

N° d'Ordre 103

50376
1980
46

50376
1980
46

T H E S E

Présentée
A la Faculté des Sciences de l'Université de Lille
pour l'obtention du titre de Docteur de l'Université de Lille
(Mention : SCIENCES)

**ESSAI D'ÉCOLOGIE APPLIQUÉE
A L'AMÉNAGEMENT DU
LAC D'ARMOUITS-CAPPEL (Nord)**

par

Charles POINSOT



Soutenu le 4 Mars 1980 devant la Commission d'Examen

Président : M. E. VIVIER

Examineurs : MM P. BIAYS
M. BODART
J.M. GEHU
B. FONTALIRAND

A mon père,

A mes proches.

«Grâce au développement de l'écologie fondamentale (qui s'exerce dans le but de connaître) et aux progrès de l'écologie appliquée (qui s'exerce dans le but d'agir), il est devenu possible d'intervenir sur la dynamique de nombreux peuplements végétaux et animaux, et de mettre au point des méthodes propres à la mise en valeur du milieu de vie». **J.C. FISCHER, 1976.**

DOYENS HONORAIRES De l'Ancienne Faculté des Sciences

MM. R.DEFRETIN, H.LEFEBVRE, M.PARREAU.

PROFESSEURS HONORAIRES des Anciennes Facultés de Droit
et Sciences Economiques, des Sciences et des Lettres

MM. ARNOULT, Mme BEAUJEU, BONTE, BROCHARD, CHAPPELON, CHAUDRON, CORDONNIER, CORSIN, DECUYPER, DEHEUVELS, DEHORS, DION, FAUVEL, FLEURY, P.GERMAIN, GLACET, GONTIER, HEIM DE BALSAC, HOCQUETTE, KAMPE DE FERIET, KOUGANOFF, LAMOTTE, LASSERRE, LELONG, Mme LELONG, LHOMME, LIÉBAERT, MARTINOT-LAGARDE, MAZET, MICHEL, PEREZ, ROIG, ROSEAU, ROUELLE, SAVARO, SCHILTZ, WATERLOT, WIEMAN, ZAMANSKI.

ANCIENS PRESIDENTS DE L'UNIVERSITE
DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE

MM. R.DEFRETIN, M.PARREAU, J.LOMBARD.

PRESIDENT DE L'UNIVERSITE
DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE

M. M.MIGEON.

PROFESSEURS - 1ère Classe

M. BACCHUS Pierre	Astronomie
M. BEAUFILS Jean-Pierre	Chimie Physique
M. BECART Maurice	Physique Atomique et Moléculaire
M. BILLARD Jean	Physique du Solide
M. BIAYS Pierre	Géographie
M. BONNOT Ernest	Biologie Végétale
M. BOUGHON Pierre	Algèbre
M. BOURIQUET Robert	Biologie Végétale
M. CELET Paul	Géologie Générale
M. COEURE Gérard	Analyse
M. CONSTANT Eugène	Electronique
M. CORDONNIER Vincent	Informatique
M. DEBOURSE Jean-Pierre	Gestion des Entreprises
M. DELATTRE Charles	Géologie Générale
M. DELHAYE Michel	Chimie Physique
M. DERCOURT Jean	Géologie Générale
M. DURCHON Maurice	Biologie Expérimentale
M. ESCAIG Bertrand	Physique du Solide
M. FAURE Robert	Mécanique
M. FOURET René	Physique du Solide
M. GABILLARD Robert	Electronique
M. GRANELLE Jean-Jacques	Sciences Economiques
M. GRUSON Laurent	Algèbre
M. GUILLAUME Jean	Microbiologie
M. HECTOR Joseph	Géométrie
M. HEUBEL Joseph	Chimie Minérale

M. LABLACHE-COMBIER Alain	Chimie Organique
M. LACOSTE Louis	Biologie Végétale
M. LANSRAUX Guy	Physique Atomique et Moléculaire
M. LAVEINE Jean-Pierre	Paléontologie
M. LEBRUN André	Electronique
M. LEHMANN Daniel	Géométrie
Mme LENOBLE Jacqueline	Physique Atomique et Moléculaire
M. LHOMME Jean	Chimie
M. LOMBARD Jacques	Sociologie
M. LOUCHEUX Claude	Chimie Physique
M. LUCQUIN Michel	Chimie Physique
M. MAILLET Pierre	Sciences Economiques
M. MONTREUIL Jean	Biochimie
M. PARREAU Michel	Analyse
M. PAQUET Jacques	Géologie Générale
M. POUZET Pierre	Analyse Numérique
M. PROUVOST Jean	Minéralogie
M. SALMER Georges	Electronique
Mme SCHWARTZ Marie-Hélène	Géométrie
M. SEGUIER Guy	Electrotechnique
M. STANKIEWICZ François	Sciences Economiques
M. TILLIEU Jacques	Physique Théorique
M. TRIDOT Gabriel	Chimie Appliquée
M. VIDAL Pierre	Automatique
M. VIVIER Emile	Biologie Cellulaire
M. WERTHEIMER Raymond	Physique Atomique et Moléculaire
M. ZEYTOUNIAN Radyadour	Mécanique

PROFESSEURS - 2ème Classe

M. AL FAKIR Sabah	Algèbre
M. ANTOINE Philippe	Analyse
M. BART André	Biologie Animale
Mme BATTIAU Yvonne	Géographie
M. BEGUIN Paul	Mécanique
M. BELLET Jean	Physique Atomique et Moléculaire
M. BKOUCHE Rudolphe	Algèbre
M. BOBE Bernard	Sciences Economiques
M. BODARD Marcel	Biologie Végétale
M. BOILLY Bénoni	Biologie Animale
M. BOIVIN Jean-Claude	Chimie Minérale
M. BONNELLE Jean-Pierre	Chimie
M. BOSCO Denis	Probabilités
M. BREZINSKI Claude	Analyse Numérique
M. BRIDOUX Michel	Chimie Physique
M. BRUYELLE Pierre	Géographie
M. CAPURON Alfred	Biologie Animale
M. CARREZ Christian	Informatique
M. CHAMLEY Hervé	Géotechnique
M. CHAPOTON Alain	Electronique
M. COQUERY Jean-Marie	Psychophysiologie
Mme CORSIN Paule	Sciences de la Terre
M. CORTOIS Jean	Physique Nucléaire et Corpusculaire
M. COURBIS Bernard	Sciences Economiques
M. COUTURIER Daniel	Chimie Organique
M. CRAMPON Norbert	Sciences de la Terre
M. CROSNIER Yves	Electronique
Mme DACHARRY Monique	Géographie
M. DEBRABANT Pierre	Géologie Appliquée
M. DEGAUQUE Pierre	Electronique
M. DELORME Pierre	Physiologie Animale

M. DE PARIS Jean-Claude	Mathématiques
M. DEPREZ Gilbert	Physique du Solide et Cristallographie
M. DERIEUX Jean-Claude	Microbiologie
M. DEVRAINNE Pierre	Chimie Minérale
M. DHAINAUT André	Biologie Animale
M. DOUKHAN Jean-Claude	Physique du Solide
M. DUBOIS Henri	Physique
M. DUBRULLE Alain	Physique
M. DUEE Gérard	Géologie
M. DYMENT Arthur	Mécanique
Mme EVRARD Micheline	Chimie Appliquée
M. FLAMME Jean-Marie	Technologie de Construction
M. FOCT Jacques	Génie Mécanique
M. FONTAINE Hubert	Physique
M. FONTAINE Jacques	Electronique, Electrotechnique, Automatique
M. FOURNET Bernard	Biochimie Structurale
M. GOBLOT Rémi	Algèbre
M. GOSSELIN Gabriel	Sociologie
M. GOUDMAND Pierre	Chimie Physique
M. GREVET Patrick	Sciences Economiques
M. GUILBAULT Pierre	Physiologie Animale
M. HERMAN Maurice	Physique Spatiale
M. HOUDART René	Mathématiques
M. JACOB Gérard	Informatique
M. JOURNAL Gérard	Physique Atomique et Moléculaire
M. KREMBEL Jean	Biochimie
M. LAURENT François	Automatique
Mle LEGRAND Denise	Algèbre
Mle LEGRAND Solange	Algèbre
M. LEMAIRE Jean	Physique
M. LENTACKER Firmin	Géographie
M. LEROY Jean-Marie	Méthodologie
M. LEROY Yves	Electronique, Electrotechnique, Automatique
M. LEVASSEUR Michel	Sciences Economiques
M. LHENAFF René	Géographie
M. LOCQUENEUX Robert	Physique Théorique
M. LOSFELD Joseph	Informatique
M. LOUAGE Francis	Electronique
M. MACKE Bruno	Physique
M. MAHIEU Jean-Marie	Physique Atomique et Moléculaire
M. MAIZIERES Christian	Automatique
Mle MARQUET Simone	Probabilités
M. MESSELYN Jean	Physique Atomique et Moléculaire
M. MIGEON Michel	Chimie Physique
M. MIGNOT Fulbert	Analyse Numérique
M. MONTEL Marc	Physique du Solide
M. MONTUELLE Bernard	Biologie et Biochimie Appliquée
Mme N'GUYEN VAN CHI Régine	Géographie
M. NICOLE Jacques	Chimie Analytique
M. NOTELET Francis	Electronique, Electrotechnique, Automatique
M. PARSY Fernand	Mécanique
Mle PAUPARDIN Colette	Biologie Physiologie Végétales
M. PECQUE Marcel	Chimie Organique
M. PERROT Pierre	Chimie Appliquée
M. PERTUZON Emile	Physiologie Animale
M. PETIT Francis	Chimie Organique, Minérale et Analytique
M. PONSOLLE Louis	Chimie Physique
M. PORCHET Maurice	Biologie
M. POVY Lucien	Automatique
M. RACZY Ladislas	Electronique
M. RICHARD Alain	Biologie

M. RIETSCH François	Chimie
M. ROGALSKI Marc	Analyse
M. ROUSSEAU Jean-Paul	Physiologie Animale
M. ROY Jean-Claude	Psychophysiologie
M. SALAMA Pierre	Sciences Economiques
Mme SCHWARZBACH Yvette	Mathématiques
M. SCHAMPS Joël	Physique
M. SIMON Michel	Sociologie
M. SLIWA Henri	Chimie Organique
M. SOMME Jean	Géographie
Mlle SPIK Geneviève	Biochimie
M. STERBOUL François	Informatique
M. TAILLIEZ Roger	Biologie
M. THERY Pierre	Electronique, Electrotechnique, Automatique
M. TOULOTTE Jean-Marc	Automatique
M. VANDORPE Bernard	Chimie Minérale
M. VILETTE Michel	Résistance des Matériaux
M. WALLART Francis	Chimie
M. WATERLOT Michel	Géologie Générale
M. WERNER Georges	Informatique Fondamentale Appliquée
Mme ZINN-JUSTIN Nicole	Algèbre

Nous ne saurions aborder cette étude du lac d'Armbouts-Cappel sans remercier ceux qui, peu ou prou, par leur concours et leurs conseils, ont aidé, depuis 1972, à sa réalisation.

Notre reconnaissance va particulièrement à :

- L'A.G.U.R. - DUNKERQUE - et à ceux qui ont apporté leur collaboration, à Bernard FONTALIRAND, son Directeur, pour ses conseils et à la prise en charge des indispensables études de terrain
- ARMBOUTS-CAPPEL, son Maire et les Conseillers Municipaux, pour leur intérêt envers le lac.
- J. ARRIGNON, du Conseil Supérieur de la Pêche (première région piscicole) - COMPIEGNE.
- J.C. BRUNEEL, Président de la S.E.P.R.O.N.A.T. - DUNKERQUE.
- R.G. BUSNEL, Directeur du Laboratoire de Physiologie Acoustique (INRA/CNRZ) - JOUY-EN-JOSAS.
- B. COULET, Directeur de la Réserve Naturelle de Camargue - ARLES.
- La C.U.D. et notamment B. GUILBERT, Vice-Président à l'Urbanisme, B.BISMAN, Directeur des Services Techniques et Y. CASTELIN, du service foncier, pour leur soutien leurs informations et leur aide à la réalisation de cette étude.
- A. DELELIS-DUSOLLIER, du Laboratoire de Systématique et d'Ecologie végétales. Faculté de Pharmacie - LILLE.
- M. DELSAUT, du Laboratoire de Psycho-physiologie - Université des Sciences et Techniques - VILLENEUVE D'ASCQ.
- P.N. FRILEUX, Phytosociologue de la Faculté des Sciences de ROUEN.
- B. FROCHOT, du Laboratoire de Botanique et d'Ecologie, Faculté des Sciences de la Vie et de l'Environnement - DIJON.
- Le Lieutenant-Colonel J. GAUTHIER, commandant le corps des sapeurs-pompiers de la C.U.D. - Dunkerque.
- G. GROLLEAU, Président du Groupe Ornithologique Parisien, Laboratoire de la Faune Sauvage (CNRZ) JOUY-EN-JOSAS.
- J. HUIN, Documentaliste à DOCAMENOR - LILLE.
- L. KERAUTRET, Conseiller Biologiste, Président du Groupe Ornithologique Nord - DOUAL.
- J.P. LIENHARDT, Ecologiste stagiaire à l'A.G.U.R.
- J.P. MERIAUX, de l'Institut Européen d'Ecologie - METZ,
- F. NAVE, Ecologiste à l'AGUR.
- B. PATIN, Ecologiste à la Division Aménagement et Urbanisme - CETE - LILLE.

- P. VERDEVOYE, Hydrobiologiste et ses collègues du S.R.A.E. Nord-Pas-de-Calais - LILLE.
- G. VERMERSCH - Président de la section dunkerquoise du Groupe Ornithologique Nord COUDEKERQUE.
- J. VERNEAUX, Directeur du Laboratoire d'Hydrobiologie CTGREF BESANCON, pour l'enseignement et la passion hydrobiologiques qu'il nous a communiquées.
- J.L. VERREL, Division Qualité des Eaux, Pêche et Pisciculture.

Nous tenons à exprimer tout particulièrement notre reconnaissance à Monsieur le Professeur VIVIER, pour l'appui qu'il a toujours manifesté pour notre travail.

Nos remerciements vont naturellement aux membres du jury pour leur soutien et leurs conseils, comme pour les critiques et les encouragements, qu'ils ont manifestés lors de cette recherche par nature pluridisciplinaire.

Qu'ils acceptent ici l'expression de ma profonde gratitude.

	<u>Page</u>
V - Phase synthétique	57
51 - Synécologie fonctionnelle	57
52 - Synthèse limnologique	66
53 - Le lac dans son contexte	73
54 - Conclusions	78
VI - Descriptif des différents aménagements écologiques proposés	79
61 - Le lac, sensu stricto	79
611 - Aménagement des berges	81
612 - Traitement du sédiment	85
613 - Régulation du développement pélagique	86
614 - Déséquilibre de la charge en P.	88
615 - Aménagement piscicole	91
616 - Processus d'intervention	95
62 - La réserve ornithologique	97
621 - Avifaune potentielle	98
622 - Variétés des biotopes	99
623 - Propositions d'aménagement	99
624 - Accueil du public	104
63 - Le parcours de pêche	105
VII - CONCLUSIONS	109
VIII - Bibliographie	113

Fig n° 28	Estimation et évolution de la valeur écologique du site.	77
n° 29	Evolutions possibles du fond lacustre	85
n° 30	Relation existant entre la densité du poisson et les populations de Cladocères du genre <i>Daphnia</i>.	87
n° 31	Variation de la concentration de P.	90
n° 32	Planning des interventions d'amélioration du plan d'eau	95
n° 33	Evolution du phosphore dans les différents niveaux au cours du traitement	96
n° 34	Epannelage approximatif des aménagements proposés.	111

I - INTRODUCTION -

A l'exception des inondations stratégiques (de 1940 et 1944 en particulier), on peut considérer que le polder de la Flandre Maritime Française n'est entièrement hors d'eau que depuis le XVIII^e siècle, époque où fut asséché le grand lac des Moères. Or, depuis 1970, une tendance inverse apparaît, qui voit naître de nouveaux plans d'eau dans la région dunkerquoise. Le Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme ayant mis l'accent sur la nécessité de desservir l'agglomération par un certain nombre d'infrastructures routières, il a été (et il sera encore) nécessaire de rechercher des remblais pour ces voiries. Ces horizons sableux du sous-sol de la région ont déjà fait l'objet d'exploitations, d'où résulte la présence de lacs, consécutifs au remplissage des sablières par la nappe phréatique, partout présente. Il en est ainsi des lacs du Héron (Meuleunhouck) et de la Basse Plaine (ferme Noorenbergue). C'est aussi le cas du lac d'Armbouts-Cappel.

En 1966, une carrière d'extraction de matériaux de remblais pour la voie express Bergues-Dunkerque (prolongement de l'autoroute A 25 venant de Lille) a été ouverte sur le territoire de la commune d'ARMBOUTS-CAPPEL. Le sable a été prélevé par un procédé hydraulique : sable et eau étant mélangés puis pompés avant d'être rejetés sur le tracé autoroutier par la drague suceuse.

Après une période en concession, le lac a été acquis par le Ministère de l'Équipement puis racheté par la Communauté Urbaine de Dunkerque. A la fin de l'exploitation en 1967, son remplissage par la nappe phréatique a formé un lac d'eau douce (malgré la présence de chlorures provenant de la nappe salée sous-jacente.)

