entre ces deux valeurs, l'échelle est graduelle (1.00, ..., 0.00).

2.2 Domaine prioritaire
Population de brochet - frai et développement des juvéniles

2.2.1 Niveau du lac

Pour ce critère, l'échelle des notes est basée sur une régression multiple entre le niveau du lac d'une part et, d'autres parts, la proportion de lagunes viables du point de vue piscicole et la proportion de chenaux librement franchissables par les poissons (§ 3.3, page 6). Les résultats synthétisés sont reportés dans le tableau 7.

Tableau 7 : Notation du niveau du lac en regard de la viabilité et de l'accès aux lagunes

Cote	429.90	429.80	429.65	429.55	429.50	429.40	429.35	429.25	429.15	429.10	429.00
Note	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0

2.2.2 Période de la crue printanière

Pour le critère lié à la période d'occurrence de la crue printanière déclenchant le frai, nous avons fixé et noté les périodes au cours desquelles la cote du lac doit atteindre au moins sa cote minimale idéale de 429.90 m s.m. (figure 4) en nous basant sur l'examen des conditions de migration de frai du brochet décrit au § 4.3.4 (page 22).
Afin d'obtenir les données nécessaires au modèle numérique, des critères simplifiés ont été retenus (Tableau 8, page suivante).

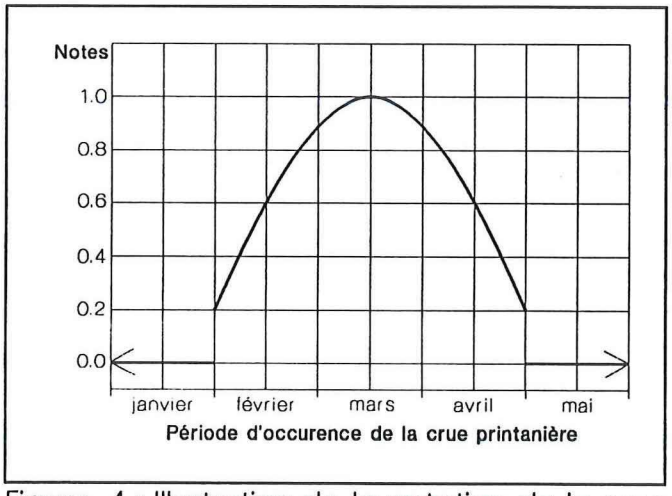


Figure 4 : Illustration de la notation de la crue printanière en fonction de sa période d'occurrence

Tableau 8 : Notation de la crue printanière minimale idéale en fonction de sa période d'occurrence

Période	mi-mars	début mars ou début avril	mi-février ou mi-avril	début février ou début mai	avant début fév. ou après début mai
Note	1	0.9	0.6	0.2	0

2.2.3 Baisse graduelle du niveau du lac après la crue printanière

Si une baisse graduelle de niveau du lac survient au cours de la période critique suivant la crue de migration de frai, la valeur de la courbe idéale des niveaux sera affaiblie.

Les impacts susceptibles d'affecter alors le succès de reproduction du brochet sont essentiellement liés à l'exondation des oeufs et larves et à l'impossibilité pour les brochetons (et adultes) de regagner le lac. La période critique, compte tenu du laps de temps nécessaire au frai, au développement et au retour au lac depuis les lagunes (§ 4.3.1, p.16 & 4.3.4, p.22), a été fixée à 100 jours.

Les brochets affectionnant les zones de profondeur inférieure à 1 m, avec une préférence marquée pour la strate de 0,2 à 0,6 m, nous avons établi la notation de la baisse de niveau comme suit (tableau 9) :

Tableau 9 : Notation des diminutions de niveau survenant pendant la période critique de 100 jours suivant la crue printanière

Baisse de niveau	Nature de l'impact	Note
< 10 cm	-	1
10 à 20 cm	Possible entrave au retour au lac	0.9
20 à 30 cm 30 à 40 cm 40 à 50 cm 50 à 60 cm > 60 cm	Touche la zone préférentielle, avec exondation des oeufs, alevins et juvéniles et entrave au retour au lac possibles	0.4 0.3 0.2 0.1 0

2.2.4 Baisse ponctuelle du niveau du lac après la crue printanière

Une baisse ponctuelle de niveau du lac (décrue), en quelques jours, peut survenir au cours de la période critique suivant la crue de migration de frai, affaiblissant ainsi la valeur de la courbe idéale des niveaux. La rapidité de la baisse de niveau aggrave son impact négatif.

Comme expliqué au paragraphe précédent, la phase critique pendant laquelle des dégâts provoqués par une exondation sont susceptibles de se produire correspond à 100 jours. La notation établie pour les baisses ponctuelles de niveau figure dans le tableau 10.

Tableau 10 : Notation des baisses ponctuelles de niveau pendant la période critique de 100 jours suivant la crue printanière

Baisse de niveau	Nature de l'impact	Note
< 5 cm	-	1
5 à 20 cm	Exondation d'alevins et entrave au retour au lac possibles	0,7
20 à 40 cm 40 à 60 cm > 60 cm	Touche la zone préférentielle, avec exondation du frai, des alevins et des juvéniles et entrave au retour au lac possibles	0.4 0.2 0

2.3 Domaine important
Pêche du brochet

2.3.1 Niveau du lac

Du point de vue de la pratique et des rendements de la pêche, le niveau du lac revêt une importance modérée, seuls des niveaux relativement bas étant susceptibles d'occasionner un impact (§ 4.3.4, p.22). En conséquence, une échelle de valeur simplifiée est fournie (tableau 11).

Tableau 11 : Notation des niveaux en regard de l'activité de pêche

Cote	> 428.50	428.00-428.50	< 428.00
Note	1	0.5	0

2.3.2 Période de la crue printanière

Les fluctuations de niveau (crues et décrues) ont une importance prépondérante (§ 4.3.4, page 22). La courbe de notation des périodes présentée précédemment (figure 4, page 30) reste valable, sans toutefois être assortie d'une cote précise de niveau (tableau 12, page suivante, *identique au tableau 8, page 31*).

Tableau 12 : Notation de la crue printanière en regard de l'activité de pêche

Période	mi-mars	début mars ou début avril	mi-février ou mi-avril	début février ou début mai	avant début fév. ou après début mai
Note	1	0.9	0.6	0.2	0

2.3.3 Baisse graduelle du niveau du lac après la crue printanière

Aucune incidence sur l'activité de pêche.

2.3.4 Baisse ponctuelle du niveau du lac

Il a clairement été mis en évidence qu'une décrue, même minime, survenant au cours du processus de déplacement des géniteurs vers les lieux de reproduction stoppait toute activité migratoire. Ce blocage entraînant une diminution immédiate des captures des pêcheurs professionnels (§ 4.3.4, page 30).
En conséquence, l'impact sur l'activité de pêche des décrues, dès le processus de migration entamé, soit sur une période fixée du 15 février au 30 avril, a été évalué et noté (tableau 13).

Tableau 13 : Notation des décrues pendant la phase de migration (15 février au 30 avril)

Décrue	< 5 cm	5 - 15 cm	15 - 25 cm	> 25 cm
Note	1	6	2	0

2.4 Domaine important
Faune piscicole autre

2.4.1 Niveau du lac

Nous avons vu que les autres taxons, notamment les poissons reconnus sensibles au niveau et à ses fluctuations, se reproduisent dans des secteurs similaires à ceux qu'affectionne le brochet; en conséquence, les considérations et la notation du niveau du lac en regard de la viabilité et de l'accès aux lagunes évoquées au § 2.2.1 restent valables (tableau 14, *identique au tableau 7, page 30*).

Tableau 14 : Notation du niveau du lac en regard de la viabilité et de l'accès aux lagunes

Cote	429.90	429.80	429.65	429.55	429.50	429.40	429.35	429.25	429.15	429.10	429.00
Note	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0

2.4.2 Période de la crue printanière

A notre connaissance, hormis le brochet, aucun des taxons de poissons considérés n'est directement influencé par la crue printanière dans son comportement de reproduction, en particulier la migration sur les lieux de frai. La crue n'a d'importance que dans la mesure où elle permet, si elle survient au moment opportun, l'accès à des zones propices au frai.
La notation simplifiée retenue pour le modèle numérique figure dans le tableau 15, page suivante.

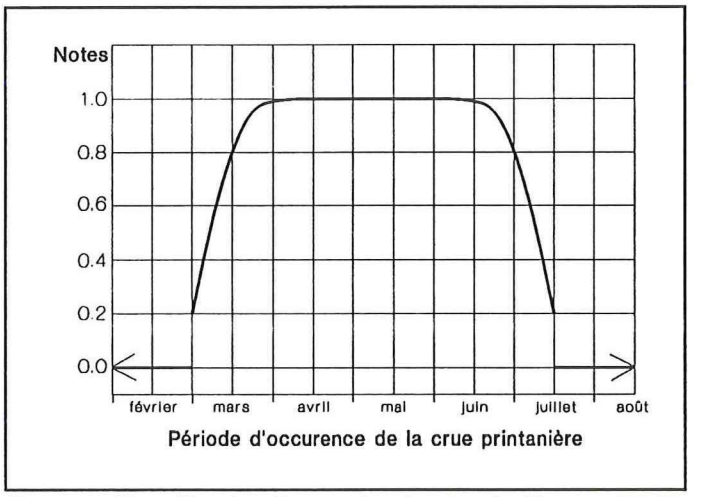


Figure 5 : Illustration de la notation de la crue printanière en fonction de sa période d'occurrence

Tableau 15 : Notation de la crue printanière minimale idéale en fonction de sa période d'occurrence

Période	début avril à mi-juin	mi-mars ou mi-juin	début mars ou mi-juillet	avant début mars ou après mi-juillet
Note	1	0.8	0.2	0

2.4.3 Baisse graduelle du niveau du lac après la crue printanière

Les considérations émises au § 2.2.3 pour le brochet restent valables pour les autres taxons. En conséquence, la notation (tableau 16) des diminutions graduelles de niveau au cours des 100 jours critiques suivant la crue printanière est identique à celle du tableau 9 (page 31).

Tableau 16 : Notation des diminutions de niveau survenant pendant la période critique de 100 jours suivant la crue printanière

Baisse de niveau	Nature de l'impact	Note
< 10 cm	-	1
10 à 20 cm	Possible entrave au retour au lac	0.9
20 à 30 cm 30 à 40 cm 40 à 50 cm 50 à 60 cm > 60 cm	Touche la zone de dépôt des oeufs et fixation des alevins; l' exondation des oeufs, alevins et juvéniles et l'entrave au retour au lac sont donc possibles	0.4 0.3 0.2 0.1 0

2.4.4 Baisse ponctuelle du niveau du lac après la crue printanière

Les impacts et la notation relatifs au brochet mentionnés dans le § 2.2.5 sont également valables pour les taxons sensibles considérés. Le tableau 17 (page suivante) reprend dès lors le tableau 10.

Tableau 17 : Notation des baisses ponctuelles de niveau pendant la période critique de 100 jours suivant la crue printanière

Baisse de niveau	Nature de l'impact	Note
< 5 cm	-	1
5 à 20 cm	Exondation d'alevins et entrave au retour au lac possibles	0,7
20 à 40 cm 40 à 60 cm > 60 cm	Touche la zone préférentielle, avec exondation du frai, des alevins et des juvéniles et entrave au retour au lac possibles	0.4 0.2 0

2.5 Courbe piscicole des fluctuations de niveau du lac

L'ensemble des considérations ci-avant émises avaient pour buts principaux :

- De fournir les éléments piscicoles de bases nécessaires au modèle numérique multicritères destiné à l'établissement du règlement de régulation des eaux des lacs subjurassiens (ici pour le lac de Neuchâtel) prévu d'être réalisé par le VAW (ETH-Zentrum);

- d'établir une variante de courbe piscicole idéale de régulation des niveaux du lac de Neuchâtel. Cette courbe, ainsi que deux exemples illustrant l'effet des différents facteurs affaiblissant la valeur de cette courbe sont présentés ci-après.