Outre ses caractéristiques piscicoles, ce lac constitua, dès l'origine, une étape de migration, et d'hivernage pour d'importantes populations d'oiseaux aquatiques. C'est ainsi que, dès 1971, était envisagée la création d'une réserve ornithologique. Toutefois, l'absence de végétation des rives et des hauts fonds, qui s'explique par le stade précoce de développement lacustre, ne permettait pas une nidification, très souhaitable d'un point de vue scientifique.

Devant la richesse potentielle de ce site, et devant la disparition de nombreux autres espaces naturels de grande qualité dans la région dunkerquoise, telle la dune du Clipon, la Communauté Urbaine a retenu, à la suite de propositions de l'Agence d'Urbanisme de 1973, le principe de faire de ce lac une zone de nature.

Après les animaux, les hommes ont, à des titres divers, manifesté leur intérêt pour ce lac d'eau douce qui n'a pas son semblable en Flandre Maritime. Il est ainsi aujourd'hui le lieu de pressions contradictoires qui tendent, par l'absence d'orientation rigoureuse, d'homogénéité et de constance dans les partis d'aménagement retenus, à rendre caduque la volonté initiale de protection du site.

C'est dans le souhait de pouvoir définir clairement un programme d'aménagement cohérent de l'ensemble du site que la Communauté Urbaine de Dunkerque a demandé à l'Agence d'Urbanisme d'étudier le lac d'Armbouts-Cappel et ses abords en vue de son utilisation, simultanément pour la «Nature» et pour les loisirs des habitants de la région.

Cette thèse constitue la partie «Recherche écologique fondamentale et appliquée» de l'étude, à l'exclusion des cadrages et programmations des activités ludiques, travail faisant l'objet de publications spécifiques de l'A.G.U.R. (POINSOT, 1979 a et b).

II - PRINCIPES D'ETUDES -

Tout milieu (dit) naturel peut être caractérisé par ses aspects physio-graphiques et biologiques, mais aussi par son intérêt d'usage pour les activités humaines. En conséquence, il apparaît insuffisant de ne prendre en compte, dans l'aménagement d'une portion d'espace, que des contraintes foncières, techniques ou économique-spatiales. Il est clair, dès à présent, que de telles considérations -qui tiennent pour négligeables les valeurs intrinsèques du milieu et ses caractères évolutifs propres- conduisent à une gestion aberrante du patrimoine territorial (FISCHER et LAPOIX, 1977).

Pour tenter de remédier à cette attitude, il a été élaboré puis adopté une loi sur la Protection de la Nature (n° 76-629 du 10 Juillet 1976) qui met en exergue, dans son article premier, l'intérêt général de la protection des espaces naturels et des paysages, de la préservation des espèces, du maintien des équilibres biologiques. Cette volonté se concrétise au niveau des décrets d'application de la loi (en particulier Chapitre 1 : Des études d'impact. Décret 77.1141 du 12 Octobre 1977 ; Décret 77.1295 du 25 Novembre 1977 concernant la protection du patrimoine naturel et Décret 77.1298 du 25 Novembre 1977 concernant les réserves naturelles.

Malgré l'intérêt pratique de ces mesures, il n'en demeure pas moins que la meilleure façon d'aborder un aménagement est de poser la problématique en amont. C'est ce que préconise l'étude de planification écologique, de sorte que la connaissance des milieux impliqués soit intégrée à la réflexion, comme préalable à toute réalisation. (ABRASSART et coll. 1976 - FABRE, 1975).

Ce n'est qu'ensuite que différentes variantes peuvent être proposées, dans le cadre des possibilités tolérables au vu des études d'impact sur le milieu écologique considéré. Comme tous les systèmes biologiques, les écosystèmes sont confrontés à des problèmes de survie. Ils possèdent des mécanismes fonctionnels propres qui conditionnent la façon dont ils peuvent se maintenir tout en se transformant. De tels mécanismes adaptatifs relèvent de ce que l'on appellera globalement, dans une perspective évolutionniste, une «stratégie cénotique». (BLANOIN et coll. 1976).

Selon l'organisation de l'écosystème considéré, deux types au moins de stratégie cénotique pourraient être distingués. Pour exemple, les écosystèmes pauvres en espèces et à diversité spécifique faible dépendraient directement de la survie de toutes les espèces qui en font partie.

Tout aménagement doit aujourd'hui tenir compte du concept d'écosystème, d'une part pour sauvegarder ceux de ses aspects qui sont bénéfiques et qui donnent des ressources, d'autre part pour limiter ses aspects néfastes ou les contrôler, les éliminer parfois. Ceux-ci constituent des contraintes du point de vue de l'aménageur. La conception d'«aménagement intégré» consiste, selon TRICART, dans une connaissance suffisamment poussée et précise du système naturel pour que l'on puisse agir dans des conditions financièrement acceptables sur les ressources pour les exploiter sans les dégrader et sur les contraintes pour s'en accommoder. L'essentiel est de ne pas déclencher des phénomènes secondaires menaçant l'aménagement lui-même en faisant apparaître des contraintes nouvelles et imprévues. (TRICART, 1973).

L'écologie d'aménagement ne peut se satisfaire de la prise en compte des seules données de nature : ce sont, en règle générale, les données de structure et de fonctionnement relatives à la dynamique des systèmes naturels qui seront à rechercher et à utiliser, le but de l'écologie d'aménagement étant en effet de définir les aptitudes ou les contraintes du milieu au regard de tel ou tel type d'utilisation. En conséquence, on recherchera davantage la compréhension des mécanismes internes du système plutôt que la cartographie factorielle qui est à la base de la planification écologique (CHEMIN, 1976 - TARLET, 1977).

Dans le cas présent, la méthode retenue comprend trois phases :

1) une phase descriptive, concernant les aspects purement mésologiques du lac, sa morphologie propre et son contexte géologique et climatique. Il s'agit là d'une simple collecte de données existantes.

2) une phase analytique, dont le but est d'obtenir les informations indispensables à la caractérisation du plan d'eau, sa vie propre et les biocoenoses qu'il héberge.

Pour cela, il a été fait appel, par l'Agence d'Urbanisme de la Région Dunkerquoise, aux études spécifiques du Service Régional d'Aménagement des Eaux du Nord - Pas-de-Calais (S.R.A.E.), du Centre Technique du Génie Rural des Eaux et des Forêts (C.T.G.R.E.F.), de l'Institut de Recherche en Chimie Appliquée (I.R.C.H.A.) du Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement (C.E.T.E.) ainsi qu'à la collaboration de spécialistes régionaux en phytosociologie lacustre et en ornithologie.

Ces données brutes (regroupées sous le terme RESULTATS) ont été complétées, et comparées avec les informations ou observations déjà effectuées par nous-mêmes ou par d'autres sur le site. (Chapitres INTERPRETATION).

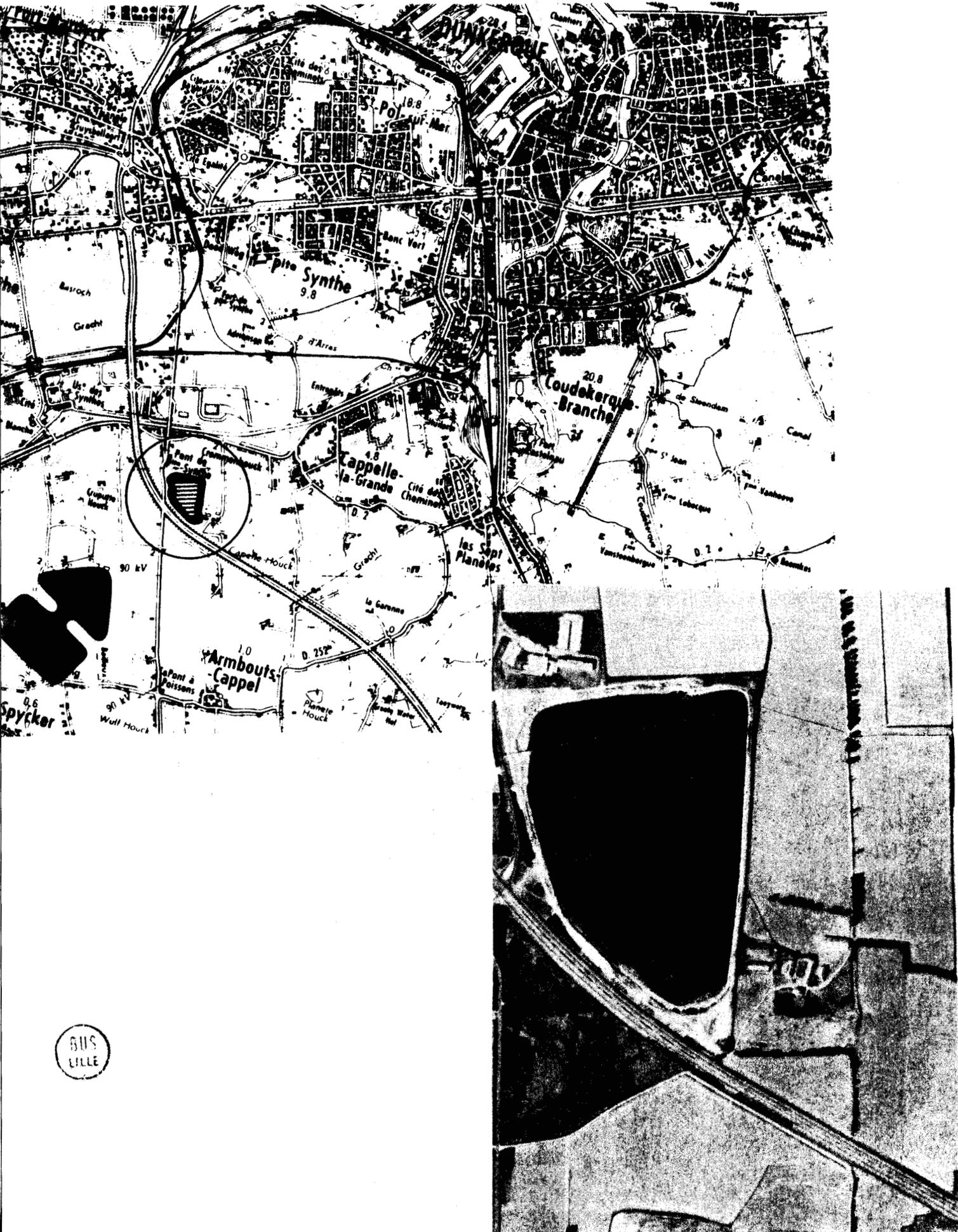
3) une phase synthétique a ensuite été entreprise, en vue de dégager d'une part le fonctionnement du système «Lac d'Armbouts-Cappel» et d'autre part pour le resituer dans le contexte plus général de son intérêt régional voire -sous certains aspects- européen.

L'esquisse synécologique étant faite, il nous est alors nécessaire de prévoir et proposer les aménagements écologiques, correctifs et préventifs qui sont nécessaires pour faire face aux usages de loisirs et de nature que les collectivités locales souhaitent mettre en pratique sur le site du lac.

FIG N° 1 - A et B -

A) - PLAN DE LOCALISATION DU LAC

B) - PHOTO AERIEENNE DU SITE (1/8.500) cliché I.G.N. -



III - PHASE DESCRIPTIVE

Le lac d'Armbouts-Cappel est localisé au Sud-Ouest de l'agglomération de Dunkerque, à l'intersection de la voie express et de la D.52, entre les lieux-dits du Crommenhouck, du Capellehouck et du Pont de Petite-Synthe qui permet le franchissement du canal de Bourbourg (cf. Fig. n°1).

Comme tout système ouvert, le lac est déterminé à la fois par ses caractéristiques propres et par celles de son environnement.

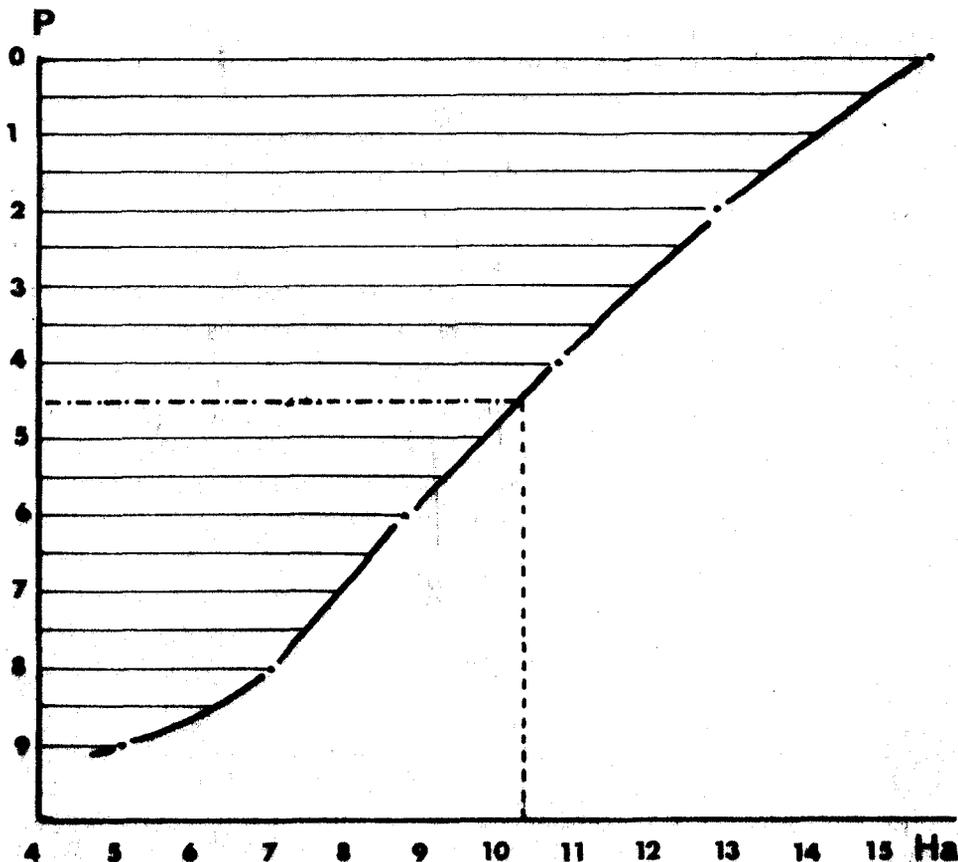
31 - Données physiques (POINSOT, 1973 a et b)

31-1 - Description et caractéristiques morphologiques

Le lac présente une forme triangulaire, ovalisée dans sa partie sud. Les fonds, initialement à 15 m sous la surface piezométrique, se sont rapidement stabilisés après fluage (c'est-à-dire un déplacement à vitesse faible sans surface de rupture) autour de - 8m, avec deux cuvettes à - 9m sous la surface du lac. On peut dresser une courbe hypsométrique du lac (cf. fig. n° 2). Les pentes sont douces au Sud (5%), raides au Nord (initialement à 22% mais stabilisées à 17%), fortes sur les autres rives (8%). D'une manière générale, ces pentes ont tendance à diminuer, au moins dans leur partie supérieure.

FIG. N° 2 - COURBE HYSOMETRIQUE

Répartition des surfaces avec la profondeur et détermination de la profondeur moyenne.



Ceci explique que l'on ait observé un recul des berges d'une quinzaine de mètres dans le secteur Sud-Ouest. Cette berge présente actuellement une «falaise» due au vent de Nord-Est et au batillage.

Les dimensions du lac sont les suivantes :

- largeur \simeq 380 m (l)
- longueur \simeq 550 m (L)
- surface = 15 ha environ (S)
- profondeur moyenne = 4,5 m
- volume \simeq 10^6 m³ environ (V)
- périmètre \simeq 1470 m (P)

On peut ainsi calculer un indice de compacité (tel que celui de Gravelius appliqué aux bassins versants) (cité par REMENIERAS, 1965) qui est ici

$$K = \frac{P}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{\pi S}} = 1,07$$

Cette valeur, très faible si on la compare à celles des étangs sud-aquitains (par exemple Lacanau $k = 1,89$; Léon $k = 1,3$ - (DUTARTRE, 1978) semble caractéristique des plans d'eau non naturels, originaires de sablières ou de gravières (volume maximum pour une emprise minimum).

Le rapport de la profondeur moyenne (4,5 m) sur la profondeur maximale (9 m) soit $R = 0,5$ assimile ce lac à une cuvette parabolique (cf. DUSSART, 1966).

Son niveau approximatif est à + 0,50 m N.G.F. (Août 1973) alors que les rives sont autour de + 1,75 m N.G.F. La nappe phréatique des Polders oscille aux environs de + 0,5 N.G.F., tandis que le canal de Bourbourg, situé à 420 m de la rive nord, a une côte fixe de + 0,66 N. G.F.

En conséquence, le lac (et la nappe) sont drainés par le réseau des watergangs dont le collecteur principal est le «Yoorendyck» qui permet l'acheminement de l'eau jusqu'au canal de Bergues (- 0,77 N.G.F.) via le Langhe-Gracht (+ 0,15 N.G.F. environ).

Pour son alimentation en eau, son «bassin-versant» superficiel est de très faible étendue puisque limité -au Nord par le Novotel et un watergang, - à l'Est par le Yoorendyck, - au Sud et à l'Ouest par les voies de circulation qui sont drainées vers deux fossés reliés au plan d'eau. La superficie totale (A) est de 27,5 ha environ, dont 15 en eau libre (S).

Le rapport $\frac{A}{S}$ vaut 1,835

$\frac{A}{S}$

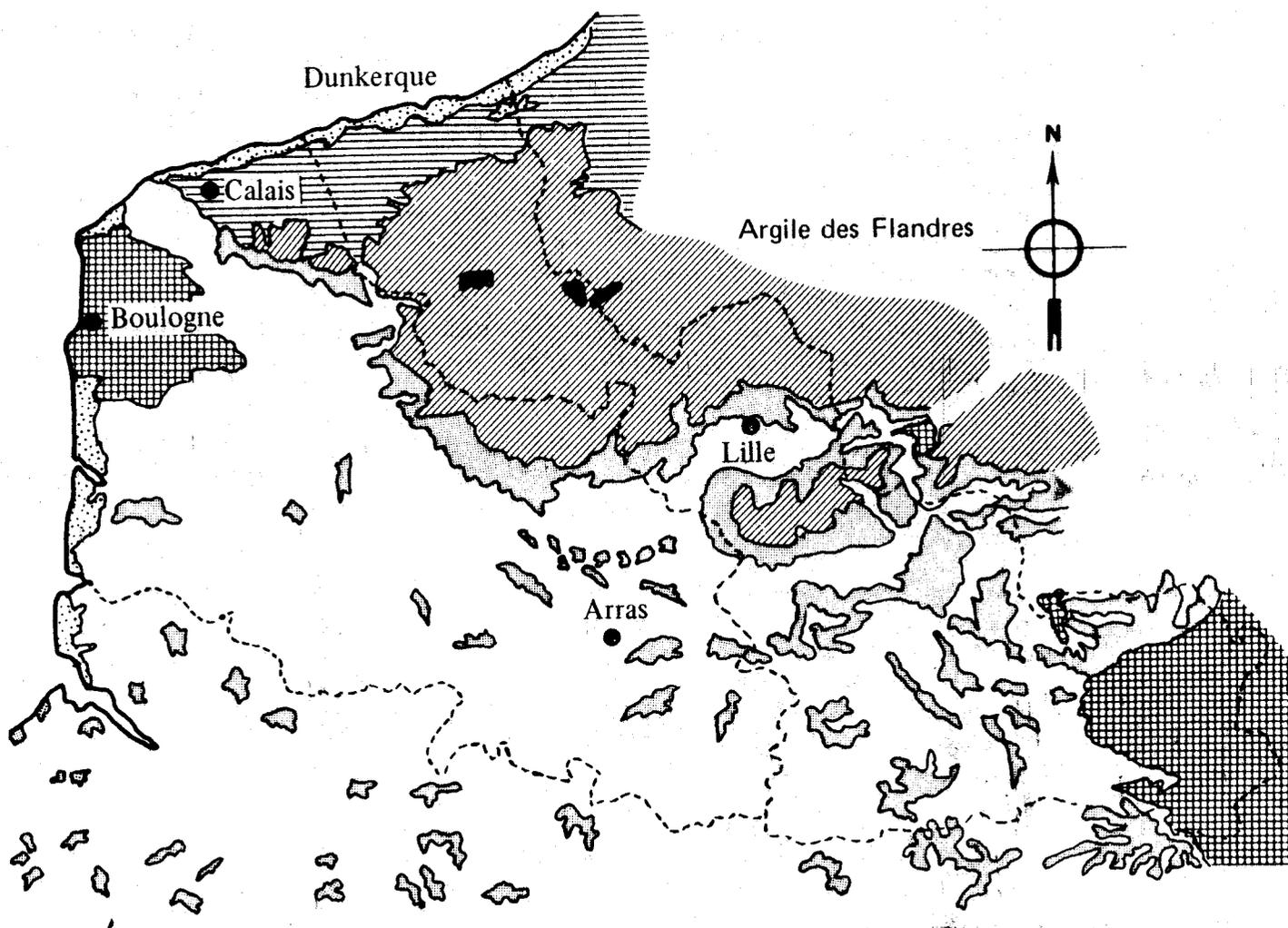
31-2 - Assise géomorphologique (COQUE - DELHUILLE, 1972 - DELAINE, 1969).

Le lac est inscrit dans la plaine flamande, partie septentrionale du département, que borde la mer du Nord. (cf Fig n° 3 carte géologique, d'après BLONDEAU et Coll. 1976).

L'aspect d'ensemble de la région apparaît comme une cuvette plate peu marquée dont les bords s'appuient sur les collines de Flandre ou les dunes littorales, avant de se perdre en mer.

C'est ainsi qu'entre les dunes hautes de 5 à 20 mètres et les collines de BERGUES (21 m), on peut noter de faibles ondulations dont la tendance générale est une inclinaison vers l'Est (direction des eaux avec une pente d'environ 0,006%. Mais il existe en fait un double pendage SW-NE et WNW-ESE provenant des rides anticlinales du Boulonnais (NW - SE) et de Dunkerque (NNW - SSE).

FIG N° 3 - CARTE GEOLOGIQUE DE LA REGION NORD -



- | | | |
|---|--|--------------------------|
|  | Formations dunales | } Quaternaire |
|  | Dépôts flandriens de la plaine maritime | |
|  | Formations post-yprésiennes des Monts des Flandres | |
|  | Yprésien des bassins de Flandres et d'Orchie | } Tertiaire |
|  | Landenien | |
|  | Terrains crétacés supérieurs de l'Artois Mélandois Cénomaniens-Turonien-Sénonien | } Secondaire et Primaire |
|  | Terrains antécrotacés supérieurs Boulonnais - Avesnois - Tournaisis | |

0 50 km



Plaine maritime de faible altitude, la région a subi, tout au long de son histoire, les bouleversements des diverses transgressions qui ont affecté la mer du Nord.

L'argile Ypresienne (argile des Flandres) constitue la base de toute la région de l'étude. Le toit oscille dans le secteur concerné autour des -13,5 m N.G.F.

Au toit de cette argile des Flandres, on rencontre une faible épaisseur d'argile molle décompressée et plastique (environ 2 à 3 mètres). Au-dessous de cette couche d'altération, l'argile est dure, comprimée. Elle est cependant très plastique (BAJARD, 1971). Sa texture est floconneuse en agrégats.

Elle date du tertiaire (éocène). Formée d'une argile bleuâtre, elle constitue un socle solide, imperméable. Sur celui-ci repose une série sableuse et schilteuse flandrienne, dont l'épaisseur décroît du littoral vers l'intérieur (Sables «pissarts»).

La granulométrie des sédiments indique la présence importante d'éléments moyens (de 0,1 à 2 mm. sable) et fins (sablons, silts, moins de 0,1 mm) d'origine marine. Ces terrains seront donc «perméables en petit».

Pour les niveaux supérieurs, la plaine maritime proprement dite comporte deux sous-ensembles morphologiques : d'une part la plaine tourbeuse au Sud, et d'autre part l'ancien golfe de Dunkerque - la Gerstå au Nord, où la tourbe fait totalement défaut :

a) L'extension de la plaine tourbeuse est donnée par les limites mêmes de la tourbe. Elle se termine vers le Sud au niveau du contact avec la Flandre intérieure. Des formations organiques (silts organiques, vases, tourbes) se rencontrent à tous les niveaux en lentille au sein de la masse flandrienne.

La tourbe est cependant plus fréquente en profondeur, car elle est caractéristique de la limite entre le Flandrien moyen et le Flandrien supérieur (LEMOINE et BAJARD, 1972). Elle est constituée d'une abondante végétation de marais, mais aussi de chênes, de bouleaux et de pins sylvestre.

b) La Gerstå est le nom qui fut donné au Moyen-Age à l'ancien golfe de Dunkerque. Elle s'étend au Nord de la plaine tourbeuse jusqu'au niveau de la zone dunaire littorale. Les sondages ont permis d'en repérer l'extension jusqu'au Sud de Coudekerque. La Gerstå devait se prolonger ensuite par un chenal atteignant Bergues, chenal situé à l'emplacement actuel du canal joignant Bergues à Dunkerque.

La puissance des formations holocènes atteint 11 m aux abords du lac qui leur doit son origine. Les formations dunkerquiennes -des transgressions du IV^e au VII^e siècle- épaisses parfois de 2 mètres, surtout sableuses, avec un faciès argilo-sableux ou argileux dans la partie supérieure, reposent directement sur les sables flandriens. Un bourrelet discontinu se développe en arc de cercle : ce sont les «dunes anciennes», à l'intérieur de la plaine tourbeuse. Beaucoup de fermes se sont établies sur cette bande de «hautes» terres, d'un mètre parfois plus élevées que les terrains voisins. Il passe au niveau de Brouckerque, Spycker, au sud d'Armbouts-Cappel, au nord du Petit Mille Brugge, puis Coudekerque, Leffrinckoucke et Ghyvelde. (DELEPINE, 1909).

Il s'agit là d'un banc sableux déposé sur une zone de hauts fonds, lorsque la mer recouvrait la plaine maritime.

Le phénomène responsable du modelé très particulier des bancs, tout au long de la côte de Calais à Ostende, et notamment au niveau de Dunkerque, est à l'origine du bourrelet sableux d'Armbouts-Cappel, qui fut mis en place par les courants de flot et de jusant.

31-3 - Hydrogéologie

Différemment localisée selon les composants géologiques, la nappe aquifère est partout présente.

L'ensemble hydrogéologique fait apparaître l'existence d'une couche d'eau douce flottant sur une nappe salée, l'interface entre ces nappes se situant à des profondeurs variables (rela-

tivement faibles en général) et le niveau de l'aquifère étant proche de la surface.

La nappe phréatique est très haute et se rencontre souvent à moins de 1 m sous la surface du sol. En hiver, et à la suite de pluies prolongées, elle remonte quelquefois jusqu'au niveau du sol en certains endroits.

La présence de sable au-dessus de l'interface eau douce - eau salée est indiquée, dans les reconnaissances géophysiques, par des résistivités supérieures à 25 ohm/mètre.

Mais la maîtrise du niveau de la nappe est particulièrement complexe quand cette nappe peut voir son niveau se modifier à la fois à son sommet, comme c'est le cas habituellement, mais également à sa base, parce qu'elle repose sur une nappe de qualité différente. L'équilibre interne des différentes nappes devient plus délicat à assurer et peut avoir des conséquences très importantes.

Les prélèvements maximaux admissibles sont de 170 m³/j. environ.

D'autre part, les grands travaux, en particulier dans la région de Dunkerque, nécessitent d'aller remanier le terrain à des profondeurs importantes (fondations, bassins portuaires, exploitations de sable, etc...)

On a donc parfois crevé l'interface eau douce - eau salée, située à proximité de la surface.

C'est le cas de notre lac :

A cet endroit, l'interface eau douce-eau salée était approximativement à 3 m sous la cote maxi d'exploitation située à - 10 m N.G.F. La marge de sécurité étant insuffisante, on a observé un mélange des nappes, en raison notamment de l'effet d'aspiration de la drague suceuse.

L'existence d'une nappe phréatique salée, à environ 3-4000 mg/l de Chlorures (Cl⁻), sous-jacente à la nappe d'eau douce, les inondations anciennes, les pompages importants voire la proximité de la mer constituent, pour les canaux, lacs et watergangs de la région dunkerquoise, des inducteurs de salinité dans les eaux de surface et ceci en dehors de toute relation directe avec le milieu marin.

La répartition de cette salinité varie selon les lieux et les relations avec la nappe salée. Ainsi, la salinité des puits (eau de la nappe supérieure) varie entre 100 et 300 mg/l de Cl⁻, alors que la nappe profonde est à 3500 mg/l en moyenne.

Les watergangs ont des teneurs en Cl⁻ comprises entre quelques centaines de mg/l et 5000 mg/l, alors même que la nappe, sur laquelle ils reposent, est très peu chargée. Ainsi, a-t-on pu trouver des taux de 800 mg/l de Cl⁻ dans les canaux et seulement 300 mg/l dans le lac d'Armbouts-Cappel (POINSOT, 1978).

La salinité de ces eaux fluctue à l'échelle de la journée ($\pm 10\%$) sans relation apparente avec le débit, et à l'échelle du mois. Il existe même des « marées phréatiques ». On peut la répartir en deux groupes : eaux de nappe douce, hypohalines monotypiques, comprises entre 100 et 300 mg/l de Cl⁻ et eaux superficielles, oligohalines ditypiques, jusque 5000 mg/l (le flux de sel étant en relation avec l'abaissement du niveau de drainage). (PARSY et MAETZ, 1970).

Il semble d'ores et déjà certain que des risques de pollutions de la nappe douce sont possibles par les eaux de surface, l'écoulement de ces dernières vers l'aquifère pouvant se produire soit sous l'effet d'un captage, soit naturellement par une montée rapide du niveau libre en période de crue.

31-4 - Hydrologie

Pour une région aussi plate, ayant des problèmes au niveau de son sous-sol, la réussite et le maintien d'un système hydraulique est vital.

En effet, il n'existe naturellement aucun cours d'eau hormis le fleuve Aa et la rivière Colme. Cependant, celles-ci sont canalisées et s'intègrent à un schéma hydrographique artificiel particulièrement dense et complexe : Les Wateringues (ou encore Waeteringues), composées de canaux watergangs et grachts dont l'extension linéaire est de plus de 1 000 kilomètres. Le lac

et son réseau appartiennent à la 2ème Section Nord des wateringues.

Les fonctions de ce réseau sont diverses :

a) réalisation du drainage en période de crue ou pluvieuse pour éviter l'engorgement des terres et l'asphyxie des cultures.

b) irrigation en période de sécheresse, pour les raisons inverses (besoins en eau de l'agriculture).

Notons que le Yoorendyck n'est pas utilisé en irrigation dans ce secteur et qu'il n'y a pas de communication franche entre le canal de Bourbourg et cette zone périphérique du lac.

c) maintien d'une couche d'eau douce pour éviter que la frange saumâtre n'affleure et provoque, par sa salure, une perte considérable en plantes et animaux domestiques.

C'est pas son poids et grâce à la différence de densité que l'eau douce peut flotter et maintenir l'eau salée en profondeur.

d) apport, relativement récent, de l'eau industrielle et base des transports fluviaux.

e) drainage des eaux usées pour l'assainissement de l'arrière-pays.

L'ensemble hydrologique des wateringues du Nord apparait ainsi comme un vaste delta alimenté par le fleuve Aa et les eaux d'impluvium, produisant dans une plaine sédimentaire une hydrogéologie complexe, et venant, par gravité ou pompage, en bord de mer à une altitude comprise entre les niveaux des basses et hautes mers (contenues par un relief dunier littoral), pour être rejetées après stockage selon une discontinuité liée à la fréquence des basses eaux. (C.E.R.A.F.E.R., 1972).

Les débits moyens pour l'ensemble du Delta atteignent 9 millions de m³/j.

31-5 - Pédologie

Nous ne ferons qu'effleurer cette donnée, éminemment variable de lieu en lieu, et au sein même d'une parcelle, en raison des dépressions locales, du niveau de l'aquifère etc... Les principales terres rencontrées sont silico-argileuses, silico-calcaires, mixtes, argileuses ou siliceuses pures, la variation de ces facteurs édaphiques déterminent des modes cultureux privilégiés, liés aux conditions climatiques ambiantes. (DELAINE, 1969).

Trois types de terrains agricoles dominant :

1) Terrains sableux (argileux et/ou calcaires) :

Riches en éléments minéraux (Ca, Mg, K) ils sont pauvres en matières organiques (2%) et en acide phosphorique.

La région d'Armbouts-Cappel est plus calcaire (15% environ)

La présence d'anciennes dunes augmente les taux de silice et réduit les capacités agricoles du sol.

2) Terrains limoneux et argileux :

Naturellement riches (5% M.O.) les rapports minéraux sont équilibrés en dehors des cas où le substratum modifie les taux de certains éléments (Mg des limons sur argiles, Calcaire des Moères). Ce sont des terres lourdes, avec parfois 30% d'argiles colloïdales.

3) Tourbe :

Acide et très riche (70% M.O.), elle est oligotrophe pour un certain nombre d'éléments autre que les sels sodicomagnésiens.

D'importants apports d'acide phosphorique (P₂O₅) ont été effectués depuis des années sur les terres calcaires où il évolue en phosphates bi - tri voire tétracalcique.

31-6 - Climatologie (GARNIER, 1963-1974).

Caractérisé par la dominance du type océanique (ou plus précisément de façade maritime Ouest), le climat y est rude, sans être rigoureux, sous l'influence de la mer toute proche. (DARCHEN, 1967).

1 - Température :

Fraîche (10,4°C en moyenne) elle ne présente que de faibles écarts thermiques annuels (4,1 °C en Janvier, 17,3 °C en Aout) de rares gels (38 jours dont 7 sans dégel) et peu de neige (11 j/an). Le maximum absolu pour Août étant de 34°6 en 1975 (moyenne : 21°) le minimum de -13°4 en Janvier 1966 (moyenne : 1,5°)

2 - Ensoleillement :

Il offre près de 2.000 heures annuelles, mais le soleil est souvent voilé, le ciel gris et brumeux.