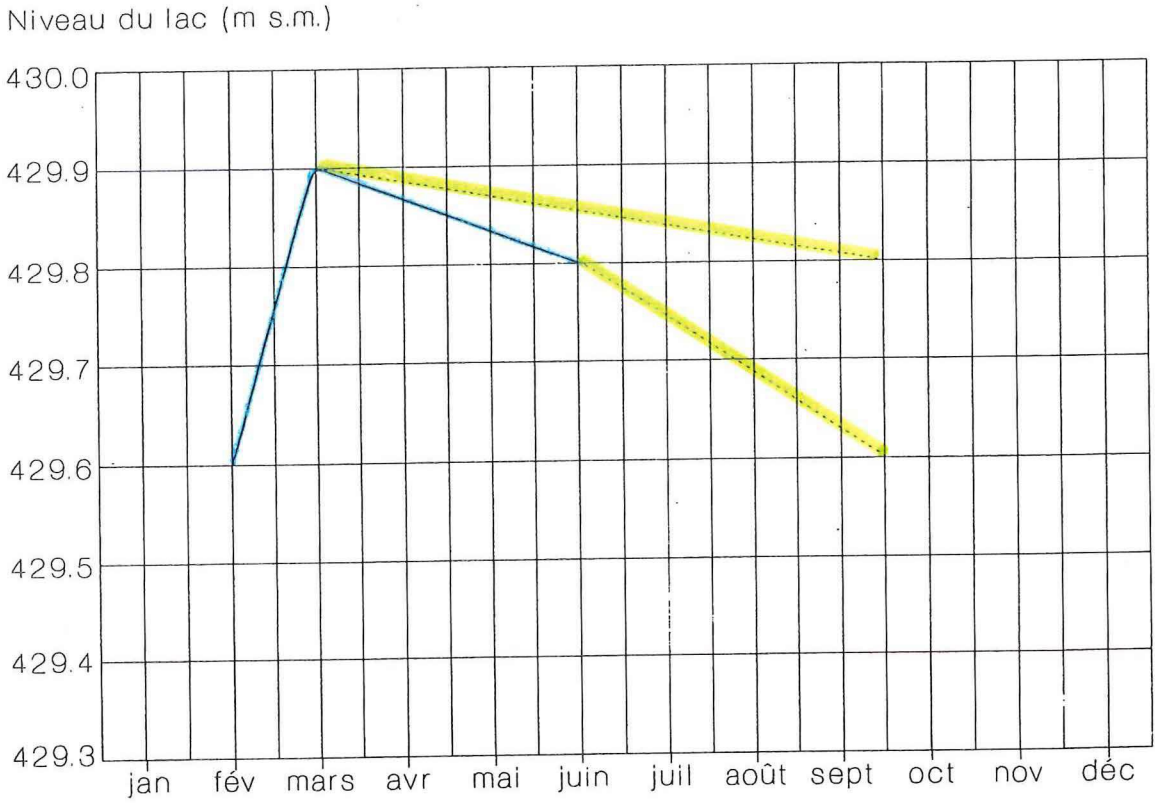
COURBE "PISCICOLE" IDÉALE DE RÉGULATION DES NIVEAUX

Contraintes pour le domaine prioritaire :

- crue minimale de **30** cm
- cote minimale de **429.90** m s.m. à mi-mars
- baisse graduelle maximale de **10** cm jusqu'à fin juin
- baisse ponctuelle maximale de **5** cm de mi-février à fin juin
- cote minimale de **429.80** m s.m. à fin juin

Contraintes pour les domaines importants :

- baisse graduelle maximale de **10** cm de mi-mars à fin septembre
- cote minimale de **429.80** à fin septembre
- baisse graduelle maximale de **20** cm du fin juin à fin septembre
- cote minimale de **429.60** m s.m. à fin septembre



EXEMPLE DE COURBE PISCICOLE SUBOPTIMALE DE RÉGULATION DES NIVEAUX

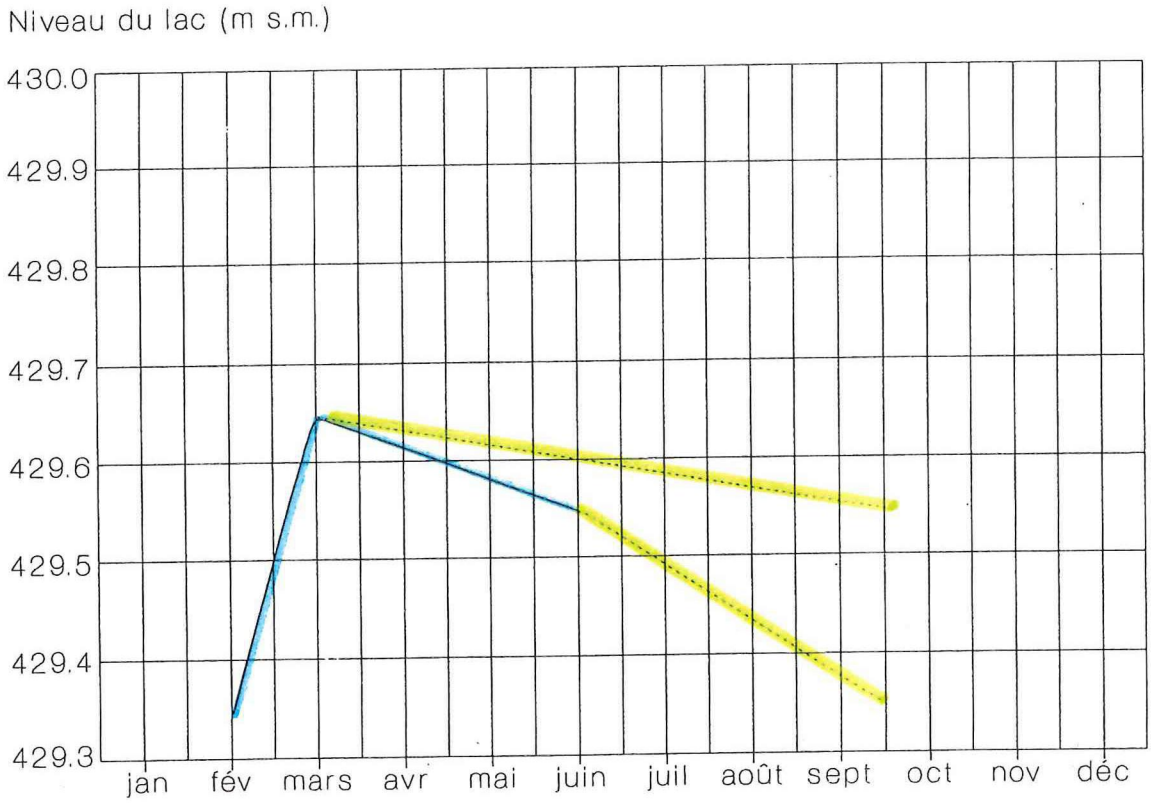
Niveau permettant l'accès et la viabilité de 80 % des zones de frai

Contraintes pour le domaine prioritaire :

- crue minimale de **30** cm
- cote minimale de **429.65** m s.m. à mi-mars
- baisse graduelle maximale de **10** cm jusqu'à fin juin
- baisse ponctuelle maximale de **5** cm de mi-février à fin juin
- cote minimale de **429.55** m s.m. à fin juin

Contraintes pour les domaines importants :

- baisse graduelle maximale de **10** cm de mi-mars à fin septembre
- cote minimale de **429.55** à fin septembre
- baisse graduelle maximale de **20** cm de fin juin à fin septembre
- cote minimale de **429.35** m s.m. à fin septembre



EXEMPLE DE COURBE PISCICOLE SUBOPTIMALE DE RÉGULATION DES NIVEAUX

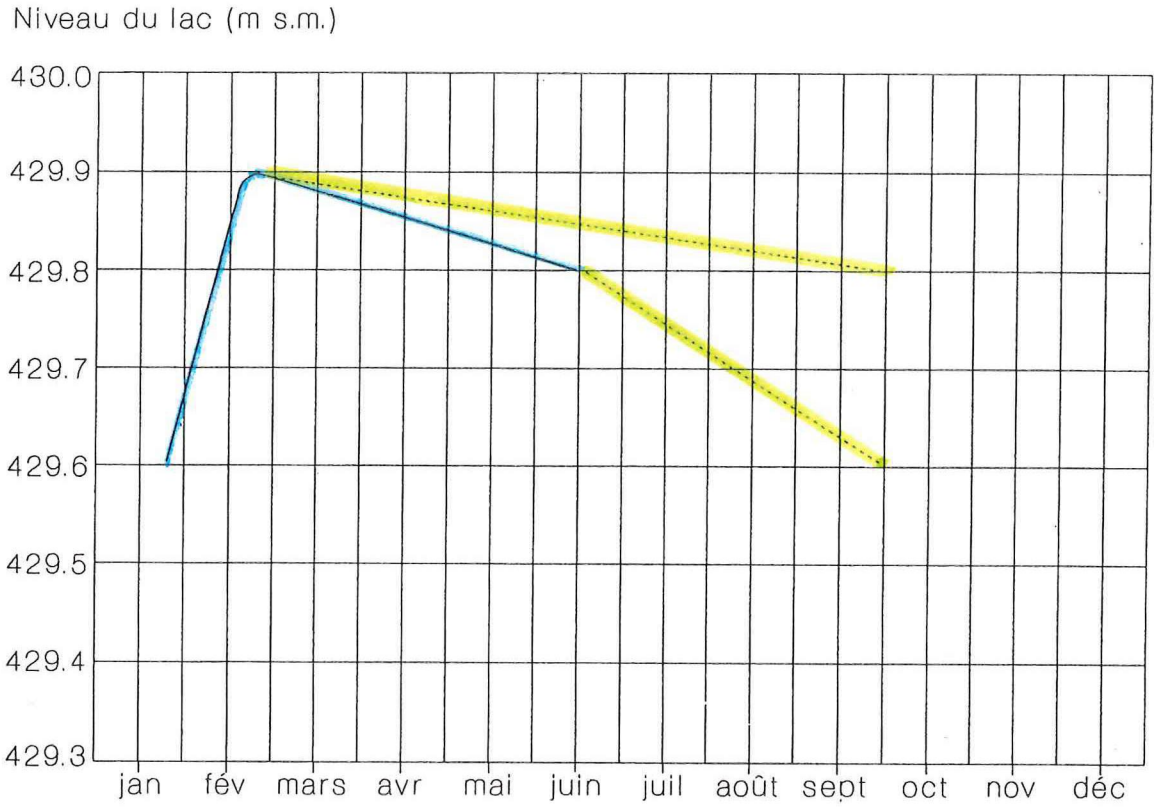
Crue trop précoce de 3 semaines

Contraintes pour le domaine prioritaire :

- crue minimale de **30** cm
- cote minimale de **429.90** m s.m. **3 semaines avant mi-mars**
- baisse graduelle maximale de **10** cm jusqu'à fin juin
- baisse ponctuelle maximale de **5** cm de la mi-février à fin juin
- cote minimale de **429.30** m s.m. à fin juin

Contraintes pour les domaines importants :

- baisse graduelle maximale de **10** cm de mi-mars à fin septembre
- cote minimale de **429.30** à fin septembre
- baisse graduelle maximale de **20** cm de fin juin à fin septembre
- cote minimale de **429.10** m s.m. à fin septembre



CONCLUSIONS & COMMENTAIRES

1. GÉNÉRALITÉS

Nos investigations ont permis d'établir, pour les trois domaines principaux retenus (prioritaires, importants I & II), les éléments piscicoles de base nécessaires au modèle multicritères de régulation des eaux des lacs subjurassiens (ici pour le lac de Neuchâtel) prévus d'être réalisés par le VAW (ETH-Zentrum). Sur ces bases, la courbe piscicole idéale de régulation du niveau du lac et quelques exemples d'affaiblissement de sa valeur ont été établis.

Trois aspects important doivent encore être commentés, à savoir :

- L'incidence probable sur la faune piscicole des mesures de lutte contre l'érosion projetées sur la rive sud du lac de Neuchâtel, en relation avec les fluctuations du niveau du lac;

- les améliorations compensatoires susceptibles d'être apportées par des mesures d'aménagement locales;

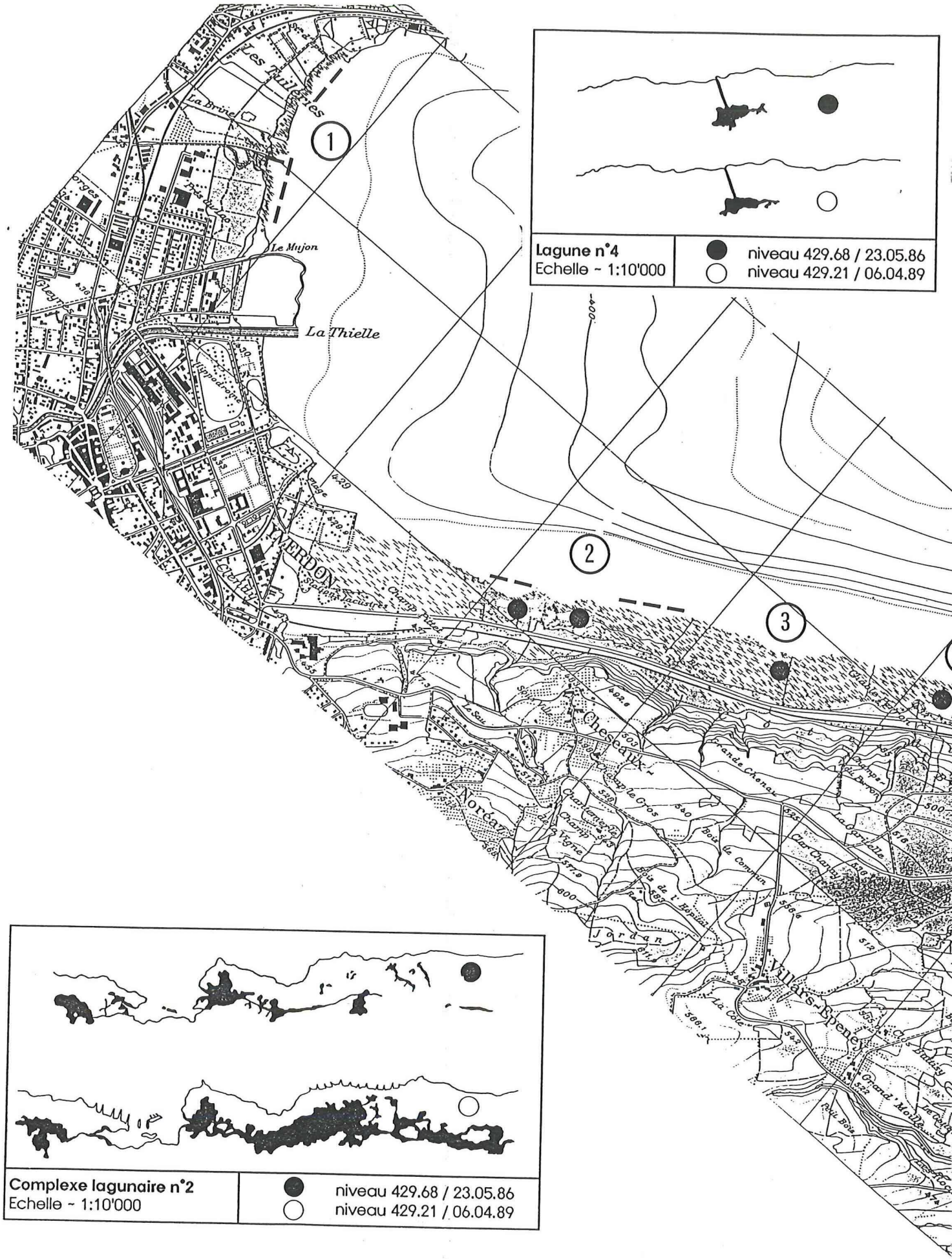
- l'incidence des fluctuations du niveau du lac sur la faune piscicole pour des milieux aquatiques autres que ceux de la rive sud du lac de Neuchâtel.

2. INCIDENCE PROBABLE DES MESURES DE LUTTE CONTRE L'ÉROSION

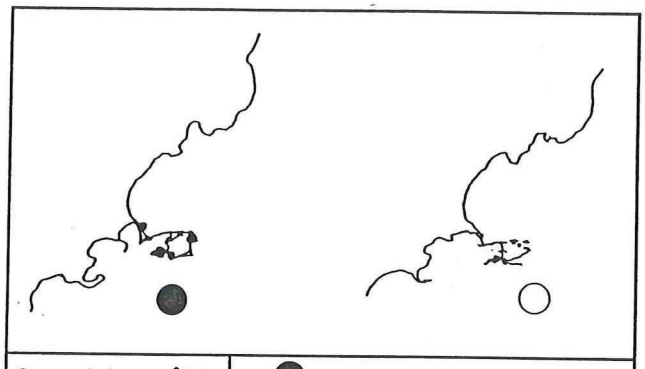
Nous avons déjà évoqué (§ 1.1, page 3) les mesures constructives prévues d'être réalisées sur la rive sud du lac de Neuchâtel afin de lutter contre l'érosion, localement très active, qui l'affecte actuellement. Encore au stade de projet, ces interventions sont prévues sur un linéaire total cumulé de 12.5 km, soit sur environ 35 % de la rive. Elles consistent en l'édification, sur la zone littorale, de barrières parallèles ou perpendiculaires au rivage, immergées ou émergentes, destinées à briser l'énergie érosive des vagues.

Par rapport aux fluctuations du niveau du lac et leur incidences sur la faune piscicole, ces ouvrages peuvent être considérés comme très favorables pour les raisons suivantes :

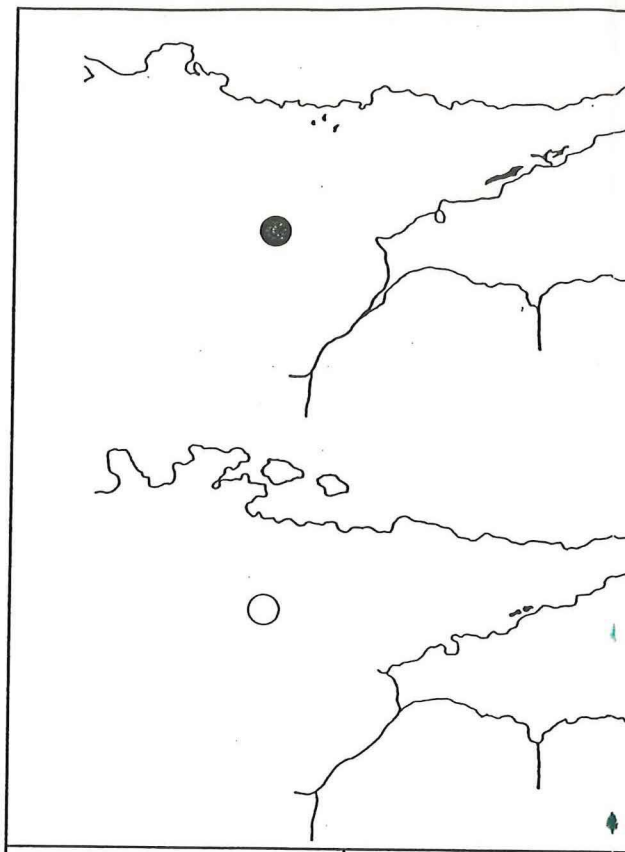
ANNEXES 1 à 6



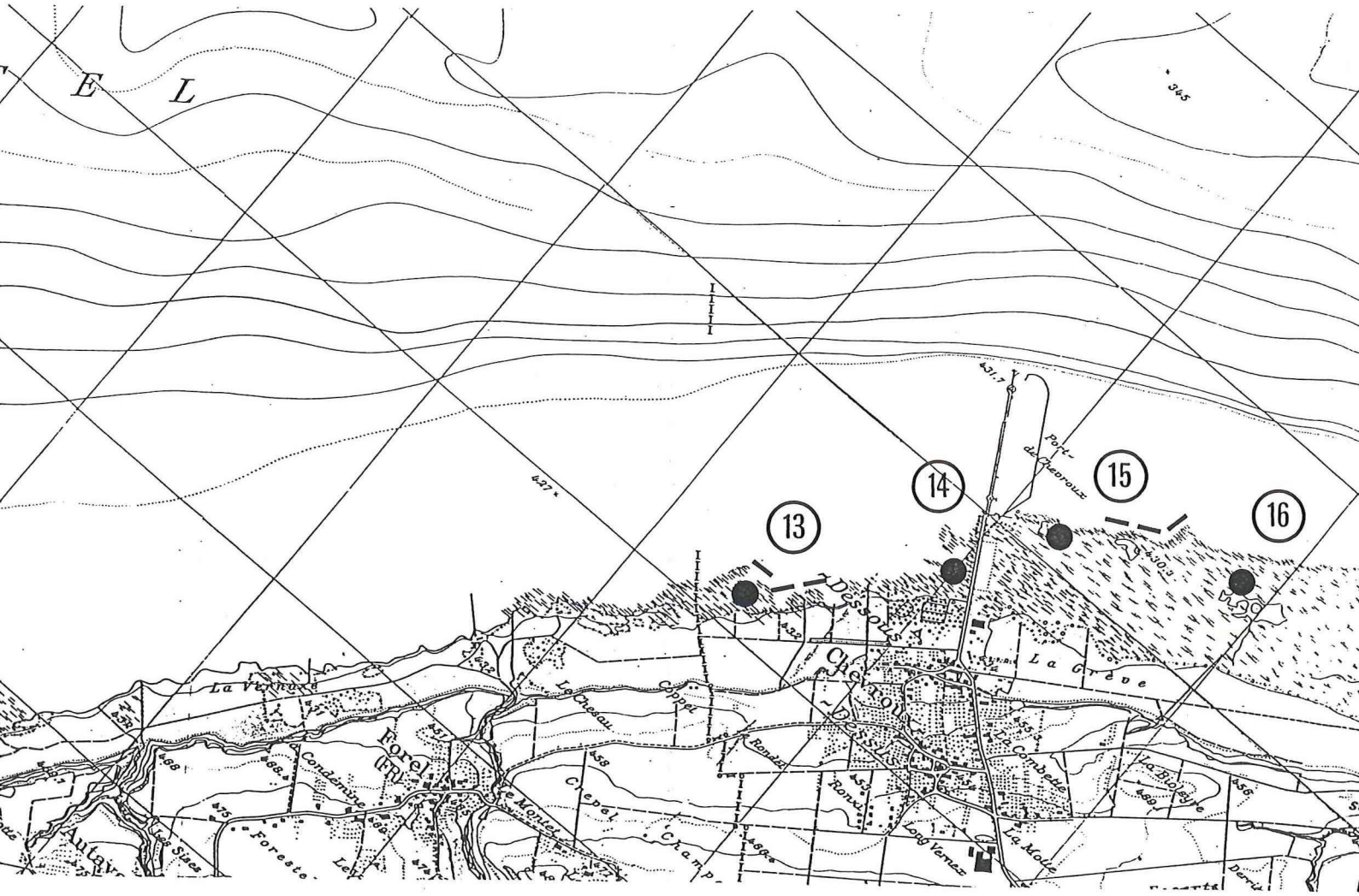
AQUARIUS / avril 1994

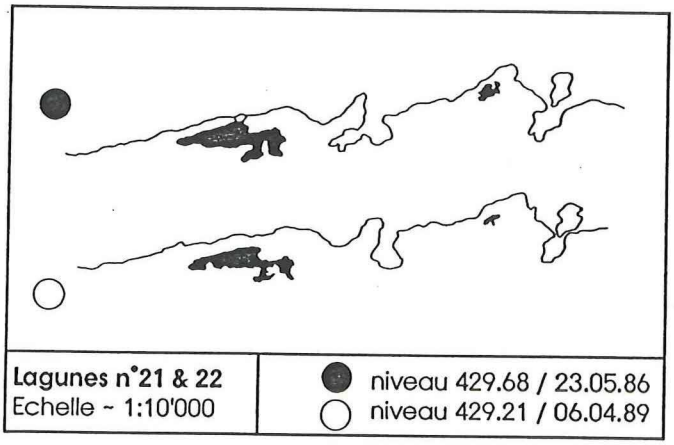


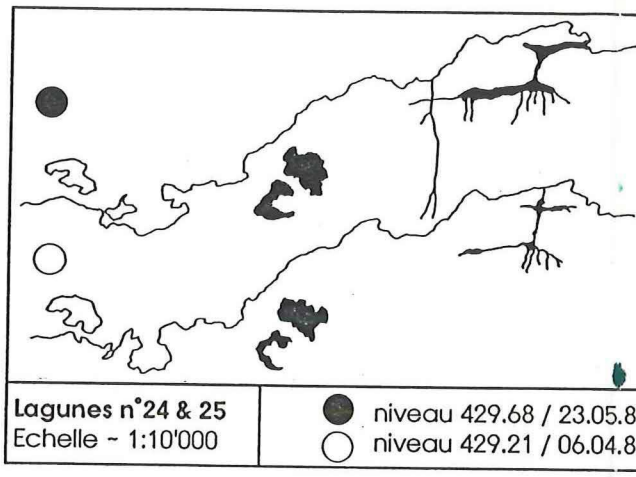
Compl. lag. n°14 Echelle ~ 1:10'000	● niveau 429.68 / 23.05.86 ○ niveau 429.21 / 06.04.89