3 - Pluviométrie :

Si la région Nord passe à tort pour pluvieuse, les pluies y sont surtout régulières et peu violentes (637 mm en 164 jours pour 1958-1975 selon OMN locale). La nébulosité au sol est satisfaisante (37 jours de brouillard). La pluviosité est essentiellement répartie en 165 j. pour la période 1951-1960 ;

Selon GARNIER (a) on note une augmentation sensible du nombre de jours de pluie depuis 1970 : moyenne 1970-1979 : 171 mm, malgré la «sécheresse» de 1976 (153 mm). en automne et en hiver. Son régime est du type A.H.E.P. mais, en fait, la pluviosité varie peu sur l'année 13,7 jours/mois ± 3

L'air contient continuellement de 80 à 100% d'humidité relative et il est aussi chargé en sel. (Parfois >10 mg. Cl/l. (DUSSART, 1966).

Afin d'apprécier le climat local par rapport aux loisirs, on calcule l'indice estival de Burnet qui est

$$i = \frac{\sum_{j=1}^8 N_j}{T_m} \cdot 4 \quad \text{où } N \text{ est le nombre de jours de pluie et } T_m \text{ la température moyenne sur Juin, Juillet et Août.}$$

On a ainsi les seuils d'attraction touristique du climat selon la valeur de i :

Attraction forte :	$i < 4$	climat très favorable
Attraction moyenne :	$4 < i < 7$	} climat favorable
Attraction indifférente :	$7 < i < 10$	
Attraction négative :	$10 < i$	climat défavorable

(Source : B.E.R.U., 1970, Etude économique des plans d'eau.

Rapport de Synthèse

Min. AGRI. Secrét. Etat Jeunesse-Sports-Loisirs).

Les données de Météorologie Nationale pour ces trois mois sur plus de 25 ans nous conduisent à $i = 7,76$ ($i = 8,70$ sur la période 1931-1960) c'est-à-dire un climat favorable comparable à la majeure partie de la France, et qui contredit une certaine réputation du littoral.

On peut le rapprocher de celui de Nice, sur la même période : $i \approx 2,04$. Les indices annuels sont respectivement de 15,86 et 5,73.

4 - Régime des vents : (Fig.4)

On peut remarquer un axe privilégié en fréquence des vents : Nord-Est/Sud Ouest correspondant aux vents violents et tempêtes atteignant quelquefois plus de 100 km/h. Le vent est un élément quasi constant de l'environnement dunkerquois, accentué par le manque d'obstacles naturels (40% des vents sont supérieurs à 7 m/s). L'état de la mer s'en ressent :

(a) GARNIER M. - 1963

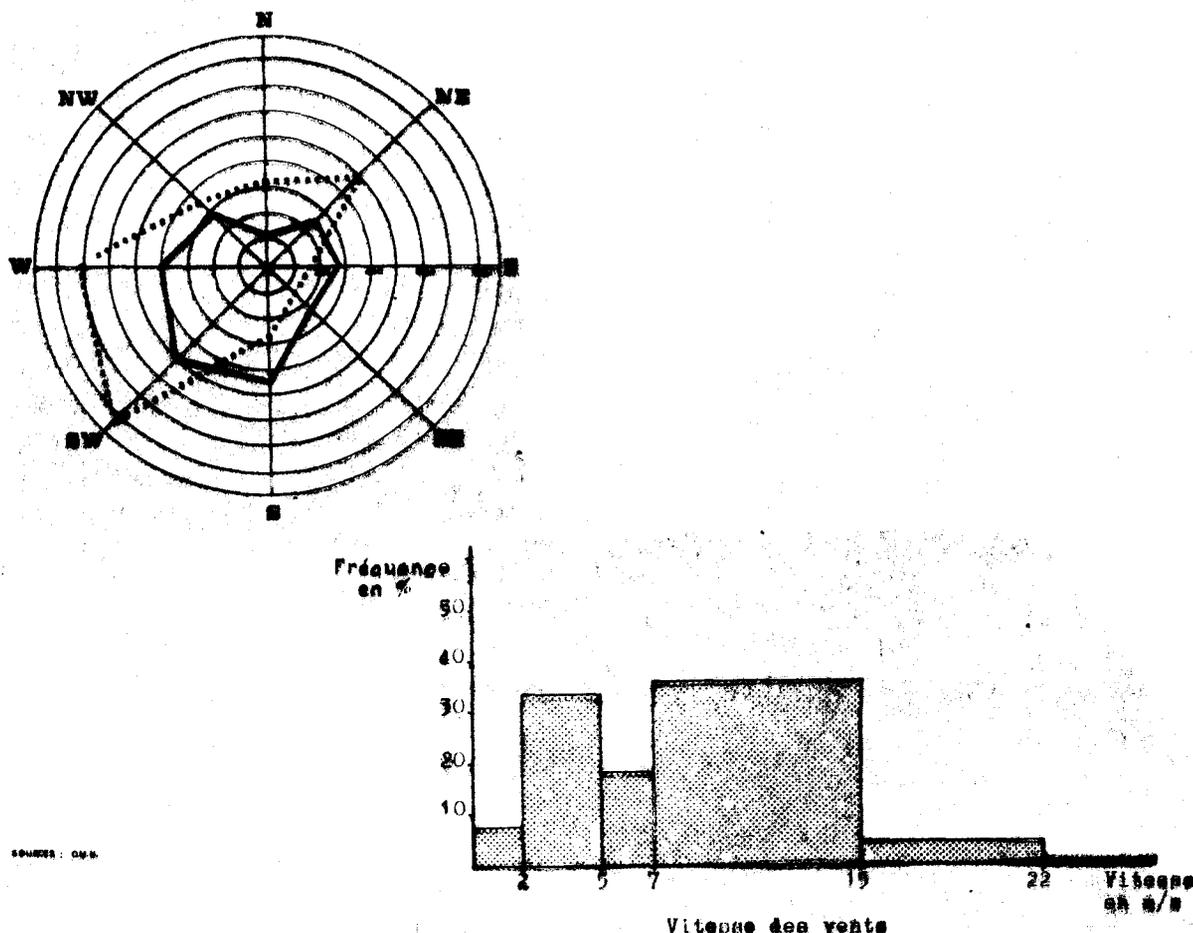
Nombre moyen de jours de précipitations en France
Météo. Nat. Monogr. n° 29, 1963, 41 p.

GARNIER M. - 1974

Valeurs moyennes des hauteurs de précipitations en France - Période 1951-1970
Météo. Nat. Monogr. n° 91, 1974, 117 p.

17% des observations concernent des mers fortes à très grosses (creux 2,5m) (DARCHEN, 1967).

FIG.N° 4 - ROSE DES VENTS A DUNKERQUE -



5 - Evapotranspiration (E.T.)

Évaluée à Dunkerque, selon la formule de Turc pour l'E.T. potentielle, et comparée à la pluviosité, on constate un fort déficit estival (jusqu'à 50 mm d'eau) malgré un bilan faiblement excédentaire tempéré par la faible capacité de rétention des terrains. On comprend dès lors une partie des fonctions des waterings.

La pluie efficace a une valeur moyenne annuelle de 185 mm (BONNET, 1968).

Les précipitations atmosphériques étant souvent supérieures à l'évaporation, le phénomène de lixiviation se poursuit donc sensiblement toute l'année, sauf pendant les mois de mai, juin, juillet et août, où l'évapotranspiration potentielle est supérieure aux précipitations. Pendant les autres mois de l'année, les précipitations entraînent la migration du Na Cl et des substances solubles dans un mouvement descendant vers les couches profondes. (DELAINE, 1969).

32 - Turn-Over (water fill-in-time)

Le «Turn-Over» ou taux de renouvellement des eaux d'un lac est conditionné par le double jeu des précipitations et affluents d'une part, et d'évaporation et d'écoulement d'autre part.

En raison de la nature même de la nappe phréatique et de sa régulation par les waterings, le niveau du lac oscille faiblement (± 15 cm environ).

La côte maximale est d'ailleurs «contrôlée» par un déversoir de trop plein qui relie le lac au Yoorendyck. Il ne fonctionne guère qu'en période hivernale. On peut alors considérer que le bilan hydrologique est nul ou occasionnellement positif.

Deux apports sont à retenir dans cette étude : l'écoulement hypodermique de la nappe «d'amont» et les précipitations qui sont compensés soit par l'évaporation, soit par le déversement, soit encore par l'écoulement hypodermique dans la nappe en «aval».

En raison du faible coefficient de transmissivité des sols de Flandre Maritime (de l'ordre de 10^{-4} m²/s ou plus précisément $1,7 \cdot 10^{-3}$ m²/s selon BONNET (1968), résultant de coefficients de perméabilité restreints et anisotropiques (k horiz. $\approx 2 \cdot 10^{-4}$ m/s) ; k vert. $\approx 10^{-5}$ m/s ; $r_a = 20$) et d'une porosité des sables très réduite ($n \approx 5 \cdot 10^{-3}$) voire d'un colmatage croissant des berges, on peut considérer, avec le B.R.G.M. (com. orale), que le débit de nappe est négligeable, malgré les effets éventuels de la sablière sur le comportement hydrodynamique de la nappe. (BONNET et coll, 1970 - BEUFFE, 1978 - PEAUDE - CERF, 1975).

Dès lors, ne sont à considérer que les facteurs précipitations - évaporation et écoulement. Faute de connaître le débit réel du déversoir, on est obligé d'estimer le turn-over de façon approximative.

Compte-tenu du rapport $\frac{\text{surface du bassin versant}}{\text{surface du lac}}$ qui est de 1,835, il paraît intéressant de considérer comme très importants les échanges hydriques lac - atmosphère, par précipitations (P) et évaporation (E). Or, si le premier est aisément mesurable, le second dépend de nombreux facteurs : déficit hygrométrique, température de l'air et de l'eau, insolation, vitesse et turbulence du vent, pression atmosphérique et même salinité de l'eau.

En conséquence, la connaissance de E. ne peut guère être obtenue que de façon empirique, par exemple par la formule de Lugeon (in REMENIERAS, 1965).

$$E = 0,398 n (Fe - fa) \frac{(273 + t) 760}{273 (B - Fe)}$$

où E est la hauteur évaporée en n jours (en mm)

Fe : la tension de vapeur saturante, à la température maximale moyenne mensuelle

B : la pression barométrique, etc...

On voit que cette évaluation de E n'est pas évidente, d'autant que le problème se complique avec les surfaces humides libres naturelles (absorption - réflexion, etc...).

Aussi retiendrons-nous les valeurs d'évaporation du lac Yssel aux Pays-Bas, données par REMENIERAS (1965) qui sont de 20 mm/mois en hiver et 100 mm/mois en Juin - Juillet, soit E = 650 mm/an.

Or, nous savons que P (précipitations) est de 637 mm/an. Autrement, le bilan P - E pour une surface donnée est quasiment nul, les apports correspondants approximativement aux pertes. On ne peut, dès lors, prendre en compte ni le flux de nappe, ni les précipitations directes. Il ne reste que l'apport du reste du bassin versant qui est en partie imperméable et en partie végétalisée.

Dans ce cas, la formule de Turc nous donne une valeur moyenne de 185 mm de pluie efficace par an (Valeur comprise entre 88 et 285 mm/an - cf. BONNET, 1968). soit, pour les 12,5 ha de la «partie terrestre» du bassin versant, un volume annuel Q d'environ $23,15 \cdot 10^3$ m³.

$$\text{On en déduit } t = \frac{V}{Q} = \frac{10^6 \text{ (m}^3\text{)}}{23,15 \cdot 10^3 \text{ (m}^3\text{.an)}} - 1 = 43,5 \text{ ans}$$

Si l'on préfère, le taux de renouvellement annuel du lac est de $1/43,5 \approx 2,3\%$.

Autrement dit, il faut environ une quarantaine d'années pour que les eaux du lac soient entièrement renouvelées. Ce taux de turn-over est très élevé (par comparaison, celui du lac Léman est de 11 ans) et signifie que l'évolution qualitative des eaux est exclusivement liée aux mécanismes internes, qu'ils soient de nature physico-chimiques, bio-chimiques ou anthropogènes.

L'apport annuel d'eau de dilution est insuffisante en quantité, ainsi qu'en qualité d'ailleurs.

33 - Sitologie -

La plaine maritime est une région de polders dont l'originalité topographique réside dans son extrême planitude, voire même sa subhorizontalité. Elle constitue, en outre, un ensemble dénudé, en grande partie dépourvu de toute végétation arbustive, d'où son nom de «*Blootland*» (en flamand «*Bloot*» nu, et «*Land*» terre). Le réseau dense de watergangs qui sillonnent la plaine constitue le troisième élément dominant du paysage.

Cette région basse (altitudes < 3m dans l'ensemble) et plane, comporte cependant un micro-relief caractéristique, bien que peu apparent (dénivellations de l'ordre du mètre), et dont le développement est lié aux différents épisodes de la formation de la plaine.

Ces polders sont limités au Nord par un cordon de dunes récentes atteignant 8-10 m, à la topographie assez confuse, tandis qu'au Sud la Flandre intérieure, dont le contact avec la Flandre Maritime apparaît assez nettement dans la topographie, en limite avec l'extension (COQUE-DELHUILLE, 1972 - SOMME, 1969).

Mais l'on ne saurait limiter la notion du paysage à des mensurations géomorphologiques, surtout si l'intérêt se concentre au lac et à ses abords, c'est-à-dire au micropaysage que constitue actuellement le site : le concept de paysage est indissociable de celui d'espace : le paysage est la traduction spatiale de l'écosystème et de l'environnement. Etudier le paysage, c'est étudier l'organisation de l'espace (RICHARD, 1975).

Ici se condense en fait sur quelques arpents toute l'évolution paysagère de la Flandre depuis 30 ans. On conçoit alors d'autant mieux que ce secteur du lac, à ARMBOUTS-CAPPEL, constitue une charnière paysagère. On y trouve les frontières du développement urbain et économique : limites ville-campagne vers l'Est, industrie-campagne au Nord, rural «mité» - rural traditionnel au Sud, terre-eau à l'Ouest. Ces limites sont renforcées par les infrastructures linéaires (canaux, routes, lignes électriques).

Il ne paraît donc pas excessif de voir dans cette mosaïque la manifestation physique des multiples écotones qui apparaissent de part l'expansion de DUNKERQUE au sein de la campagne flamande.

Il n'est pas jusqu'au lac lui-même qui ne doive son existence à cette expansion.

Le paysage doit donc être considéré comme le reflet de l'activité de l'homme et du milieu. Il est le reflet de la liaison entre les activités économiques, les valeurs culturelles, les rapports sociaux, le support physique et le milieu naturel qui se transforment. Le paysage n'est pas figé ou statique, il est en perpétuelle évolution.

La relative densité du «*mobilier*» au sens de DOLVECK (1974) rend cette zone assez résistante à des modifications dans l'aire de perception à condition que les nouveaux meubles s'intègrent ou corrigent leur secteur sur les aspects de la texture et des appels.

«*Le paysage n'est plus une somme d'éléments, mais une structure, une organisation vivante où l'homme joue un très grand rôle.* (BASSIN-CARLIER, 1977).

IV - PHASE ANALYTIQUE -

4-1 - Données physico-chimiques

41-1 - Analyses de l'eau :

411-1 - Résultats :

Depuis sa création, le lac a fait l'objet de mesures hydrologiques éparées et ponctuelles. Les données les plus anciennes dont nous disposons datent de 1968 (Juin) et émanent du Conseil Supérieur de la Pêche (1ère région piscicole) : le lac était alors en cours d'exploitation. En 1971, le service des Voies Navigables mesure la salinité du lac. Elle est alors de 740 mg/l de Na Cl, en moyenne.

Il faut ensuite attendre 1974 (Juillet) pour que le S.R.A.E. Nord - Pas-de-Calais intervienne sur ce plan d'eau à la demande des Associations de Pêche lors d'un fort développement d'algues et une mortalité de poissons. (VERDEVOYE, 1974).

En 1977, la 1ère région piscicole effectue deux tournées sur le site (Mai et Septembre).

Enfin, en 1978, à la demande de l'AGUR, le S.R.A.E. réalise un cycle complet d'analyse des eaux du lac, (P. VERDEVOYE, 1979), qu'il prolonge par un suivi de routine en 1979.

Il est donc possible d'examiner si une évolution peut être constatée en ce qui concerne la qualité des eaux sur dix ans (cf. Tableau fig.5).

FIG. n° 5 - EVOLUTION DE QUELQUES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES SUR 10 ANS

Date	Juin 1968	Juillet 1974	Octobre 1974	Mai 1977	Septembre 1977	Juin 1978	Juillet 1979
Température (°C)	18	18,5	16,5	17	17,5	15,5	18,5
p.H.	7,9	8,7	8,2	8,85	8,3	8,10	8,1
Conductivité (μ mhos/cm ³)	1175	1200	1200	975	1050	1150	1100
Oxygène dissous (mg/l)	9,25	4,5	9	8,8	11	8,8	8,5
% saturation	100	126	94	93	112	90	93
D.B.O. 5 (mg/l)	-	8,4	2,0	-	-	1,7	2,6
NO ₃ ⁻ (mg/l)	-	0	0	2,2	1,3	1,3	0,1
NO ₂ ⁻	0	0	traces	0,06	traces	0	traces
NH ₄ ⁺	traces	0,26	0,14	0,10	0,15	0,26	0
Cl ⁻	194	348	356	235	254	294	255
SO ₄ ⁻	traces	140	150	-	-	110	125
Ca ⁺⁺	106	57	62	72	62	68	66
Mg ⁺⁺	25	26	26	-	-	28	26
PO ₄ ⁻⁻⁻	--	0,06	0,02	0,4	0,8	0,05	0,03
Alcalinité	95	120	130	-	-	150	134

Outre la très forte conductivité, qui est générale pour les eaux du delta de l'Aa, l'évolution la plus notable concerne l'apparition de sulfates entre 1968 et 1974 en liaison avec NH_4^+ et l'apparition de nitrates entre 1974 et 1977. Les autres valeurs sont particulièrement stables, si l'on considère que les phosphates de 1977 ont mis un an à résorber leurs valeurs excédentaires.