Complexe lagunaire n°17 Echelle ~ 1:10'000	● niveau 429.6 ○ niveau 429.2







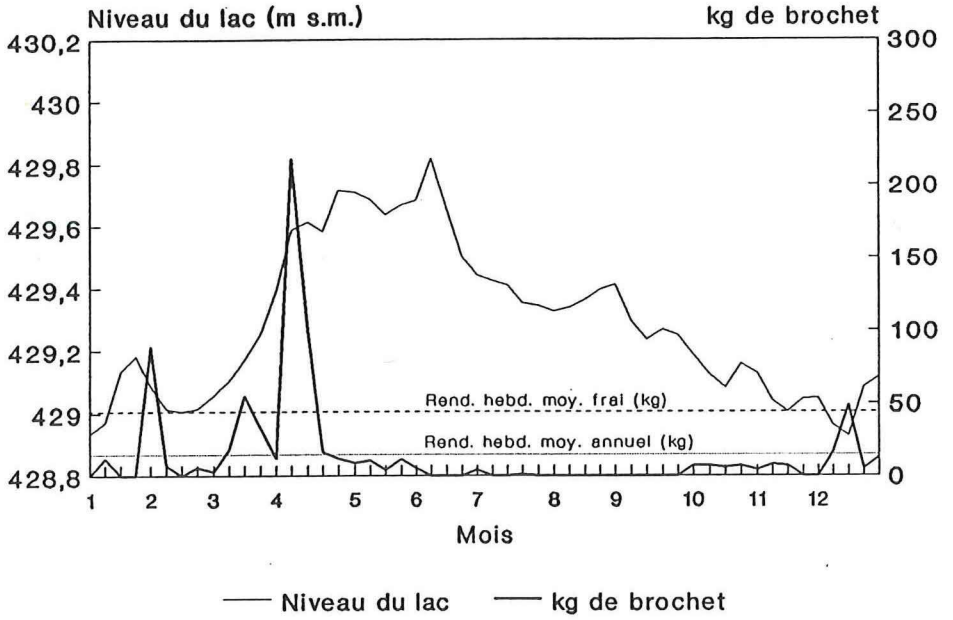
AQUARIUS / avril 1994

ANNEXE 2-I

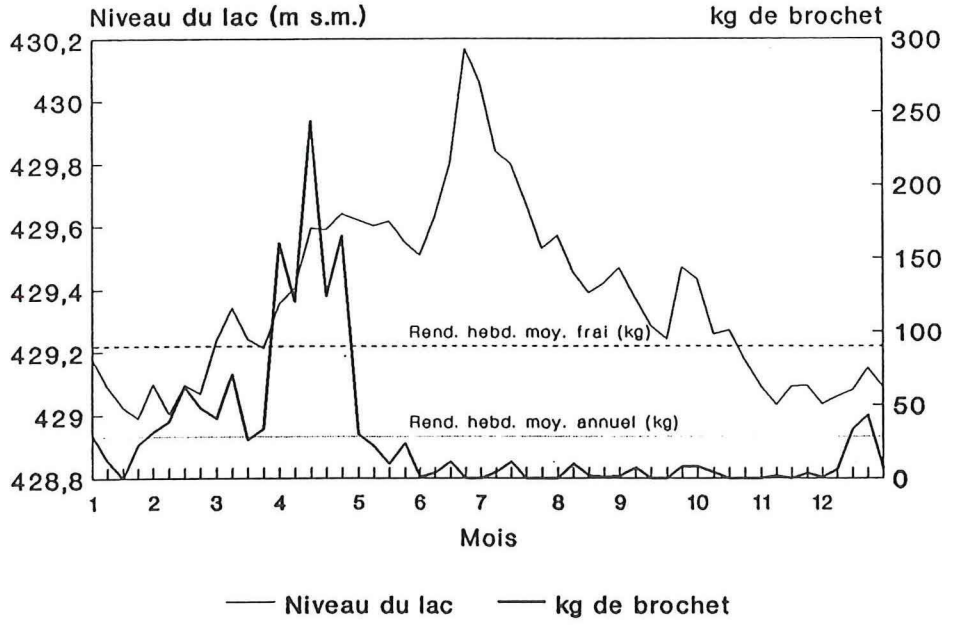
RENDEMENTS DE PÊCHE HEBDOMADAIRES DU BROCHET & FLUCTUATIONS DU NIVEAU DU LAC

- 11 PÊCHEURS PROFESSIONNELS DE LA RIVE SUD DU LAC
- DÉTAIL HEBDOMADAIRE 1986-1987

1986



1987

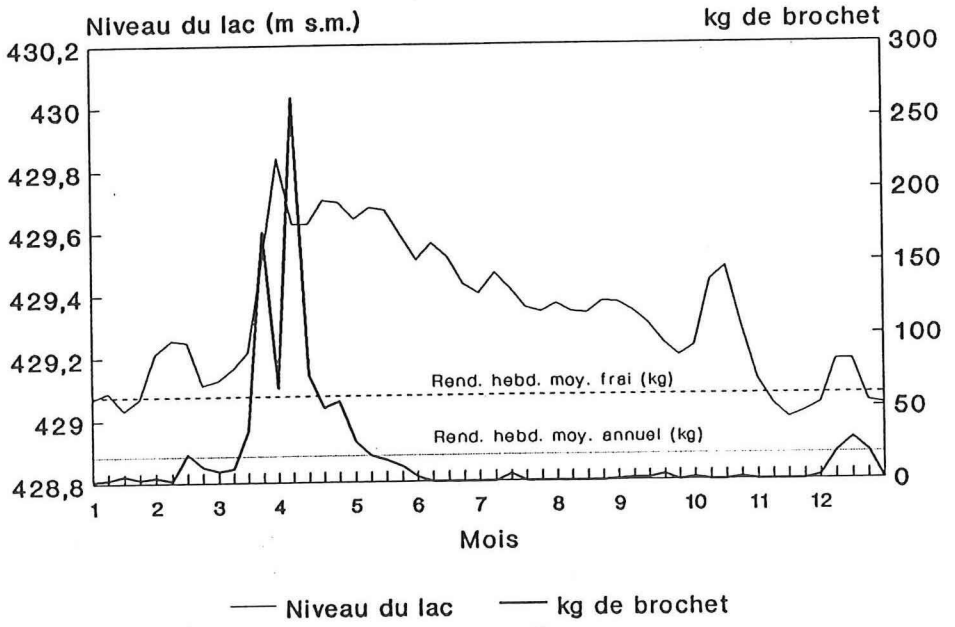


ANNEXE 2-II

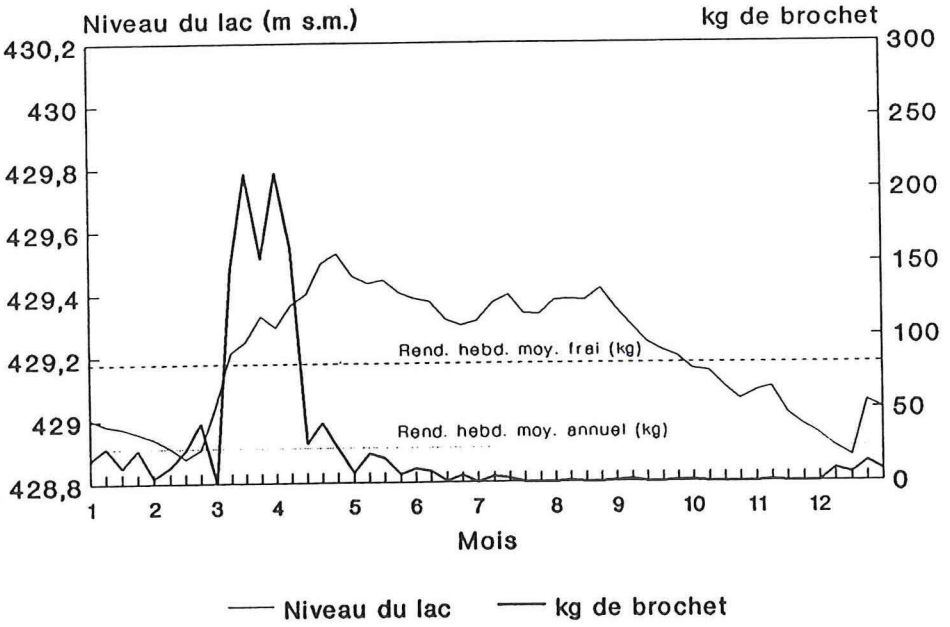
RENDEMENTS DE PÊCHE HEBDOMADAIRES DU BROCHET & FLUCTUATIONS DU NIVEAU DU LAC

- 11 PÊCHEURS PROFESSIONNELS DE LA RIVE SUD DU LAC
- DÉTAIL HEBDOMADAIRE 1988-1989

1988



1989

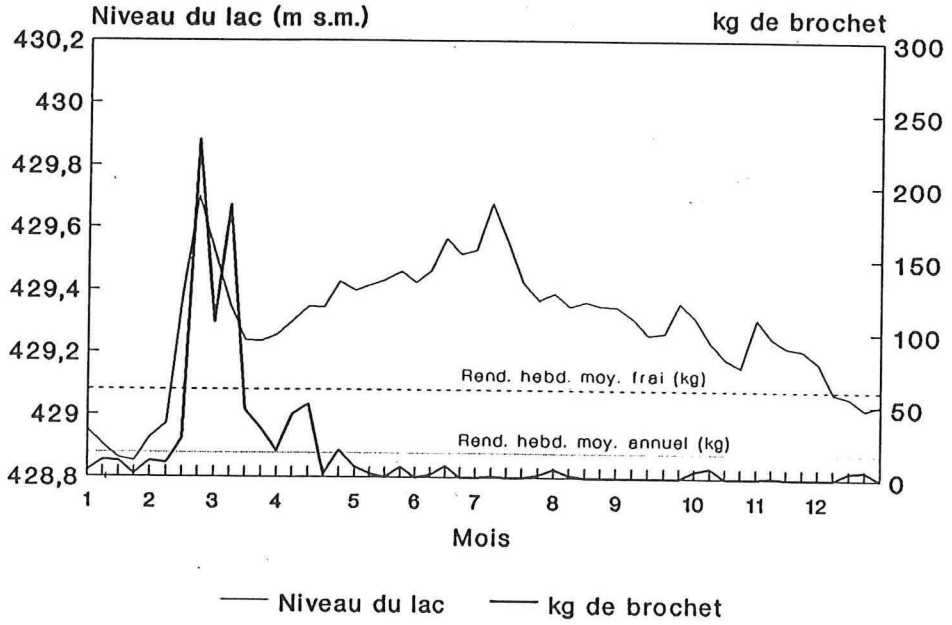


ANNEXE 2-III

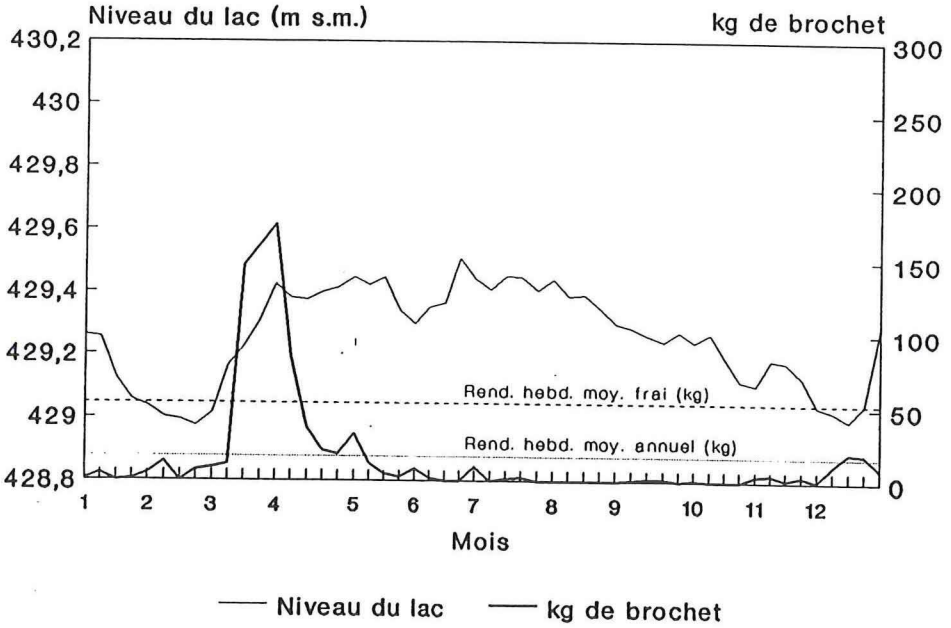
RENDEMENTS DE PÊCHE HEBDOMADAIRES DU BROCHET & FLUCTUATIONS DU NIVEAU DU LAC

- 11 PÊCHEURS PROFESSIONNELS DE LA RIVE SUD DU LAC
- DÉTAIL HEBDOMADAIRE 1990-1991

1990



1991

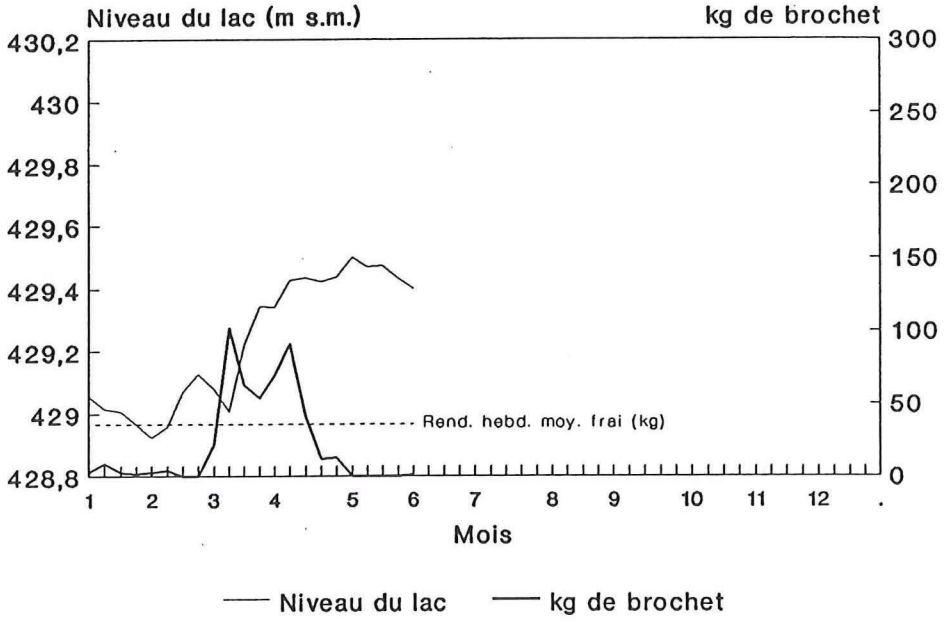


ANNEXE 2-IV

RENDEMENTS DE PÊCHE HEBDOMADAIRES DU BROCHET & FLUCTUATIONS DU NIVEAU DU LAC

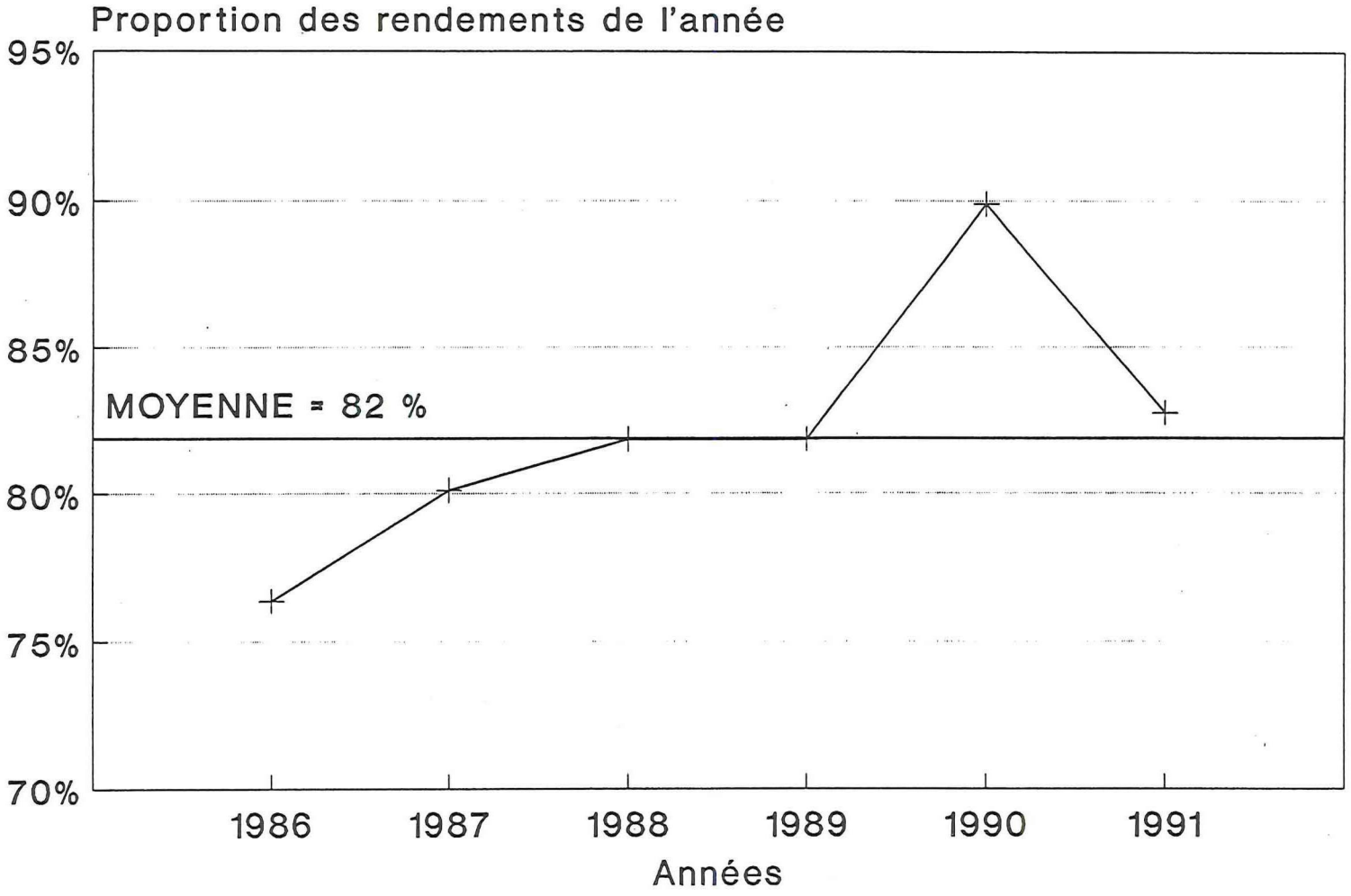
- 11 PÊCHEURS PROFESSIONNELS DE LA RIVE SUD DU LAC
- DÉTAIL HEBDOMADAIRE 1992

1992



ANNEXE 3

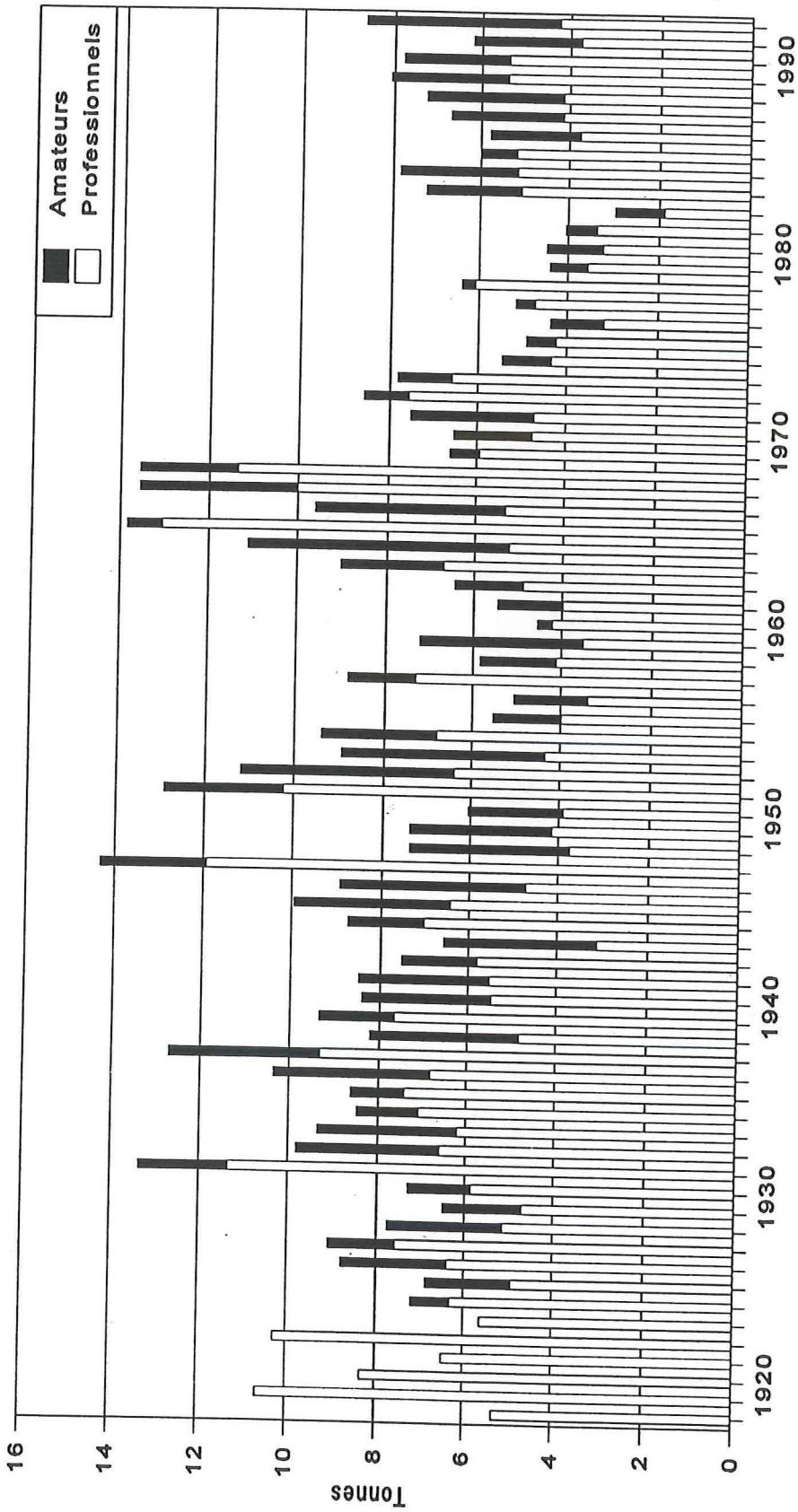
PROPORTION (%) DES RENDEMENTS DE PÊCHE PROFESSIONNELLE DU BROCHET PENDANT SA PÉRIODE DE FRAI (février, mars & avril)



Basé sur les statistiques de 11 pêcheurs professionnels de la rive sud du lac de Neuchâtel