Cette grande stabilité des eaux depuis l'origine du lac doit être rattachée à la nature de l'alimentation -complexe- du plan d'eau.

Quel est le comportement des eaux sur un cycle annuel ?

L'étude du S.R.A.E., précise le fonctionnement du lac et ses variations dans le temps et l'espace.

Quatre campagnes ont été effectuées aux différentes saisons (hiver, printemps, début et fin d'été). (Annexes 1 à 4 et 4 bis).

L'examen des tableaux d'analyses physico-chimiques de cette étude permet de faire les interprétations suivantes :

1) Température de l'eau :

Variant de 4,5 à 16,4°C sur l'année, la température ne présente que des écarts de quelques dixièmes entre les prélèvements horizontaux et verticaux. En conséquence, ce lac ne possède pas de stratification thermique.

2) pH :

L'eau présente une nette tendance à la basicité (de 7,6 à 8,6 unités) résultant d'une importante activité photo-synthétique des végétaux aquatiques et donc d'une bonne productivité planctonique, capable d'influencer fortement la transparence des eaux (de 0,9 à 2,0 m seulement, contre 4 m à Nantua).

3) Conductivité

Elle est très forte ($> 1000 \mu\text{S}$) et essentiellement dépendante d'une teneur élevée en chlorures (cf. infra).

4) Oxygène dissous :

La teneur en oxygène est toujours satisfaisante avec des pourcentages de saturation généralement supérieurs à 90% et souvent en sursaturation.

5) Sels dissous :

CHLORURES :

L'existence d'une nappe phréatique salée, à environ 3 - 4 g/l de Chlorures (Cl^-), sous-jacente à la nappe d'eau douce, constitue une source de salinité dans les eaux de surfaces de la région et ceci en dehors de toute relation directe avec le milieu marin (cf.31-3).

Entre quels seuils de salinité, supérieur et inférieur, une eau mérite le nom d'eau saumâtre ?

D'après AGUESSE (in DUSSART, 1966), ces coupures doivent être faites aux salinités suivantes : 0,5, 5, 16 et 40 g/l, en ce qui concerne les eaux n'ayant pas de communication régulière avec la mer. On appellera dans ce cas :

eaux oligohalines celles qui ont de 0,5 à 5 g/l de sels ;
 eaux mésohalines celles qui ont de 5 à 16 g/l de sels ;
 eaux polyhalines celles qui ont de 16 à 40 g/l de sels ;

Les eaux ayant plus de sels que la mer seront des eaux métagalines.

Or, les eaux du lac ne dépassent jamais 0,4‰. Il s'agit d'eaux très oligohalines, par ailleurs monotypiques (ou oligopoikilohalines selon AGUESSE).

Elles ne sont plus douces (supérieures au seuil des 0,05‰) (TUFFERY, 1976) mais pas franchement saumâtres. On pourrait pratiquement les qualifier d'hypo-halines. Les chlorures sont des facteurs importants du biotope mais ne sont pas -à ce niveau- limitants. (PETIT et SCHACHTER, 1950).

Si l'on calcule l'indice de salinité, selon la grille de qualité générale des cours d'eau ci-jointe, nous obtenons l'indice S_3

PARAMETRE	INDICE DE SALINITE				
	SO	S1	S2	S3	S4
CONDUCTIVITE micro S/cm 20°C)	< 400	400 à 750	50 à 1500	1500 à 3000	> 3000
DURETE TOTALE (degrés français)	< 15	15 à 30	30 à 50	50 à 100	> 100
Cl ⁻ (mg/l)	< 100	100 à 200	200 à 400	400 à 1000	> 1000
Capacité d'absorption du sodium (1)	< 2	2 à 4	4 à 8	> 8	

$$(1) \text{ C.A.S. } \frac{(\text{Na}) \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{(\text{Ca} + \text{Mg})}}$$

Alors que les premiers paramètres nous donnent S_2 , la capacité d'absorption du sodium conduit à une valeur 23,3, supérieure au seuil de 8. Mais nous sommes encore dans des conditions acceptables pour les loisirs et la vie piscicole.

C'est donc plutôt vers la mesure et le contrôle de facteurs réellement nocifs que l'attention doit se tourner lorsque, dans le même temps, la salinité des eaux intérieures demeurent dans la gamme de l'hyposalinité ou de la dulçaquicolité ($< 0,5\text{‰}$ de Cl⁻) KIENER, 1978).

SODIUM et POTASSIUM :

Les teneurs en sodium sont élevées. Elles sont en rapport avec les teneurs en chlorures et elles peuvent présenter des risques de perturbation de l'écosystème aquatique. Même remarque pour le potassium dont les teneurs sont supérieures à celles rencontrées dans certains lacs européens eutrophes.

Le potassium stimule la croissance planctonique.

MATIERES AZOTEES :

. Les teneurs en nitrates sont faibles (comprises entre 1,1 mg/l et 1,5 mg/l).

. Les nitrites ne sont décelables qu'en mars et en avril avec des teneurs basses.

. L'azote ammoniacal est présent à des teneurs de quelques dixièmes de mg/l, caractérisant une pollution insidieuse sensible.

Ces trois formes de l'azote participent à la nutrition des végétaux.

SULFATES :

Composés naturels des eaux, les sulfates sont associés aux cations majeurs. En l'absence de pollution, ils proviennent essentiellement de la dissolution du gypse. Dans le lac, les teneurs élevées (90 à 110 mg/l) résultent vraisemblablement de la présence de gypse dans l'argile des Flandres.

PHOSPHATES :

Les phosphates peuvent provenir naturellement de la décomposition de la matière organique ou par action de l'homme : engrais, détergents...

Les teneurs mesurées dans les eaux du lac sont faibles et pratiquement constantes. Les phosphates jouent un rôle très important en tant qu'élément nutritif pour le plancton.

6) Matières organiques :

La détermination des matières organiques présentes dans l'eau s'effectue à partir des mesures de l'oxydabilité, de la DBO₅ et de la D.C.O. Au cours des tournées, des variations sensibles apparaissent.

En mars et en septembre, l'eau est de qualité moyenne avec un taux de matières organiques

notable. En avril et en juin, les teneurs sont moins élevées. En mars et en avril, les valeurs maximales sont relevées au fond du lac alors qu'en septembre, l'inverse est observé.

411-2 - Interprétation :

L'étude du lac d'Armbouts-Cappel fait apparaître plusieurs points importants. L'ensemble des résultats des analyses physico-chimiques ne présente, au cours d'une même tournée, que des variations dans l'espace faibles ($\pm 10\%$) voire nulles pour quelques paramètres.

Le lac présente une certaine homogénéité due à sa faible profondeur et à son exposition quasi-permanente aux vents qui engendrent des courants mélangeant les eaux. Il n'était donc pas stratifié, ni en 1978, ni en 1979. Il est orthograde par tachymétrie.

La qualité physico-chimique de l'eau est moyenne. Elle varie peu dans le temps sauf en ce qui concerne les matières organiques.

On peut ainsi dresser un « portrait-robot » de la nature qualitative des eaux et ceci sur 10 ans d'analyses ponctuelles du lac :

Le pH moyen du lac est de 8,4 (classe 6), donc basique (d'après la classification des paramètres physico-chimiques de NISBET et VERNEAUX, 1970) caractéristique des eaux closes à alcalinité moyenne. Celle-ci appartient à la classe (4) des eaux très productives ($m = 125$).

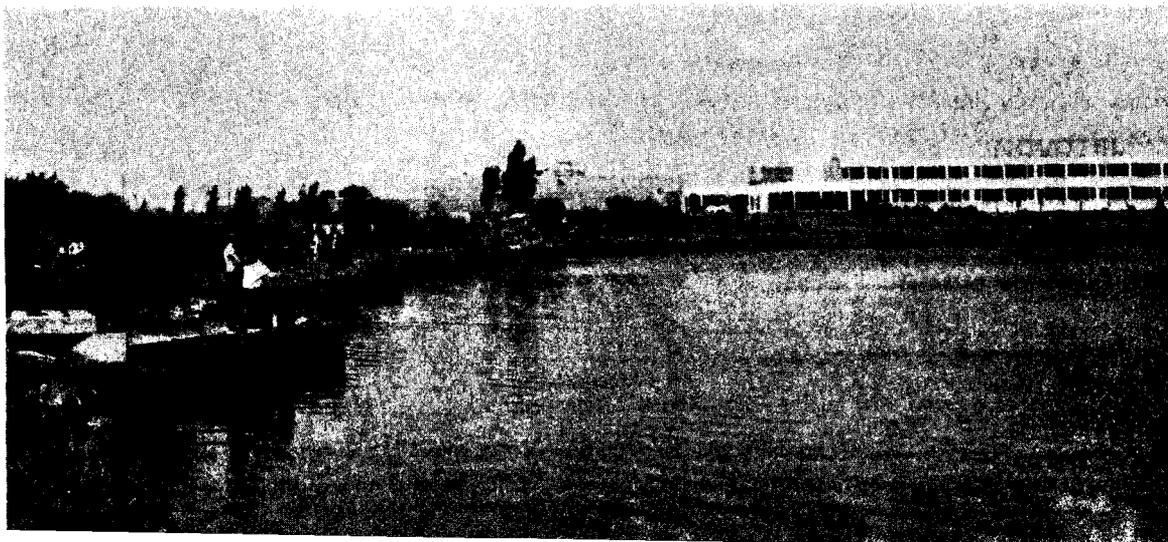
Par contre, la conductivité γ est très forte (classe 8). Elle doit être mise en rapport avec les teneurs locales en chlorures très particulières à la région car liées à la nappe salée sous-jacente.

La salinité, relativement forte à la fin du creusement s'est stabilisée maintenant entre 400 et 450 mg/l de NaCl, ce que en fait un lac oligohalin monotypique.

Les teneurs en matières organiques sont plutôt faibles pour des eaux closes. La D.B.O.₅ est acceptable, de même que les nitrates. La présence de l'azote ammoniacal est plus inquiétante quant aux capacités épuratrices du système. La charge en sulfate est peu propice à la vie piscicole. Les phosphates sont en classe 2 ou 3, c'est-à-dire correspondant à une productivité moyenne à l'exception des périodes de fortes pollutions (classe 6 en 1974).

En définitive, les eaux du lac correspondent à une productivité biologique moyenne, susceptible d'être gênée par les chlorures, les sulfates et l'azote ammoniacal. Ce dernier traduit par ailleurs une fragilité du milieu (cf. la pollution de 1974) malgré les teneurs satisfaisantes en oxygène dissous.

411-3 - Annexes :



 RESULTATS DES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

Date : 01.03.1978
 Météo : couvert
 Couleur des eaux : brune
 Transparence : 1,30 m

Stations	1	2	3	4	5	6	7
Heure	10h45	10h55	11h15	11h20	12h00	12h10	12h30
Température air	7,6	7,6	7,8	7,8	7,9	7,9	7,9
T° eau	prélèvement	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
	mesure	6,0	6,1	6,0	6,0	6,4	6,5
pH	8,4	8,5	8,5	8,5	8,5	8,6	8,6
Conductivité umhos/cm	1250	1320	1240	1290	1290	1350	1340
O ₂ dissous mg/l	13,2	13,2	13,4	13,0	13,5	13,4	13,2
O ₂ % saturation	109	109	111	107	113	111	111
Oxydabilité mg/l	2,6	2,5	2,1	2,2	2,1	2,1	1,8
M.E.S. mg/l	8,2	9,2	10,4	8,2	9,6	9,6	9,8
D.C.O. mg/l	34	30	30	30	30	30	30
DBO ₅ mg/l	4,6	4,6	5,4	4,4	5,3	4,9	3,8
Alcalinité mg/l	18	18	12	18	18	18	18
	170	165	150	165	165	165	165
Cl ⁻ mg/l	290	300	290	300	295	290	290
Ca ⁺⁺ mg/l	72	72	72	75	70	71	70
Mg ⁺⁺ mg/l	20	21	20	18	21	20	20

Stations	1	2	3	4	5	6	7
Na ⁺ mg/l	153	153	156	153	156	156	153
K ⁺ mg/l	7	7	7	7	6,6	7	7
NO ₃ ⁻ mg/l	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
NO ₂ ⁻ mg/l	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
NH ₄ ⁺ mg/l	0,26	0,26	0,26	0,26	0,40	0,40	0,40
SO ₄ ⁻⁻ mg/l	100	100	90	100	90	100	100
PO ₄ ⁻⁻⁻⁻ mg/l	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05



BUS
LILLE

RESULTATS DES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

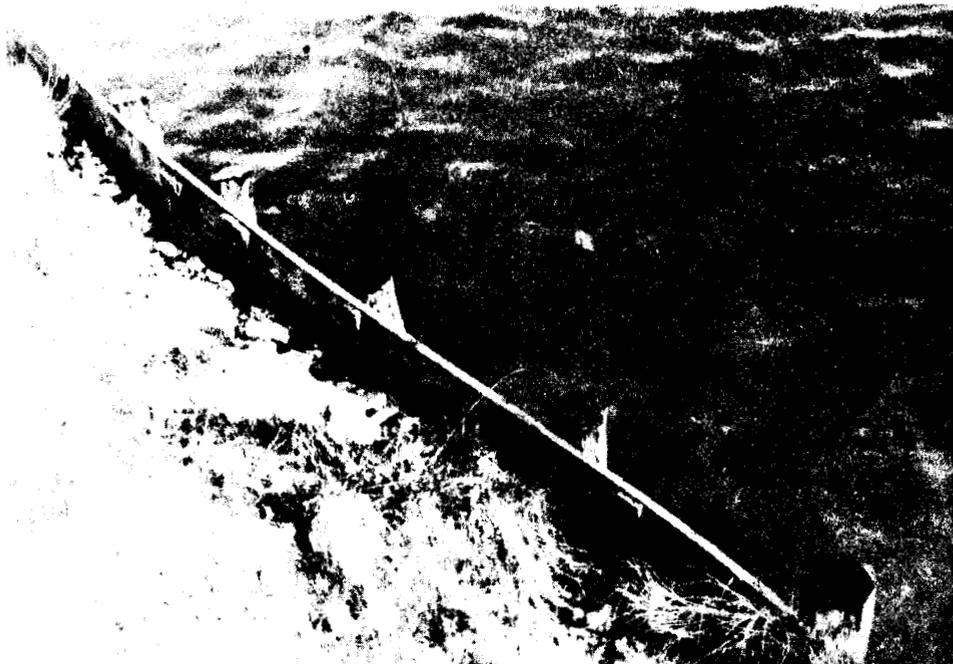
Date : 26.04.1978
 Météo : couvert
 Couleur des eaux : verte
 Transparence : 2,00 m

Stations	1	2	3	4	5	6	7	
Heure	11h00	11h10	11h30	11h40	12h00	12h10	12h30	
Température air	7,5	7,5	8,5	8,5	8,6	8,6	8,6	
T° eau	prélèvement	8,9	9,0	9,0	8,9	8,9	9,0	9,1
	mesure	9,0	9,0	9,4	9,3	9,3	9,3	9,5
pH	7,8	7,8	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	
Conductivité umhos/cm	1180	1240	1210	1280	1270	1340	1310	
O ₂ dissous mg/l	10,4	10,5	11,3	10,5	11,7	10,5	10,4	
O ₂ % saturation	93	94	102	94	105	94	94	
Oxydabilité mg/l	1,9	1,7	1,7	1,7	1,6	1,7	1,7	
M.E.S. mg/l	5	4,4	7,4	6,2	4,4	6,2	8,4	
D.C.O. mg/l	23	23	21	21	21	21	23	
DBO ₅ mg/l	1,7	1,7	2,4	2,0	2,4	1,9	1,7	
Alcalinité mg/l	175	165	175	175	180	180	180	
Cl ⁻ mg/l	300	300	300	300	300	300	300	
Ca ⁺⁺ mg/l	75	75	74	72	74	74	73	
Mg ⁺⁺ mg/l	23	23	23	21	22	20	20	

BUC
LILLE

.../...