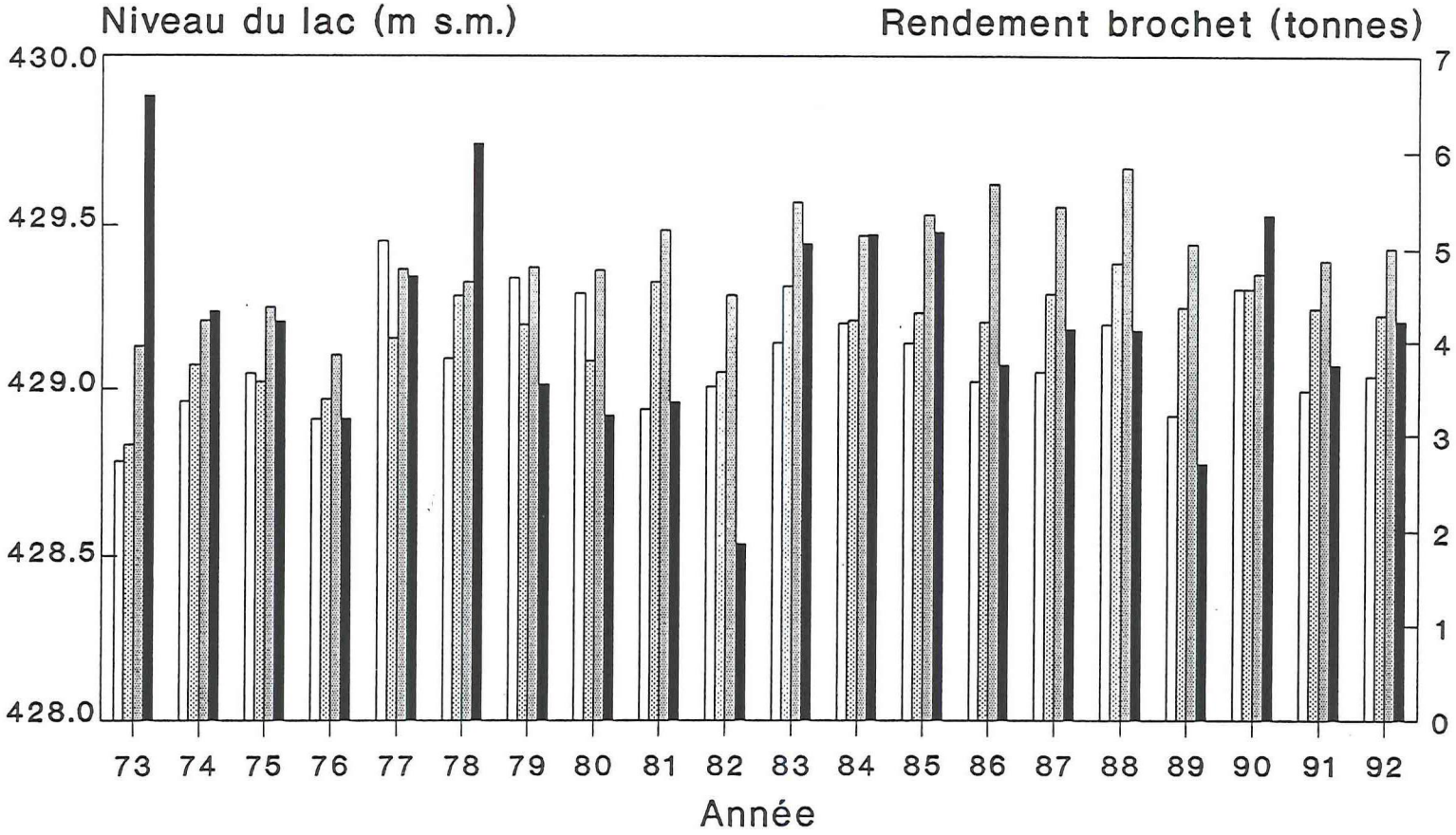
ANNEXE 4

RENDEMENTS DES PÊCHES PROFESSIONNELLE & SPORTIVE DU BROCHET DANS LE LAC DE NEUCHÂTEL



ANNEXE 5

RENDEMENTS DE PÊCHE PROFESSIONNELLE DU BROCHET PENDANT LA PERIODE DE FRAI (février, mars & avril) **& NIVEAU DU LAC**



Basé sur les statistiques de la pêche professionnelle dans le lac de Neuchâtel

ANNEXE 6

DIRECTIVES DU LABORATOIRE DE RECHERCHES HYDRAULIQUES, HYDROLOGIQUES ET GLACIOLOGIQUES (VAW) DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE ZURICH (ETH)

METHODE ZUR BEURTEILUNG DER AUSWIRKUNGEN BEI ANWENDUNG DES REGLEMENTES 80/82 UND ALLFÄLLIGER WEITERER REGLEMENTS-VARIANTEN

(WEGLEITUNG)

1. Methode

Die Regulierung der JGK soll so erfolgen, dass sie den Bedürfnissen der verschiedenen Interessenten möglichst optimal gerecht wird. Das bedeutet, dass die JGK-Regulierung eine Vielzahl von Wünschen, die sich auf das Verhalten von Wasserständen oder Abflüssen beziehen, erfüllen soll. Um dies zu erreichen, müssen zunächst die Auswirkungen der Regulierung für die verschiedenen Interessenbereiche festgestellt, beschrieben und bewertet werden. Im weiteren sind alternative Reguliervorschriften zu suchen, die die Auswirkungen auf die Gesamtheit aller betroffenen Interessenbereiche verbessern könnten.
Zu diesem Zweck wird ein Vorgehen im Sinne einer **Nutzwertanalyse 2. Art** angewendet. Dieses Modell, angewandt auf das vorliegende Problem, umfasst im wesentlichen folgende Schritte:

1.1 Aufstellung des Zielsystems und Bestimmung der Zielkriterien

Es gilt festzulegen, welche Interessenbereiche (Zielbereiche) in die Auswertung einbezogen und welche Ziele und Teilziele berücksichtigt werden. Das provisorische Zielsystem der JGK-Regulierung ist in Fig. 1 dargestellt. Zu jedem Teilziel ist mindestens ein zugehöriges Zielkriterium festzulegen. Dieses stellt eine Art "Messvorschrift" dar, wie die Erfüllung des entsprechenden Teilzieles "gemessen" werden kann. Im vorliegenden JGK-Problem kommen als Zielkriterien messbare Wasserstände und Abflüsse in den JGK-Gewässern in Frage, denn durch die JGK-Regulierung kann nur auf diese Grössen Einfluss genommen werden. Die Wünsche/ Vorstellungen der Interessenten sind anhand solcher Zielkriterien auszudrücken: welche Werte sollen die Zielkriterien erreichen bzw. nicht unter- oder überschreiten.

1.2 Formulierung der zu untersuchenden und zu bewertenden Alternativen

Im Hinblick auf die Optimierung sind ausser dem heute gültigen Regulierreglement 1980/82 noch Alternativen zu diesem Reglement zu untersuchen.

1.3 Messung der Zielerträge für alle Zielkriterien und Alternativen

Durch numerische Simulation werden die hydraulischen Vorgänge in den JGK-Gewässern (Jahresabläufe unter verschiedenen hydrologischen Voraussetzungen) berechnet. Daraus kann für jedes Zielkriterium der Zielertrag ermittelt werden.

1.4 Bestimmung der Zielerfüllungsgrade, Festlegung von Nutzwertfunktionen

Die einzelnen Zielkriterien werden kaum überall Zielerträge liefern, die 100prozentig mit den gewünschten Zielwerten übereinstimmen. Aus der Sicht der Interessenbereiche ist die Bedeutung der Abweichungen zu beurteilen, d.h. es soll der Zielerfüllungsgrad ausgedrückt werden, sei es in Worten oder durch eine Bewertungsskala. Letztlich wird diese Bewertung einheitlich durch sogenannte Nutzwertfunktionen, welche Werte zwischen 1 (volle Zielerfüllung) und 0 (totale Zielverfehlung) annimmt.

1.5 Ermittlung der optimalen Alternative

- Berechnung der Teil- und Gesamtnutzwerte für verschiedene Alternativen
- Gewichtung der Teilziele
- Bestimmung der Rangfolge der Alternativen
- Sensitivitätsanalyse
- Festlegung der optimalen Lösung

2. Praktische Anwendung und spezielle Erfordernisse in Bezug auf den Zielbereich Fischerei

2.1 Zum Zielsystem

Im Zielsystem (Figur 1) ist der Zielbereich Fischerei unterteilt in die Teilziele:

F1: Fischerei Neuenburgersee
F2: Fischerei Murtensee
F3 Fischerei Bielersee
F4: Fischerei Aare

Diese Aufteilung ist zu überprüfen. Möglicherweise gibt es nicht für jedes der vier genannten Teilziele genügend Anhaltspunkte, um ein zugehöriges Zielkriterium zu formulieren, so dass eventuell F2, F3, F4 vorläufig wegzulassen sind. Vielleicht sollte dafür F1 aufgeteilt werden in F11: Hecht, F12: andere Arten etc.

Im nutzwertanalytischen Modell der VAW kommen als Zielkriterien in Frage:

- Wasserstände der einzelnen Seen und/oder der Aare unterhalb Bielersee
- Abflussmengen in der Aare
- Wasserstandsschwankungen (Häufigkeit, Ausmass)

Mit Hilfe von einem oder von mehreren dieser Kriterien sollten nun die Auswirkungen der Regulierung für die Fischerei ausgedrückt werden. Diesem Zwecke dienten u.a. die fischereiliche Spezialstudie.

Wenn das Zielkriterium feststeht, z.B. Wasserstand im Neuenburgersee, ist zusätzlich der gewünschte Zielwert für dieses Kriterium anzugeben. Dabei sind verschiedene Varianten denkbar:

- Jahres-Wunschganglinie für den Wasserstand (siehe Beispiel in Figur 2).
- Hochwasser- oder Niederwasserschadensgrenzen
- Restriktionen in Bezug auf Wasserstandsschwankungen (Häufigkeit, Ausmass)

Falls es Zeitperioden gibt, die für die Fischrei irrelevant sind, sind diese anzugeben. Die kleinste Zeiteinheit im nutzwertanalytischen Modell ist 1 Tag.

2.2 Zu den Alternativen

Es sollen nur Alternativen überprüft werden, die Verbesserungen erwarten lassen. Gibt es aus der Sicht der Fischerei Anhaltspunkte, welche Alternativen zum heutigen Reglement in diesem Sinne überprüft werden sollten?

Konkret: Welche Reglementsänderungen wären erwünscht? Zu welchem Zeitpunkt? Welche veränderte Auswirkung wird davon erwartet bzw. gewünscht?

2.3 Zu den numerischen Simulationen

Die Auswahl der zu berechnenden Fälle wird von der VAW getroffen. Gibt es allenfalls bestimmte hydrologische Ereignisse, die aus der Sicht der Fischerei durchzurechnen wären?

2.4 Zielerfüllungsgrade, Nutzwerte

Zusätzlich zu den gewählten Zielkriterien (Wasserstands-/Abflusswunsch) ist eine Bewertung anzugeben, die aufzeigt, wie schädlich eine bestimmte Abweichung von der Zielvorgabe der Fischerei beurteilt wird. Dabei wird wie folgt vorgegangen: Man ermittelt die Abweichung zwischen beobachtetem und gewünschtem Tageswert, beurteilt die Auswirkung dieser Abweichung und bewertet diese mit einem sogenannten Nutzwert. Figur 2 zeigt ein Beispiel. Der Nutzwert ist ein Wert zwischen 0 und 1 (1 = volle Zielerfüllung, 0 = "Katastrophe"). Es geht nun darum, eine Nutzwertfunktion festzulegen, die die Zielerfüllungsgrade für die Fischerei sachgerecht wiedergibt.

Damit die Nutzwertfunktionen von verschiedenen Teilzielen miteinander vergleichbar werden, sind einheitliche Massstäbe für die Bewertung der Zielerfüllung zu beachten. Tabelle 1 legt die entsprechenden Regeln fest.

Abweichung des Zielkriteriums vom gewünschten Zielwert [in der Regel in cm]	Beurteilung der Auswirkungen	Zielerfüllungsgrad, in Prozenten	Nutzwert [-]
0 bis z_1	keine negativen Auswirkungen	100 %	1.0
z_2	nur gewisse Beeinträchtigung, noch keine Schäden	90 %	0.9
z_3	vereinzelte leichte Schäden	80 %	0.8
z_4	verbreitet leichte Schäden, <u>oder</u> vereinzelt mittlere Sch.	65 %	0.65
z_5	verbreitet leichte Schäden <u>und</u> vereinzelt mittlere Sch.	50 %	0.5
z_6	verbreitet mittlere Schäden	35 %	0.35
z_7	vereinzelt ernsthafte Schäden	20 %	0.2
z_8	verbreitet ernsthafte Schäden <u>oder</u> vereinzelt schwere Sch.	10 %	0.1
$\geq z_n$	untragbare Situation (Katastrophe)	0 %	0

Tabelle 1: Bewertung der Regulierungsauswirkungen durch Nutzwerte

Figur 3 zeigt ein Beispiel einer möglichen Nutzwertfunktion; deren Form lässt sich mit geeigneter Parametervariation anpassen. Weitere typische Nutzwertfunktionen sind in Figur 4 dargestellt. Die Nutzwertfunktion eines Zielkriteriums kann im übrigen für einzelne Jahreszeiten unterschiedliche Gestalt haben.

Für die gewählten Teilziele und Zielkriterien der Fischerei sind nun die zutreffenden Nutzwertfunktionen festzulegen. Dazu bieten sich verschiedene Wege an.

a) Definition der Kurven selbständig durch Experten des Bereichs Fischerei.

b) Aufstellen von Wertetabellen im Sinne der Tabelle 1 durch Fischerei-Experten; anschliessend Anpassung einer Nutzwertfunktion duch die Mitarbeiter der VAW.

c) Verbale Umschreibung (z.B. im Falle von Restriktionen in Bezug auf Wasserstandsschwankungen); anschliessend gemeinsame Festlegung von Nutzwertfunktionen durch Fischerei/VAW.