Stations	1	2	3	4	5	6	7
Na ⁺ mg/l	156	156	163	156	163	163	162
K ⁺ mg/l	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4
NO ₃ ⁻ mg/l	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
NO ₂ ⁻ mg/l	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
NH ₄ ⁺ mg/l	0,40	0,32	0,40	0,40	0,40	0,32	0,40
SO ₄ ⁻⁻ mg/l	110	110	110	110	110	110	110
PO ₄ ⁻⁻⁻ mg/l	0,1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05



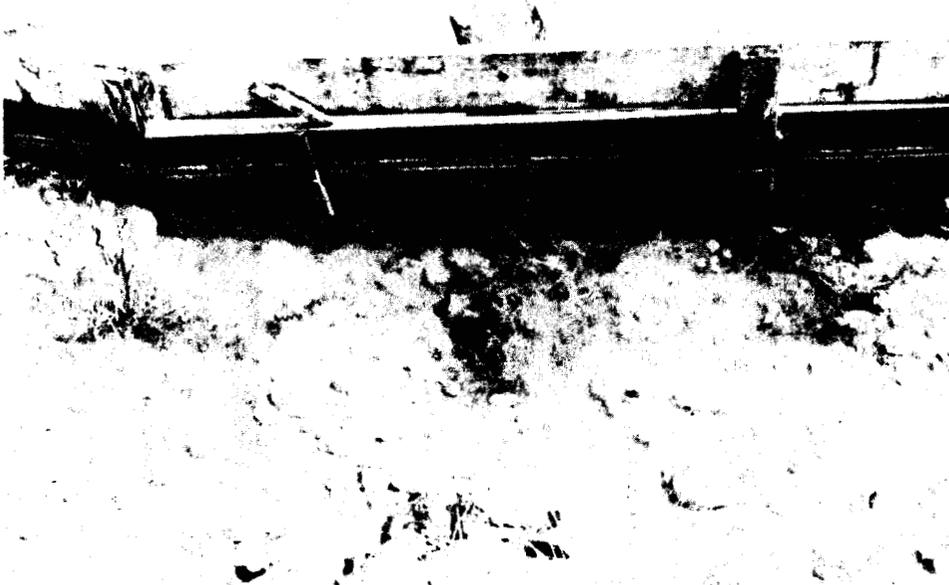
 RESULTATS DES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

Date : 28.06.1978
 Météo : pluvieux
 Couleur des eaux : verte
 Transparence : 1,30 m

Stations	1	2	3	4	5	6	7
Heure	11h10	11h15	12h00	12h05	12h35	12h40	13h00
Température air	12,8	12,8	13,8	13,8	14,1	13,9	13,9
T° eau	prélèvement	15,5	15,6	15,5	15,5	15,5	15,4
	mesure	15,1	15,4	15,1	15,2	15,0	15,0
pH	8,05	8,15	8,10	8,15	8,10	8,20	8,25
Conductivité umhos/cm	1000	1150	1150	1150	1150	1150	1100
O ₂ dissous mg/l	8,9	9,4	8,8	9,0	8,7	9,3	9,2
O ₂ % saturation	91	97	90	92	89	95	94
Oxydabilité mg/l	1,8	1,8	1,7	1,8	1,7	1,8	1,6
M.E.S. mg/l	9	7,2	9,4	8,4	13,4	9,8	7,0
D.C.O. mg/l	26,3	26,3	26,3	26,3	22,6	22,6	22,6
DBO ₅ mg/l	1,9	1,9	1,7	1,9	1,9	2,0	1,6
Alcalinité mg/l	150	150	150	150	150	150	150
Cl ⁻ mg/l	294	296	294	294	294	296	295
Ca ⁺⁺ mg/l	68	68	68	67	68	68	69
Mg ⁺⁺ mg/l	22	22	20	26	22	22	20

Annexe 3

Stations		1	2	3	4	5	6	7
Na ⁺	mg/l	157	157	157	157	157	157	157
K ⁺	mg/l	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
NO ₃ ⁻	mg/l	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
NO ₂ ⁻	mg/l	0	0	0	0	0	0	0
NH ₄ ⁺	mg/l	0,40	0,26	0,26	0,26	0,40	0,30	0,26
SO ₄ ⁻⁻	mg/l	110	110	110	110	110	110	110
PO ₄ ⁻⁻⁻	mg/l	0,09	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05



BHS
LILLE

RESULTATS DES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

Date : 06.09.1978
 Météo : pluies
 Couleur des eaux : marron-verte
 Transparence : 0,90 m

Plan d'eau calme
 pas de vent
 aucune ride

Stations	1	2	3	4	5	6	7
Heure	10h50	10h55	11h10	11h15	11h40	11h45	11h55
Température air	14,1	14,1	13,1	13,1	13,2	13,2	13,2
T° eau	16,2	16,4	15,8	16,3	16,2	16,4	16,4
pH	8,1	8,0	7,9	8,3	8,0	8,1	8,2
Conductivité umhos/cm	1150	1200	1100	1150	1100	1100	1100
O ₂ dissous mg/l	9,7	8,9	9,1	10,9	9,5	9,8	10,8
O ₂ % saturation	102	94	95	115	100	103	114
Oxydabilité mg/l	2,7	1,8	2,0	2,5	1,6	1,7	2,4
M.E.S. mg/l	16,2	12,6	9,0	17,6	23,8	13,0	14,2
D.C.O. mg/l	35,6	31,6	27,7	43,5	35,6	33,6	39,5
DBO ₅ mg/l	6,1	2,4	2,8	6,7	3,9	3,6	5,7
Alcalinité mg/l	140	140	140	135	145	140	135
Cl ⁻ mg/l	310	310	306	310	310	310	308
Ca ⁺⁺ mg/l	60	60	62	62	63	64	62
Mg ⁺⁺ mg/l	25,2	27	25,8	22,8	23,4	23,4	25,2

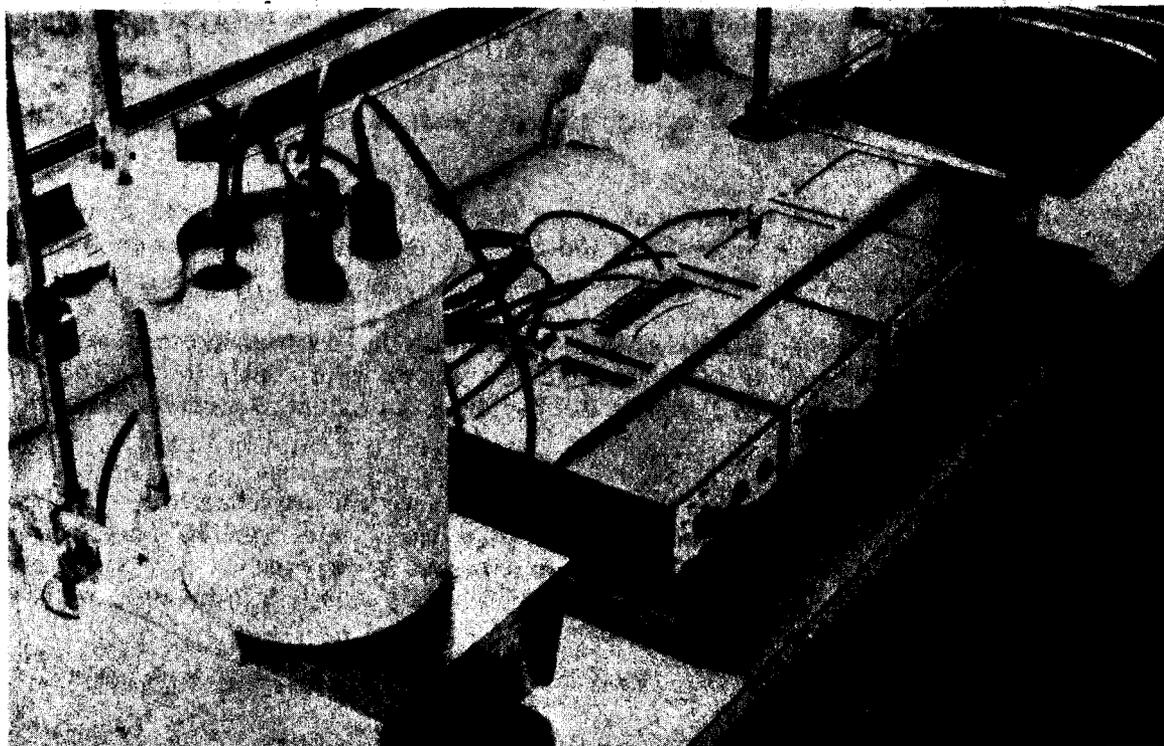
Stations	1	2	3	4	5	6	7
Na ⁺ mg/l	160	160	160	160	160	160	160
K ⁺ mg/l	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
NO ₃ ⁻ mg/l	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
NO ₂ ⁻ mg/l	0	0	0	0	0	0	0
NH ₄ ⁺ mg/l	0,20	0,15	0,20	0,20	0,15	0,20	0,20
SO ₄ ⁻⁻ mg/l	110	110	110	110	110	110	110
PO ₄ ⁻⁻⁻ mg/l	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05



BHS
LILLE

RESULTATS 1979

	22/02	23/04		30/05		1/08	
	S	S	F	S	F	S	F
T° eau	1,1	9,7	9,7	15,5	14,5	18,5	18,5
pH	8,4	8,05	7,95	7,2	7,7	8,1	8,35
Conductivité	1200	1120	1120	1060	1040	1100	1140
0 ²	13,0	10,4	10,4	10,0	9,1	8,5	8,2
% sat.	93	95	95	104	92	93	90
Oxydabilité	1,2	1,2	1,03	1,4	1,8	2,2	2,2
DCO	31,8	28	24	31,2	31,2	26,5	23
MES	6,4	3	4,2	7	10,6	7	7
DBO ₅	3,8	2,2	2,1	1,4	1,4	2,6	2,2
Alcalinité	160	183	189	177	171	134	140
Cl ⁻	245	259	255	255	253	252	255
Ca ⁺⁺	75	80	80	89	85	66	69
Mg ⁺⁺	22	23	24,5	14,8	17	26	21
Na ⁺	160	158	156	155	156	158	158
K ⁺	5,2	6,8	6,2	6,2	6	6,3	6
NO ₃ ⁻	0,53	0,8	0,9	0,4	0,5	0,1	0,1
NO ₂ ⁻	0,03	0,024	0,024	0,024	0,026	0,004	0,004
NH ₄ ⁺	0	0,025	0,01	0	0	0	0
SO ₄ ⁻⁻	110	125	133	133	116	125	133
PO ₄ ⁻⁻⁻⁻	0,01	0,18	0,02	0,01	0,01	0,04	0,03
P. Total	-	-	-	0,033	-	0,183	0,036
Transparence	1,1	2	-	2	-	2,1	-



BUS
LILLE

41-2 - Analyse de la vase :

En reprenant les conclusions de la table ronde «Eau-Sédiments» des journées de l'Association française de limnologie (1974), nous dirions que «la seule étude de l'eau libre est une restriction qui, d'une part, ne permet généralement pas de comprendre l'état et l'évolution physico-chimique de celle-ci et qui, d'autre part, ne fournit qu'une description très incomplète de l'environnement physico-chimique des organismes, notamment celui du benthos» C'est pourquoi une expertise de la vase du lac a été entreprise.

La pellicule superficielle de la vase est la partie du sédiment la plus active ; c'est là que se trouve le plus grand nombre d'algues et de bactéries aérobies et anaérobies ; à ce niveau s'effectue la minéralisation de la matière organique, c'est-à-dire sa transformation en sels nutritifs ou en gaz. (VIVIER et LAURENT, 1967).

Cette vase se développe dans toute la cuvette centrale du lac et atteint 30 à 40 cm (d'après plongée effectuée dans le lac et observations des sapeurs-pompiers du Colonel GAUTIER. (Com. pers.).

Un prélèvement des sédiments de fond a été effectué par l'IRCHA le 24.04.78. L'échantillon analysé a été prélevé à l'aide d'une pompe dont le tuyau d'aspiration était muni d'un lest. Les prélèvements ont été réalisés approximativement au centre du lac dans une des zones où il est le plus profond (≈ 9 m). La durée de prélèvement a été d'environ 1/2 heure. Le bateau utilisé a été maintenu en mouvement de façon à quadriller la zone.

412-1 - Résultats :

L'échantillon recueilli était constitué d'une boue en suspension de couleur noire et d'odeur nauséabonde. Elle a été filtrée sur filtre en fibre de verre (millipore AP 20). Les analyses ont été effectuées d'une part sur l'eau et d'autre part sur les matières en suspension - MeS - Les résultats sont repris dans le tableau ci-après (Fig. 6).

Les analyses de l'IRCHA permettent de boucler la balance ionique à 2% pour les MeS et à 3% pour l'eau.

Le mode de prélèvement utilisé qui dilue le sédiment aspiré dans un grand volume d'eau ne permet guère d'interpréter certains des paramètres déterminés ; ce point est mis en évidence par la faible concentration en matière sèche de 48 g/l.

412-2 - Interprétation :

A partir des conclusions de l'IRCHA (Messieurs GROS et PROUDHON) et du CTGREF (Monsieur VERREL), nous pouvons faire les observations suivantes :

- 1 - Absence d'oxygène dans la vase alors que l'ensemble de l'eau est quasiment à saturation.
- 2 - Absence de phosphore dans l'eau alors que les boues en contiennent en quantité importante.

Bien que le sédiment ait pu être lavé lors du prélèvement, les résultats d'analyse sur les matières solides semblent indiquer des teneurs plutôt faibles en matières organiques, en azote kjeldahl et en phosphore total.

La minéralisation et la réorganisation de l'azote sont étroitement liées et dépendent à la fois des conditions physico-chimiques du milieu (pH, potentiel d'oxydoréduction), et de l'importance de l'activité des bactéries qui jouent, dans cette partie du cycle, le rôle principal.

- 3 - Présence de plomb et de zinc dans les boues en quantité relativement importante. Les teneurs en plomb traduiraient une légère contamination, alors que les teneurs en zinc pourraient être d'origine naturelle. D'une façon générale, le piégeage du cuivre, du zinc, du cadmium, du plomb, du chrome, serait à attribuer à la précipitation des sulfures. (LANSIART et TAVOILLOT, 1976).

FIG. 6 - ANALYSE DE LA VASE DU LAC - 1978 -

	Matières solides en suspension (MeS) : 48 g/l	Eau
02 dissous	-	0% saturation (1)
pH	(8,3)	7,5 (2)
D C O	62 100 mg/kg	38 mg/l
HCO ₃ ⁻	0	152 mg/l
CO ₃ ⁻	171 000 mg/kg	-
NH ₄ ⁺	166 mgN/kg	0,76 mgN/l
NO ₂ ⁻	2,65 mgN/kg	0,05 mgN/l
NO ₃ ⁻	2,18 mgN/kg	0,04 mgN/l
N. Kjeldahl	2.576 mgN/kg	1,68 mgN/l
P. Total	1.547 mgP/kg	0,05 mgP/l
SO ₄ ^{- -}	3.540 mg/kg	104 mg/l
Composés sulfurés réducteurs	78 mgS/kg	0,03 mgS/l
Sulfure libre	1,42 mgS/kg	0,03 mgS/l
Métaux lourds (NFT 90027)	Positif	Négatif
Pb	51,2 mg/kg	0,01 mg/l
Zn	102 mg/kg	0,01 mg/l
Mg	7 500 mg/kg	17 mg/l
Ca	97 500 mg/kg	76 mg/l
Na	1 087 mg/kg	159 mg/l
K	4 250 mg/kg	12 mg/l
Matières volatiles	92 550 mg/kg (9%)	186 mg/l (20%)
Matières minérales	907 450 mg/kg (91%)	722 mg/l (80%)
Matières sèches totales	-	908 mg/l
Cl ⁻	400 mg/kg	263 mg/l
Fe (ferrique)	218 mg/kg	0,05 mg/l

(1) Ensemble de l'échantillon (mesuré sur le terrain)
Eau superficielle : 12⁰ C 96% de la saturation

(2) Eau superficielle pH 8,05



L'origine probable de ces éléments est la voie rapide riveraine. En effet, la circulation autoroutière émet des particules polluantes dans l'air : Pb (antidétonant), Ni, Cd, Zn (huiles contenant des Zn-dithiophosphates, Zn-oxyde et Zn-diéthyl ou diméthylcarbonate des pneus, voire érosion des glissières de sécurité galvanisées). Ces métaux lourds se déposent rapidement ($P < 50$ m) sauf pour les particules de Pb, dont 75% sont des aérosols d'un diamètre inférieur à 5μ . (LABEYRIE, 1978). Ils peuvent être entraînés par le vent et rester analysables jusqu'à 150 m. On a pu estimer à 300 kg/km.an la quantité de Pb déposée par un trafic de 25 000 v./j. (IMPENS et DEROANNE - BAUVIN - 1975).

Il en résulte une pollution chronique des milieux aquatiques soit directement, soit après lessivage (les trois premiers millimètres de pluie suffisent à «nettoyer» la chaussée de ces particules).

Cependant, des mesures réalisées par l'Institut Pasteur à la demande du S.R.A.E. sur les eaux de déversement d'écluse ne font apparaître que des valeurs très faibles en polluants (0,02 mg/l de Pb et 0,03 mg/l de Zn). Notons qu'en eau dure, la concentration dans l'eau du Pb est limitée par l'importance de la précipitation.

Les teneurs observées ne sont pas létales (15 mg/l de Zn pour la perche) et ne sauraient expliquer les mortalités observées. (cf.421)

Il est à noter que des études comparatives faites par le SETRA ont mis en évidence l'accumulation de Zn et Pb dans les sédiments, avec une rotation rapide des éléments dosés. (JACQUES, 1977).

Les matières en suspension sédimentées constituent une réserve de pollution considérable. Les réactions entre les éléments polluants et les colloïdes déterminent, en partie, la concentration relative des polluants dans l'eau : les éléments les plus fortement et rapidement absorbés sont le cuivre, le zinc, le plomb et dans une moindre mesure le cobalt et le nickel. L'analyse des métaux lourds (NFT 90027) est d'ailleurs positive dans la vase.