Anhand der festgelegten Teilziele, Zielkriterien und Nutzwertfunktionen lassen sich dann (durch die VAW) Berechnungen im Sinne von Ziffer 1.4 und 1.5 durchführen. Gegebenenfalls sind später die angesetzten Nutzwertfunktionen nochmals zu überprüfen und anzupassen.

ANHANG

Figur 1 Zielsystem für die Regulierung der Juragewässerkorrektion

Figur 2 Zielkriterium Wasserstand: Darstellung des Zielwertes durch eine Wunschganglinie. Vergleich zwischen effektivem und gewünschtem Wasserstand

Figur 3 Beispiel einer Nutzwertfunktion mit Parametervariation

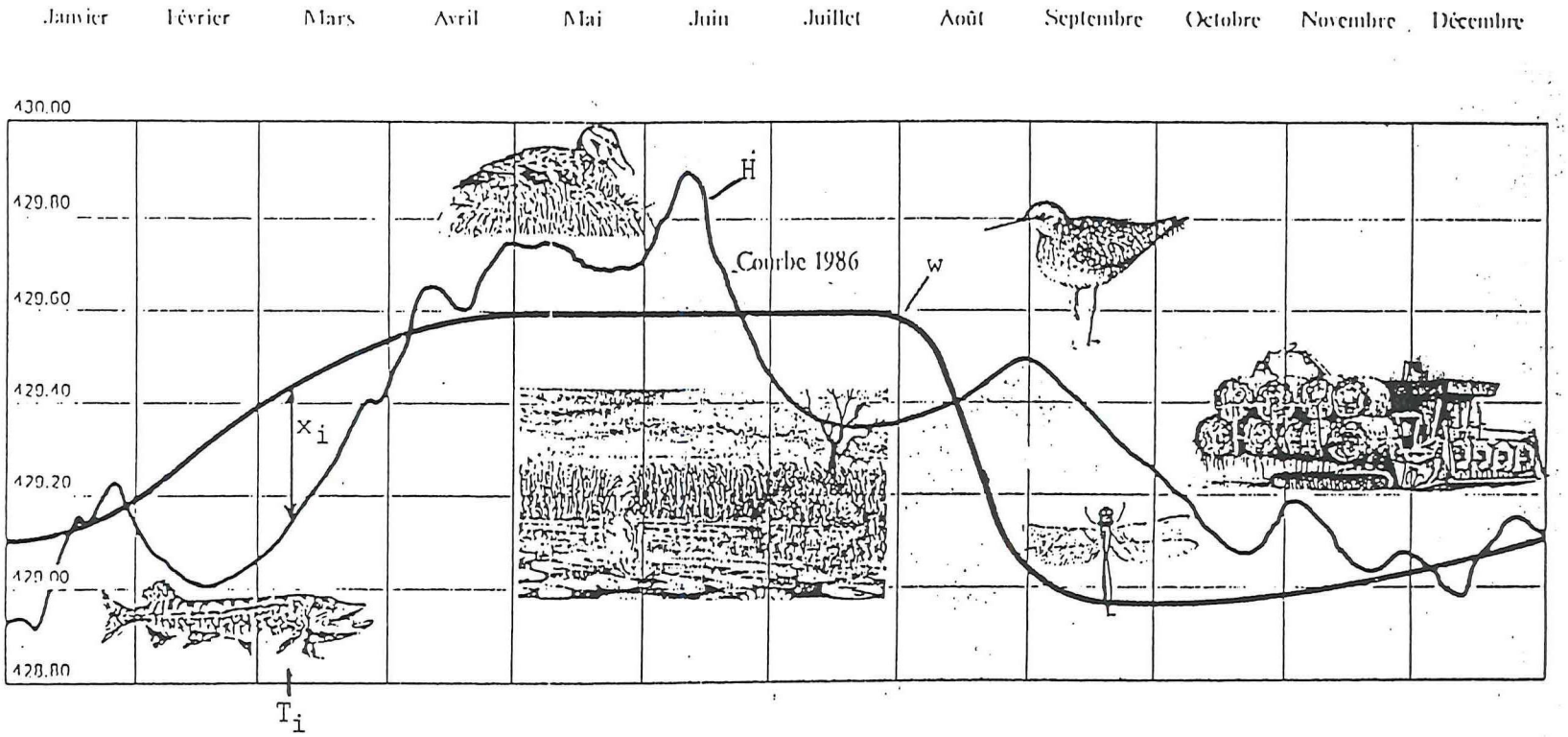
Figur 4 Einige typische Nutzwertfunktionen

Zürich, 20. Juli 1993 / A. Kühne

Kategorie (Zielbereich)	Ziel / Teilziele	Zielkriterium	Zielwert (Wunsch der Interessenten)
Hydraulische Randbedingungen	HWS Neuenburgersee	H Neuenburgersee	H ≤ HW-Schadensgrenze N-See
	HWS Murtensee	H Murtensee	H ≤ HW-Schadensgrenze B-See
	HWS Bielersee	H Bielersee	H ≤ HW-Schadensgrenze B-See
	HWS Aare	Q Aare/Murgenthal	Q ≤ 850 m3/sec
	NWS Neuenburgersee	H Neuenburgersee	H ≥ Niederwassergrenze N-See
	NWS Murtenseee	H Murtensee	H ≥ Niederwassergrenze M-See
	NWS Bielersee	H Bielersee	H ≥ Niederwassergrenze B-See
Landwirtschaft	Landwirtsch. Erträge, Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz	H Neuenburgersee	Wasserstände gemäss Jahres-Wunschganglinie
		H Murtensee	
		H Bielersee	
Vegetation	Vegetat. Neuenburgerse	H Neuenburgersee	Wasserstände gemäss Jahres-Wunschganglinie(n)
	Vegetat. Murtensee	H Murtensee	
	Vegetat. Bielersee	H Bielersee	
Fauna / Vogelschutz	Fauna Neuenburgersee	H Neuenburgersee	Wasserstände gemäss Jahres-Wunschganglinie(n)
	Fauna Murtensee	H Murtensee	
	Fauna Bielersee	H Bielersee	
Fischerei	Fischerei Neuenburgers.	H Neuenburgersee	Wasserstände gemäss Jahres-Wunschganglinie(n); evtl. Anforderungen betr. Wasserstandsschwankungen
	Fischerei Murtensee	H Murtensee	
	Fischerei Bielersee	H Bielersee	
	Fischerei Aare	Q Aare	
Unterhalt	Günstige Arbeitsbedingungen	H Neuenburgersee	Wasserstände gemäss Wunschganglinie(n) in Herbst & Winter
		H Murtensee	
		H Bielersee	
Verkehr, Erholung, Tourismus	Günstige Verhältnisse für Verkehr und Tourismus	H Neuenburgersee	Wasserstände gemäss Wünschganglinie(n)
		H Murtensee	
		H Bielersee	
Kraftwerke	Günstige Energie-Produktionsbedingungen	Q Aare	Mindestabfluss und minimale Abfluss-Schwankungen

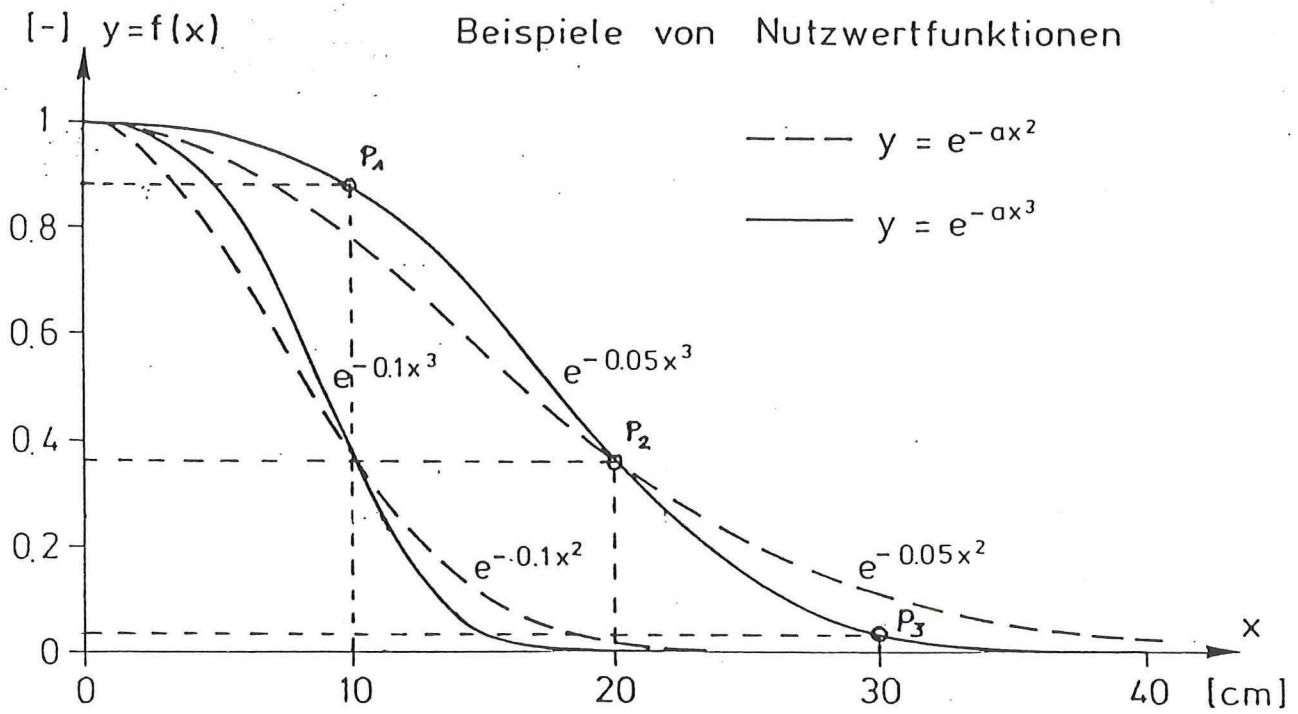
Bezeichnungen: H : Wasserstand; Q : Abfluss; HWS : Hochwasserschutz; NWS : Niederwasserschutz

Figur 1: Zielsystem für die Regulierung der Juragewässerkorrektion



Figur 2: Zielkriterium Wasserstand: Darstellung des Zielwertes durch eine Wunschganglinie. Vergleich zwischen dem effektiven und gewünschten Wasserstand.

Am Tag T_i wird zwischen dem effektiven Wasserstand H und dem gewünschten Wassserstand w eine Differenz von x_i (cm) festgestellt.
Dieser Abweichung x_i wird ein Nutzwert y_i gemäss der festgelegten Nutzwertfunktion $y = f(x)$ zugeordnet.
Die Nutzwerte werden in diesem Sinne für jede Zeiteinheit (Tag) erhoben und schliesslich über das massgebende Zeitintervall (Jahr oder Teile davon) gemittelt.