Sous certaines conditions, d'acidité par exemple, ces produits peuvent repasser en solution et ainsi créer une vague intense de pollution.

Des phénomènes de bio-accumulation ont été également décelés par le SETRA, en particulier pour Zn et Na, chez les Odonates (libellules) avec des taux de 1,7 à 3,5 fois la valeur de référence (JACQUES, 1977).

De même, le Pb peut-il passer selon PATRICK et LOUTIT (1978) du sédiment aux poissons par les vers (Tubificidés) dont ils se nourrissent.

La charge polluante, même si elle n'a pas un impact direct, menace à plus ou moins long terme le maintien de l'écosystème aquatique : accumulation dans les faciès lenticules, dans les chaînes trophodynamiques, phénomènes de synergie entre métaux (BOHN et FALLIS, 1978).

Ce facteur devrait être pris en compte dans le traitement des pollutions des eaux, pour aboutir à une résolution complète du problème.

4 - Taux de chlorure important dans l'eau.

Il est à rapprocher de la teneur en Na^+

5 - Peu de composés sulfurés dans les boues.

Absence dans l'eau.

La couleur noire des vases vient du sulfure de fer, comme leur odeur nauséabonde de l'hydrogène sulfuré : l'inconvénient très grave du phénomène de minéralisation en sulfure réside dans le fait qu'il est irréversible ; le soufre et le fer engagés dans le sulfure de fer sont irrémédiablement bloqués et rendus définitivement inutilisables pour la vie dans l'eau ; il faut donc prévenir cette formation en maintenant des conditions aérobies dans les eaux surmontant la vase :

6 - Rapport Mg/Ca :

plus faible dans les vases que dans l'eau, ce qui est contraire à la règle de solubilité différentielle, alors qu'il est normal pour Na/K.

Dans l'eau le potassium est moins abondant que le sodium. Dans les sédiments, il y a plus de potassium que de sodium. Les teneurs observées s'expliquent par les différences essentielles de solubilité entre ces deux métaux alcalins :

- le sodium, après libération, tend à rester en solution ;
- le potassium, plus difficilement libéré par les minéraux silicatés, montre une forte tendance à être incorporé dans les produits de dégradation et notamment les argiles (O'SHEA et NANCY, 1978).

7 - Différence significative entre les proportions Matières minérales - Matières volatiles

En conclusion, on se retrouve -selon l'IRCHA- en présence d'une eau assez peu minéralisée, basique et riche en chlorure. Certains éléments (Fe - Ca) ont tendance à précipiter avec le phosphore. Ce point est très important :

En effet, P étant un élément électro-positif, les phosphores (Ca_3P_2 , Mg_3P_2 , Zn_3P_2 ,...) sont totalement hydrolysés. P ne peut être que sous forme de phosphates, qui sont tous insolubles, à l'exception des phosphates acides (monométalliques) tels que $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, soluble en milieu neutre.

Le phosphore existe sous formes minérales et organiques dans les eaux.

a) Le phosphore minéral comprend :

- 1 - des minéraux, qui consistent essentiellement en phosphates tricalciques (apatites), de fer et d'alumine ;
- 2 - des anions PO_4^{3-} absorbés sur les colloïdes du sol et difficilement assimilables ;
- 3 - des anions libres dans la solution du sol sous la forme PO_4H^- ou PO_4H_2^- , la première prédominante au pH alcalins, la seconde au pH acides.

b) Le phosphore organique provient des débris végétaux, animaux et microbiens. Non assimilable sous cette forme, il est, comme l'azote, minéralisé par la microflore et rendu alors assimilable.

P doit donc être sous forme de phosphates di- ou tri-calcique $\text{Ca}_2(\text{HPO}_4)_2$ et $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, qui ne sont solubles qu'en milieu acide, l'équilibre de la réaction :

$$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \rightleftharpoons 2\text{PO}_4^{3-} + 3\text{Ca}^{2+}, \text{ étant déplacé vers la droite par consommation du } \text{PO}_4^{3-} \text{ (donnant } \text{HPO}_4^{2-} \text{ et de } \text{H}_2\text{PO}_4^- \text{).}$$

Or le milieu est calcaire et -surtout- basique. Ceci se produit dans des «eaux closes» en relation avec la formation de carbonates alcalins sous l'action d'une photosynthèse très active du plancton.

Celle-ci, consommant le CO_2 réduit l'acide carbonique obtenu par dissolution du CO_2 . Si l'alcalinité est moyenne pour l'eau (dite interstitielle) avec 152 mg/l d' HCO_3^- , l'absence de bicarbonates peut faire penser à un pH > 12,6, de sorte que l'hyperbasicité de la vase entraîne la précipitation de carbonates, en particulier de calcium et de magnésium, et d'hydroxydes ferreux et ferriques.

On constate donc qu'il se produit à l'interface eau-vase un ensemble de réactions complexes caractérisées par la basicité du milieu (pH \approx 8,3), et par des phénomènes de précipitations de phosphates insolubles (di- ou tricalciques), d'hydroxyde ferrique et de carbonates. Il semble que ces processus sont essentiellement régis par la courbe d'équilibre $\text{Ca}^{++} = f(\text{pH})$ qui influe sur la dissolution du CaCO_3 .

On note en effet que le rapport Mg/Ca passe de 0,22 dans l'eau à 0,08 dans le sédiment. Ainsi, avec une eau à pH \approx 7,5 et 76 mg/l de Ca nous sommes à la limite du domaine de dépôt des carbonates, et cette précipitation influe en retour sur le pH, dont la variation s'accompagne de celle des ions Ca^{++} (DUSSART, 1966).

Par ailleurs, le P est directement lié au fer (complexe d'hydroxyde de fer) et, par là-même, à la teneur en oxygène dissous.

Quand celle-ci diminue, le fer est réduit et la solubilité de P augmente (il est alors relargué dans le milieu).

A l'inverse, P s'absorbe vigoureusement au précipité d'hydroxyde ferrique. (THEIS et Mc CABE, 1978 - LASCOMBE, 1978).

A ces réactions élémentaires, il faudrait encore inclure le rôle de la force ionique de l'eau par les charges d'autres ions (donc de la salinité), et des phénomènes biologiques ayant une action sur le CO₂ et sur la régulation de l'alimentation en P.

Il n'y a guère qu'ainsi que l'on explique la faible quantité du phosphore disponible dans l'eau. Comme l'humus et la pédoflore règlent l'alimentation en P de la phytocénose, et de là, de l'ensemble de la biocénose (ODUM, 1976), la vase constitue une source importante pour la régulation du système en éléments nutritifs.

C'est ainsi que *Myriophyllum spicatum* utilise le P du sédiment tant que l'eau n'en contient pas plus de 2 mg/l. (BOLE et ALLAN, 1978).

Mais les végétaux et les algues périphtytiques redonnent au milieu leur P cellulaire lors de leur décomposition (jusqu'à 75% selon SUDO et coll, 1978) celle-ci pouvant amener des poussées algales (RHO et GUNNER, 1978).

Toutefois de nombreuses interactions doivent entrer en jeu et cette approche est sans aucun doute incomplète. (cf. STAKE, 1968 et plus particulièrement KU, 1978).

D'autre part, les teneurs relevées en sulfure ainsi que la présence, dans les houes, de fer ferrique, n'indiquent pas que le milieu soit le siège de fermentations anaérobies importantes bien que leur teneur en O₂ soit nulle.

Il est en effet probable que l'oxygène venant de la surface soit consommé par les microorganismes présents dans la vase et qu'un équilibre se soit installé. Il serait intéressant au cas où l'on voudrait approfondir le sujet, de faire procéder à une analyse bactériologique. Nous concluons, avec P. VIVIER et M. LAURENT (1967), que la vase revêt une grande signification dans l'instauration et le contrôle de l'altération du milieu naturel constitué par les collections d'eau. Alors que l'eau, dans les rivières polluées ou non, s'écoule rapidement à cause du courant et que, dans les eaux stagnantes, ses caractères se modifient rapidement la vase garde l'empreinte des événements qui ont affecté le milieu.

Accessoirement, signalons l'importance grandissante des petits débris (bouteilles plastiques, canettes de bière) au fond du lac, ainsi que des perches mortes et des plaques de « moisissures ».

4-2 - Données biologiques

Au-delà de l'analyse de la matière, il convient maintenant de voir quelle vie le lac est capable d'héberger, et d'intégrer, à travers elle, le fonctionnement intime du système lacustre car les méthodes physiques et chimiques, bien que précieuses, ne reflètent qu'imparfaitement la nature complexe des différents milieux naturels. Il convient en particulier de tenir compte des réactions des êtres vivants ainsi que des éventuelles répercussions susceptibles de se manifester au niveau métabolique ou structural. (PIERRE, 1976).

4-2-0 - Cadre biogéographique

Les données physiques décrites au chapitre III constituent, pour les biocoénoses de ce secteur des contraintes naturelles qui sont de deux ordres :

a) Les exigences climatiques, typiquement océaniques :

Les vents quasiment constants agissent sur l'évapotranspiration, ce qui nuit à la végétation de type forestier. L'air continuellement humide serait un facteur favorable s'il n'était riche en sel. Rappelons que l'on observe, de mars à septembre, un déficit hydrique.

b) Les exigences pédologiques :

La terre végétale est peu épaisse et ne permet pas un enracinement profond. Elle peut parfois être hydromorphe. Les végétaux doivent donc être adaptés à cette forte humidité, à ce sol peu profond et relativement pauvre, bien qu'il ait été modifié par l'intervention agricole. On conçoit, dès lors, que des variations même modiques du régime des vents et d'épaisseur de sol (notamment pour exonder davantage les pieds) entraînera une variété accrue d'espèces végétales.

Une contrainte importante liée à la variété des espèces est que du point de vue phytosociologique la région appartient au sous district poldérien de la plaine maritime flamande incluse dans le secteur boréoatlantique (du domaine atlantico-européen des divers auteurs). Quatre séries végétales sont susceptibles de s'y développer si l'on se reporte à la carte de la Végétation - LILLE - n° 4 du professeur GEHU - (C.N.R.S. 1971) : Deux séries typiques de la plaine maritime :

- la série de l'Orme : particulièrement adapté surtout en association avec l'Aulne. L'Ormaie-Aulnaie paraît susceptible de boiser les sols plodériens.

- la série de l'Aulne : sous l'aspect de taillis est lié au bord des eaux, peut être complété par des Frênes, Saules ou remplacé par une Peupleraie.

Deux séries marginales ou culturales, non dynamiques :

- la série du Chêne pédonculé : qui occupe tous les sols profonds et frais (sédiments argilo-limoneux) réclame une pluviosité inférieure à 700mm. Elle peut être accompagnée du Chêne senile.

- la série du Hêtre : réclame des sols suffisamment drainés et une pluviosité importante (plus de 700 mm) ou une atmosphère à forte hygrométrie.

En résumé, notre climat humide (pluviosité importante et régulière, avec fortes brumes et ciel fréquemment couvert) donne sur un sol mouillard, une forêt hydrophile : Chêne pédonculé, Frêne, Orme, parfois même une forêt marécageuse à Aulnes glutineux.

4-2-1 - Analyse du nanoplancton

421-1 Résultats :

On trouvera en Annexe 5, les résultats de l'inventaire pratiqué au cours de l'année 1978 par le Laboratoire d'Algologie du G.T.G.R.E.F. de Paris.

REMARQUE PREALABLE :

« Dans l'état actuel de nos connaissances et notamment au niveau de la flore algale, la notion d'organisme bioindicateur demande encore à être précisée en particulier par une connaissance plus précise de la valence écologique réelle de chaque organisme concerné. Cependant, dès maintenant, l'utilisation de ces témoins biologiques peut se révéler précieuse, à condition de pouvoir les replacer dans leur contexte écologique.

Le fait que les végétaux et, à plus forte raison les algues, sont intimement liés au milieu qui les entoure, leurs possibilités de concentrer certaines substances directement depuis le milieu ambiant, les désignent comme un matériel de choix pour la mise au point d'indicateurs et d'essais biologiques, dans des conditions telles que l'on puisse espérer atteindre un niveau de sécurité suffisant dans l'estimation de la qualité biologique réelle des eaux » (PIERRE, 1976).

On constate ici que la répartition des principaux groupements systématiques au cours des quatre campagnes peut être schématisée par la Fig. n°7

Au cours des saisons, le peuplement évolue facilement tout en restant caractéristique d'une eau de qualité médiocre. Dès le mois de Mars, il faut constater une abondance anormale des Eugléniens et des algues vertes chlorococcales.

Les premiers apparaissent en général après des proliférations de Cyanophycées ou plus généralement en présence de matières organiques en voie de décomposition. Les secondes sont en relation étroite avec les teneurs en azote et phosphore dissous dans l'eau.

La plupart des auteurs s'accordent pour considérer ces groupes comme électifs des formations aquatiques eutrophes. Ce caractère paraît confirmé par la prédominance dans le plancton à Diatomées d'*Asterionella formosa*, forme caractéristique des lacs eutrophes. (VOLLENWEIDER, 1971 - WIELGOLASKI, 1975).

En Avril, le Zooplancton reste assez diversifié alors qu'apparaissent dans le Phytoplancton les Dinophycées. Les Chlorophycées et les Eugléniens ont fortement regressé. Les Diatomées sont les mieux représentés avec *Asterionella formosa* et surtout *Fragilaria capucina*.

FIG. N° 7 - GROUPEMENTS SYSTEMATIQUES DU NANOPLANCTON -

Groupes systématiques (en ‰ d'abondance relative)	Dates des prélèvements			
	Mars	Avril	Juin	Septembre
<i>Crustacés Cladocères</i>	7	4	0	0
<i>Crustacés copépodes</i>	5	20	2	4
<i>Rotifères</i>	18	24	7	0
<i>Ciliés</i>	80	198	0	0
<u>Zooplancton (total)</u>	110	246	9	4
<i>Cyanophycées</i>	10	0	1	920
<i>Dinophycées</i>	3	22	863	64
<i>Euglénophycées</i>	90	8	0	0
<i>Chlorophycées Volvocales</i>	129	2	0	0
<i>Chlorococcales</i>	18	5	102	0
<i>Desmidiées</i>	6	3	7	0
<i>Chlorophycées (total)</i>	153	10	109	0
<i>Diatomées Centriques</i>	153	39	9	0
<i>Diatomées Pennatées</i>	479	675	7	11
<u>Phytoplancton (total)</u>	888	754	989	995

Notons que les difficultés d'application des méthodes biologiques de détection des pollutions en milieu potamique profond ont conduit à retenir les producteurs, et plus particulièrement les Diatomées, comme organismes indicateurs du degré de pollution des eaux. (COSTE, 1976).

A côté de très nombreuses formes tychoplanctoniques ou périphytiques apparaissent des espèces halophiles (ROUND, 1962) (*Caloneis amphisbaena*, *Nitzschia apiculata*, *Navicula salinarum*, *Synedra pulchella*,...) ou mésohalobes (*Actinoptychus*, *Coscinodiscus*, *Raphoneis*, *Trachyneis*...).

Bien que leur abondance reste très restreinte (2,5% du peuplement environ) ces espèces traduisent l'influence de la salinité. En Juin, parallèlement à un appauvrissement du Zooplancton, le Phytoplancton régresse très nettement.

L'association dominante (96% du peuplement) comprend deux Périidiniens (*Ceratium hirundinella*, et *Peridinium cinctum*) et une Chlorococcale (*oocystis solitaria*) beaucoup moins représentée. De telles proliférations de Périidiniens caractérisent des formations eutrophes.

En Septembre, l'échantillon contenait presque exclusivement des Cyanophycées (92%) et quelques cellules de Périidiniens.

421-2 - Interprétation :

Outre l'influence de la salinité, cette étude fait apparaître la réelle qualité -médiocre- des eaux. Les «fleurs d'eau» à Cyanophycées et surtout celles à *Anabaena* et *Aphanizomenon flos aquae* sont en effet caractéristiques des plans d'eau fortement eutrophes (polytrophes, selon la classification des étangs de Wurtz - 1958). La richesse planctonique correspond par contre à un milieu eutrophe. Les Cladocères indiquent à la fois des eaux α et β mésosaprobies et des eaux polysaprobies. (HRBACEK, 1962).

L'application du quotient de NYGAARD (1948)

$$\Psi = \frac{\text{formes électives des milieux eutrophes}}{\text{formes électives des milieux oligotrophes}}$$

c'est-à-dire

Cyanophycées Chlorococcales Eugléniens Diatomées centriques

Ψ :

Desmidiiales

aux abondances relatives moyennes de l'année conduirait malgré son approximation à classer le lac comme fortement eutrophe ($\Psi > 80$), par rapport au seuil classique de 5. (DUSSART, 1966).

Ce classement paraît ici peu satisfaisant car bon nombre d'espèces électives de tels milieux font totalement défaut. Cependant les fortes conductivités de l'eau peuvent constituer un facteur limitant leur développement.

Les fleurs d'eau algales, caractéristiques de ces milieux eutrophes dont la présence est très nette en Septembre, sont responsables d'un grand nombre de nuisances.