Figur 3: Beispiel einer Nutzwertfunktion mit Parametervariationen

Wird zum Beispiel die Nutzwertfunktion $y = e^{-0.05x^3}$ zugrunde gelegt, so wird dadurch - im Sinne der Tabelle 1 - eine Differenz von 10, 20, resp. 30 cm zwischen effektivem und gewünschtem Zielertrag wie folgt beurteilt:

P_1: Abweichung x = 10 cm → Nutzwert y = 0.88 ; nur leichte Beeinträchtigung
P_2: Abweichung x = 20 cm → Nutzwert y = 0.35 ; verbreitet mittlere Schäden
P_3: Abweichung x = 30 cm → Nutzwert y = 0.05 ; schwere Schäden, nahezu untragbare Situation

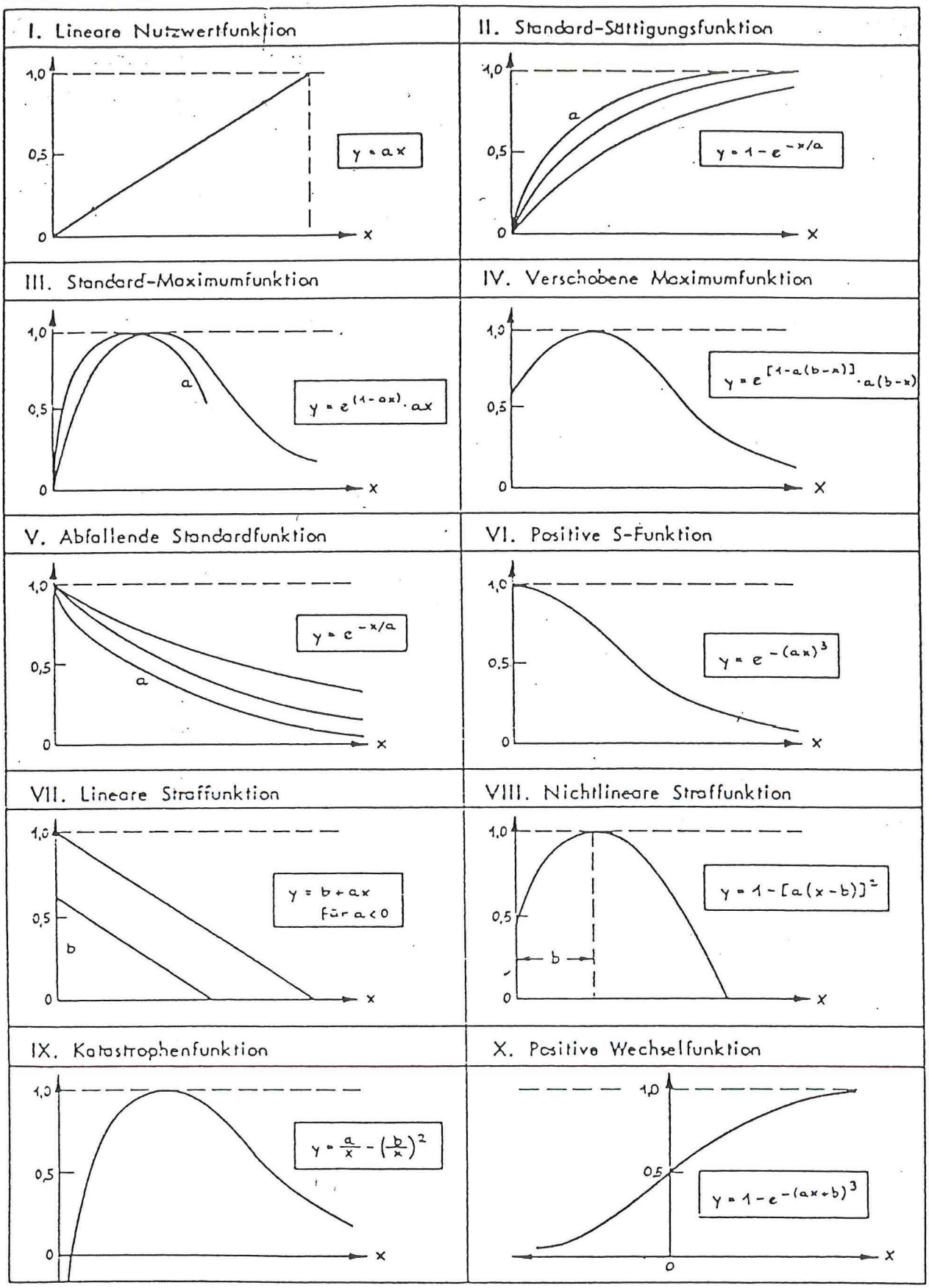


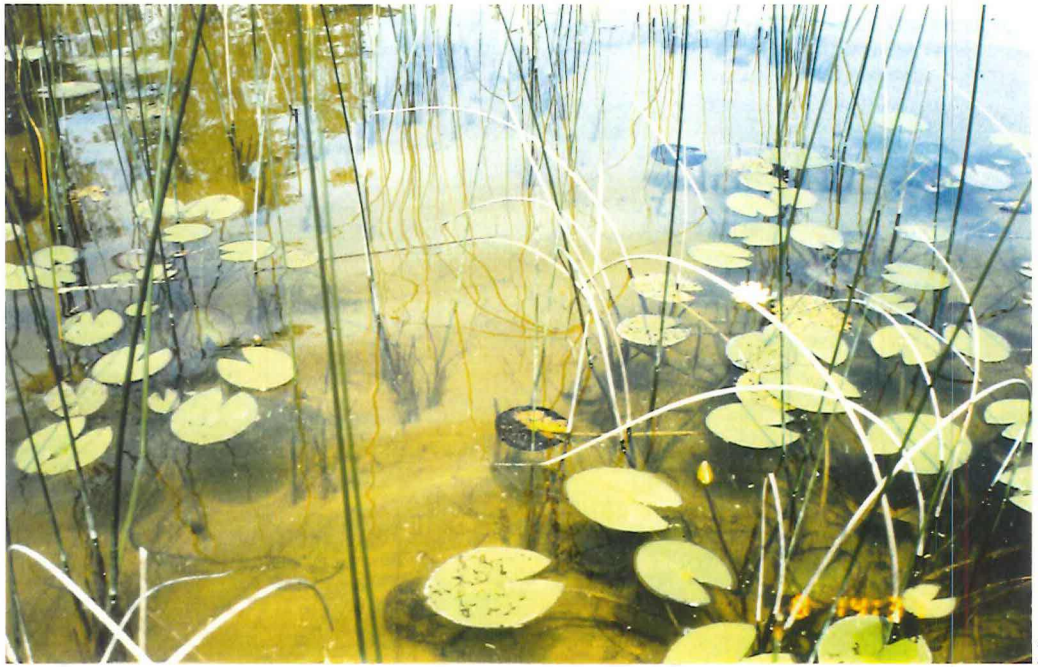
Fig. 4: Einige typische Nutzwertfunktionen

DOCUMENTATION PHOTOGRAPHIQUE

Photo 1 - bateau équipé du matériel de pêche à l'électricité
Photo 2 - lagune de la Pierre-Noire
Photo 3 - brocheton dans la lagune de la Pierre Noire
Photo 4 - juvéniles de gardons dans la lagune de la Pierre Noire

Photo 5 - exemple de chenal
Photo 6 - pêche d'un chenal
Photo 7 - analyses physico-chimiques d'une lagune
Photo 8 - pêche d'une lagune

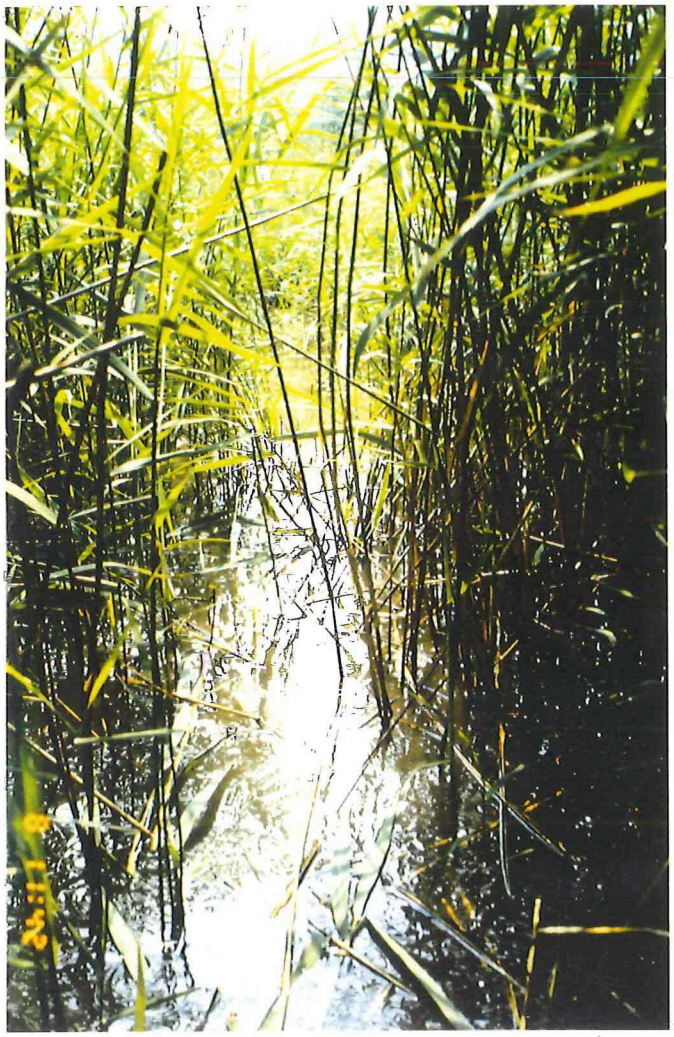
1



2

3

4



5

6

7

8

Alabaster J.S. & Lloyd R., 1980 : Water quality criteria for freshwater fish. - Butterworths, London.

Aquarius, 1991 : La zone des Tuileries, le Mujon, le Bey & la Brine. Valeurs hydrobiologique & piscicole. Propositions d'aménagement. - Rapport interne du GEG. Grande Cariçae, Cheseaux-Noréaz.

Aquarius-VAW, 1994 : Projet-pilote de mesures anti-érosion. Secteur Yverdon-Yvonand. Document de Synthèse. - Rapport du Groupe érosion de la rive sud du lac de Neuchâtel, Cantons de Fribourg et de Vaud, 16 pp.

Dufour B. & Dufour-Fallot B., 1988 : Surveillance scientifique. Effet de l'entretien des étangs sur la faune piscicole en 1987. - Rapport de gestion n°4. GEG. Grande Cariçae, Cheseaux-Noréaz.

Fortin R., Dumont P. & Fournier H., 1983 : La reproduction du grand brochet (*Esox lucius* L.) dans certains plans d'eau du sud du Québec (Canada). - R. Billard, Ed. Le Brochet : gestion dans le milieu naturel et élevage, INRA Publ., Paris. 39-51.

Geiger W., Meng H.J. & Ruhlé Chr., 1975 : Effects of Simulated Pumped Storage Operation on Northern Pike Fry. - Rev. Suisse d'Hydrol. 37, 225-235.

Müller R., 1991 : La toxicité de composés d'azote pour les poissons et valeurs limites qui en découlent. - Nouvelles de l'EAWAG 30, 32-35, Dübendorf.

Nelva A., Persat H. & Chessel D., 1979 : Une nouvelle méthode d'étude des peuplements ichtyologiques dans les grands cours d'eau par échantillonnage ponctuel d'abondance. - .R. Acad. Sc. Paris, t. 289.

Neuenschwander M., 1989 : Croissance et pêche du brochet (Esox lucius L.) dans le lac de Neuchâtel. - Travail de licence, Université de Neuchâtel.

Pedroli J.C., Zaugg B. & Kirchhofer A., 1991 : Atlas de distribution des poissons et cyclostomes de Suisse. - Doc. faun. helvetiae n°11. Centre suisse de cartographie de la faune, Neuchâtel.

Quartier A.A., 1968 : La pêche du brochet (Esox Lucius L) dans le lac de Neuchâtel. - Tirage à part de "Bibliothèques et Musées 1968".

Renevey B., 1981 : Plan de protection des rives du lac de Neuchâtel. Inventaire d'étangs à vocations différentes, réalisables sur la rive sud du lac de Neuchâtel. -- Rapport de gestion n°14. GEG. Grande Cariçae, Cheseaux-Noréaz.

Souchon Y., 1983 : La reproduction du brochet (*Esox lucius* L., 1758) dans le milieu naturel. - R. Billard, Ed. Le Brochet : gestion dans le milieu naturel et élevage, INRA Publ., Paris. 21-37.

United states environmental protection agency, 1976 : Quality criteria for water. - Washington.

Zaugg B., 1983 : La biologie de la brème franche (*Abramis brama* L.) et de la brème bordelière (*Blicca bjoerkna* L.) dans le lac de Neuchâtel. - Travail de licence, Université de Neuchâtel.

Zaugg B., 1987 : Quelques aspects de dynamique des populations, de biologie générale et de biométrie du gardon (*Rutilus rutilus* L.) dans 4 lacs du Plateau Suisse. - Thèse, Université de Neuchâtel.

Nous tenons ici à remercier vivement les pêcheurs professionnels de la rive sud du lac de Neuchâtel pour l'aide pratique qu'ils nous ont apportées ainsi que pour les conseils et recommandations qu'ils nous ont prodigués.

Nos remerciements vont également aux collaborateurs et responsables des administrations cantonales de la pêche des cantons de Vaud, Fribourg et Neuchâtel pour la disponibilité dont ils ont fait preuve dans le cadre de la recherche des données nécessaires à la réalisation de cette étude.

Le groupe d'étude et de gestion de la rive sud du lac de Neuchâtel a également droit à notre gratitude pour l'aide et les autorisations qu'il nous a fourni.