Outre leur aspect peu engageant (coloration) elles donnent à l'eau des goûts (secrétion de géosmine ou de diméthylisobornéol) (RIZET et COLL. 1976-1978) et des odeurs désagréables. Elles sont défavorables à un usage récréatif du plan d'eau. Ces algues entraînent par ailleurs la disparition de la plupart des autres espèces (phénomènes d'hétéroantagonismes) (WAUTHIER, 1974) et leur décomposition provoque des déficits importants en oxygène dissous dans l'eau et des mortalités pisciaires peuvent être observées.

De plus, les deux espèces dominantes dans le lac, *Anabaena flos aquae* et *Aphanizomenon flos aquae* (mais aussi *Microcystis* sp.) ont déjà causé de nombreuses intoxications entraînant la mort d'animaux (ovins, bovins, oiseaux, poissons, etc...) (cf. infra). Elles peuvent entraîner chez l'homme des nausées et gastroentérites et des réactions épidermiques. (GORHAM, 1969).

Le S.R.A.E. était déjà intervenu sur le lac en Juillet 1974, à la suite d'une importante mortalité de poissons consécutive à une fleur d'eau à *Aphanizomenon flos aquae*.

L'intervention du C.S.P., première région, en 1977, montrait toujours la présence de l'*Asterionella*, d'*Anabaena* ainsi que du Péridinien *Ceratium hirundinella*.

En 1978, et 1979 encore, un certain nombre de poissons morts ont été dénombrés à proximité des berges, dont les Cyanophycées peuvent être responsables.

Cette prolifération des Cyanophycées, avec le cortège des nuisances qu'elle est susceptible d'entraîner, est un point très inquiétant pour l'avenir du plan d'eau.

Ces «explosions» estivales sont généralement attribuées à des concentrations élevées en azote et en phosphore dissous.

L'analyse physico-chimique n'ayant guère confirmé cette hypothèse, il faut donc envisager l'existence d'apports accidentels ou intermittents ou plus simplement celle d'un relargage de ces substances par les sédiments (cf. supra).

Lors de la désoxygénation des eaux, l'azote et le phosphore fixés dans les sédiments diffusent dans l'eau.

Ce rôle de charge interne s'avère donc très important et oblige à parler plutôt de la disponibilité des substances que de leur concentration et explique aussi qu'il n'existe pas de corrélation très bonne entre la chimie des eaux et la production.

Il ne faut pas négliger non plus les apports atmosphériques en raison de la faible profondeur du lac et de la proximité des industries. (cf. ultra)

Le caractère «eutrophe» du lac d'Armbouts-Cappel est donc le phénomène le plus important que cette étude a permis de mettre en évidence et dont il faudra tenir compte et considérer en priorité dans les projets d'aménagement.

INVENTAIRE SYSTEMATIQUE DES ORGANISMES
 PLANCTONIQUES RECOLTES DANS LE LAC D'ARMBOUTS-CAPPEL
 (Résultats exprimés en % d'abondance relative)

Date des prélèvements

01/03/78 26/04/78 28/06/78 06/09/78

Liste taxonomique:

ZOOPLANCTON

Cladocères

<i>Daphnia longispina</i>	4	1		
<i>Daphnia pulex</i>	3	3		

Copépodes

<i>Cyclops</i> sp.	3	7		
<i>Diaptomus</i> sp.	1	2		4
Nauplii et copépodites	1	11	2	

Rotifères

<i>Asplanchna</i> sp.	1	1	3	
<i>Brachionus quadridendatus</i>	3			
<i>Filinia terminalis</i>	3			
<i>Kellicottia longispina</i>	3	9	3	
<i>Keratella cochlearis</i>			1	
<i>Keratella quadrata</i>	7	13		
<i>Polyarthra vulgaris</i>		1		
<i>Synchaeta</i> sp.	1			

Ciliés

<i>Paramecium</i> sp.		1		
<i>Tintinnopsis lacustris</i>	72	197		
<i>Vorticella</i> sp.	8			

PHYTOPLANCTON

Cyanophycées

<i>Anabaena flos-aquae</i> fo. <i>lemmermanii</i>				288
<i>Anabaena spiroïdes</i>	3			
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>				632
<i>Aphanizomenon gracile</i>	7			
<i>Microcystis</i> sp.			1	

Dinophycées (Péridiniens)

<i>Ceratium hirundinella</i>		20	264	60
<i>Peridinium cinctum</i>	3	2	599	4

Euglénophycées

<i>Lepocinclis salina</i>	70	5		
<i>Lepocinclis</i> sp.		1		
<i>Phacus curvicauda</i>	13	1		
<i>Phacus ephippior</i>	1			
<i>Phacus longicauda</i>	1			
<i>Phacus tortus</i>	1	1		
<i>Trachelomonas volvocina</i>	3			
<i>Trachelomonas volvocinopsis</i>	P			
<i>Trachelomonas hispida</i>	1			

ChlorophycéesVolvocales

<i>Eudorina elegans</i>	126	2		
<i>Pandorina morum</i>	3			

Dates des prélèvements :

01/03/78 26/04/78 28/06/78 06/09/78

Diatomophycées (suite)

<i>Navicula cryptocephala</i>	1			
<i>Navicula c. var. veneta</i>		P		
<i>Navicula cuspidata</i>		1		
<i>Navicula dicephala</i>		P		
<i>Navicula gregaria</i>		1		
<i>Navicula hungarica v. capitata</i>		1		
<i>Navicula menisculus</i>		P		
<i>Navicula placentula fo. rostrata</i>		2		2
<i>Navicula rhynchocephala</i>		P		
<i>Navicula salinarum</i>		1		
<i>Navicula viridula v. slesvicensis</i>		6		
<i>Nitzschia angustata v. acuta</i>	1			
<i>Nitzschia apiculata</i>		2		
<i>Nitzschia communis</i>				1
<i>Nitzschia dissipata</i>			P	
<i>Nitzschia heufleriana</i>			P	
<i>Nitzschia hungarica</i>		4		
<i>Nitzschia navicularis</i>		2		
<i>Nitzschia palea</i>		P		
<i>Nitzschia punctata</i>		P		
<i>Nitzschia recta</i>		1		
<i>Nitzschia sigmoidea</i>		P		P
<i>Nitzschia tryblionella v. levidensis</i>		1		
<i>Raphoneis amphiceros</i>	1	1		
<i>Raphoneis surirella</i>		2		
<i>Rhoficosphenia curvata</i>		P		
<i>Rhopalodia gibba</i>	1	1		1
<i>Stephanodiscus astraea</i>		P		
<i>var. minutula</i>	110	27		P
<i>Stephanodiscus hantzschii</i>		P		
<i>Surirella ovalis</i>		1		
<i>Surirella ovata</i>	1			
<i>Synedra affinis</i>		2		
<i>Synedra pulchella</i>	1	1		
<i>Synedra ulna</i>		2		2
<i>var. biceps</i>	10	P		
<i>Trachyneis aspera</i>		1		



01/03/78 26/04/78 28/06/78 06/09/78

ChlorophycéesChlorococcales

<i>Botryococcus braunii</i>		3		
<i>Dictyosphaerium ehrenbergianum</i>	7			
<i>Nephrocytium</i> sp.	1			
<i>Oocystis solitaria</i>	1	2	101	
<i>Pediastrum boryanum</i>	1			
<i>Pediastrum duplex</i>	1			
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	1			
<i>Scenedesmus arcuatus</i>	1			
<i>Scenedesmus oahuensis</i>	1			
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	1			
<i>Westella botryoïdes</i>	3			1

Desmidiiales

<i>Closterium aciculare</i>	3	2	7	
<i>Closterium acutum</i>	1			
<i>Closterium peracerosum (=C. strigosum)</i>	1	1		
<i>Staurastrum</i> sp.	1			

Diatomophycées (= Diatomées)

<i>Achnanthes exigua</i>		1		
<i>Achnanthes minutissima</i>			1	
<i>Actinopterychus splenders</i>		1		
<i>Actinopterychus undulatus</i>		3		
<i>Amphora ovalis</i>	1	1		P
<i>Amphora perpusilla</i>		1		
<i>Amphora veneta</i>		1		
<i>Arachnoïdiscus</i> sp.		1		
<i>Asterionella formosa</i>	439	158	2	P
<i>Caloneis amphisbaena</i>		1		
<i>Cocconeis diminuta</i>		2		
<i>Cocconeis pediculus</i>		1		
<i>Cocconeis placentula</i>		1	1	
<i>Coscinodiscus</i> sp.		1		
<i>Cyclotella comta</i>	14	2	9	
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	29	1		
<i>Cyclotella ocellata</i>		3		P
<i>Cymatopleura elliptica</i>		1		
var. <i>nobilis</i>		P		
<i>Cymatopleura solea</i>		1		
<i>Cymbella affinis</i>		1		
<i>Cymbella helvetica</i>	1	1		
<i>Cymbella lanceolata</i>	1	1		
<i>Cymbella ventricosa</i>	1	1		
<i>Diatoma elongatum</i> var. <i>tenuis</i>		1		
<i>Diatoma vulgare</i>	16	P	P	
<i>Epithemia sorex</i>		3		5
<i>Epithemia turgida</i>		5		
<i>Fragilaria capucina</i>	P	456		
<i>Fragilaria vaucheriae</i>	3	P	1	
<i>Gomphonema olivaceum</i>		P		
<i>Gomphonema parvulum</i>				2
<i>Gyrosigma attenuatum</i>		2		
<i>Gyrosigma spencerii</i>		1		
<i>Melosira</i> sp.		P		
<i>Meridion circulare</i>	1			
<i>Navicula anglica</i>		1		

422 - Analyse de la végétation (macrophytes)

L'étude de la végétation du lac (1) pour le S.R.A.E. et l'A.G.U.R. par M. J.L. MERIAUX de l'Institut Européen d'Ecologie de Metz et du Laboratoire d'Ecologie Végétale de la Faculté de Pharmacie de Lille, a été réalisée en 1978.

422-1 - Résultats :

Ce chercheur a mis en évidence soixante deux espèces, variétés ou formes :

Phycophytes

Cladophora glomerata
Mougeotia sp
Oedogonium sp
Spirogyra sp
Vaucheria sp
Zygnema sp

Charophytes

Chara vulgaris
Chara vulgaris var *longibracteata*
Tolypella glomerata

Spermatophytes

Agrostis stolonifera
Agrostis stolonifera fo *fluitans*
Alisma plantago aquatica
Alnus glutinosa
Arrhenatherum elatius
Bidens tripartita
Calystegia sepium
Carex disticha
Carex otrubae
Cirsium arvense
Cirsium vulgare
Daucus carota
Epilobium adnatum
Epilobium hirsutum
Equisetum palustre
Festuca arundinacea
Eleocharis palustris
Iris pseudacorus
Juncus articulatus
Juncus bufonius
Juncus effusus
Juncus inflexus
Lolium perenne
Lycopus europaeus

Mentha aquatica
Myriophyllum spicatum
Oenanthe lachenalii
Phragmites australis
Poa trivialis
Polygonum amphibium fo *natans*
Polygonum amphibium fo *terrestris*
Potamogeton pectinatus
Pulicaria dysenterica
Ranunculus baudotii
Ranunculus circinatus
Ranunculus sceleratus
Rumex crispus
Rumex palustris
Salix alba
Salix caprea
Salix x capreola
Salix fragilis
Salix repens subsp. *argentea*
Salix x rubra
Salix viminalis
Scirpus tabernaemontanii
Sium erectum
Sonchus asper
Tussilago farfara
Typha latifolia
Ulmus campestris
Vicia cracca
Zannichellia palustris subsp. *palustris*

De cet inventaire, il a été possible de dresser une carte de la végétation à partir des unités supérieures. (Carte ci-jointe, fig.8).

Quelles sont les caractéristiques phytosociologiques de ces principaux groupements ? (MERIAUX, 1978b et étude à paraître).

Les Hydrophytes fixés (Classe des POTAMETEA ou POTAMOGETONETEA)

– Le groupement à *Cladophora glomerata* (*Cladophora* + *Zygnema* + *Vaucheria*).

Ce groupement qui résiste bien au flot s'est installé sur les éléments gréseux des rives Est et Ouest.

Entre les blocs sur le substrat sableux, le *Potamogeton pectinatus* tente de s'installer.

FIG. 8 - CARTE DE VEGETATION DU LAC D'ARMBOUTS-CAPPEL
AU 1/2000

LEGENDE

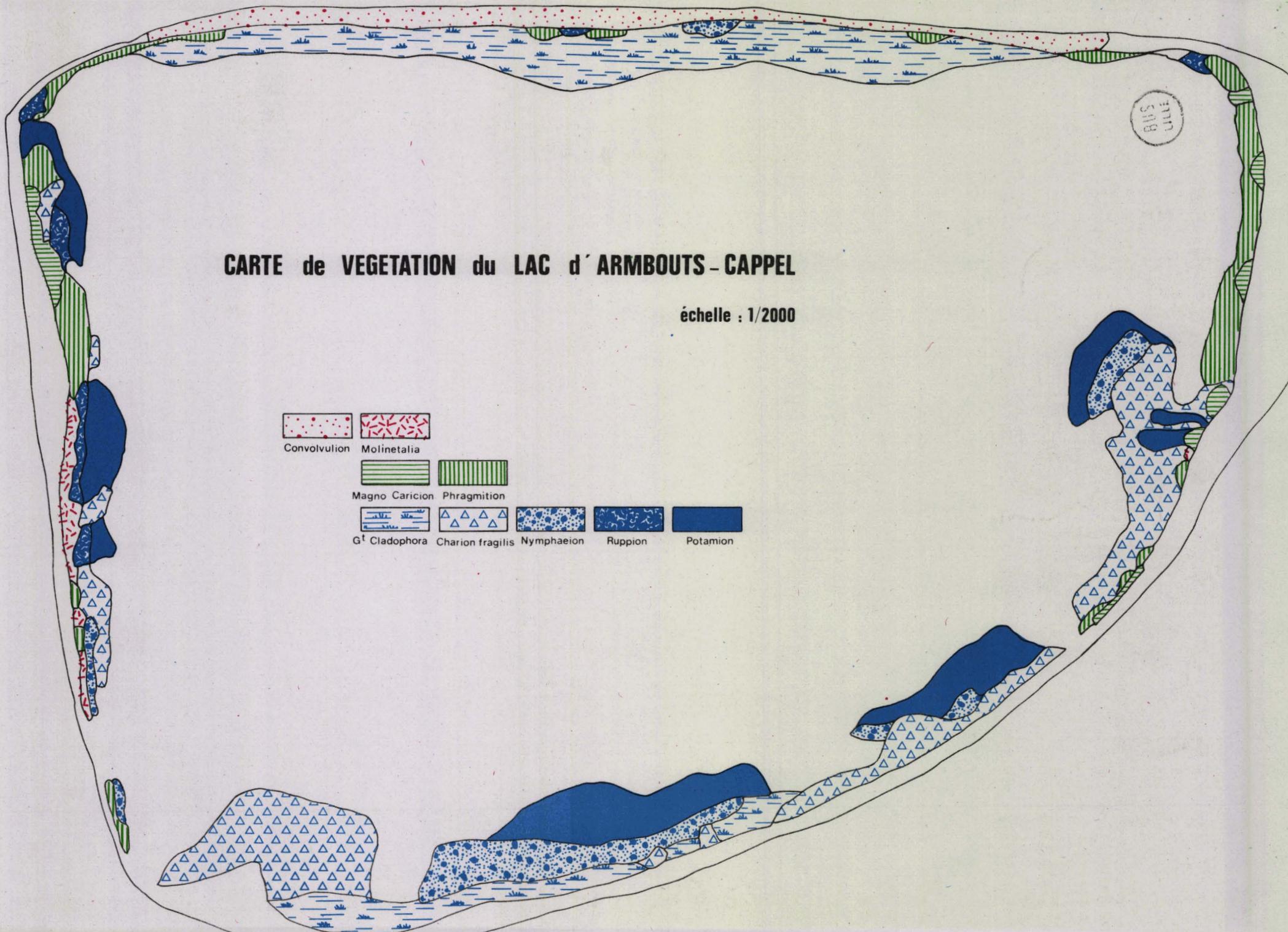
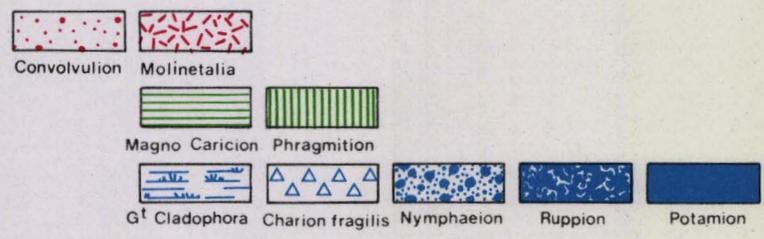
Gt à cladophora glomerata

<i>Charion fragilis</i>	{	<i>Tolypelletum glomeratae</i>
	{	<i>Charetum vulgare</i>
<i>Potamion</i>	{	<i>Zannichellietum majoris</i>
	{	<i>Potametum pectinati</i>
<i>Nymphaeion</i>		<i>Myriophyllo - Nupharetum</i>
<i>Ruppion maritimae</i>		<i>Ranunculetum baudotii</i>
<i>Phragmition</i>	{	<i>Scirpo - Phragmitetum</i>
	{	<i>Scirpetum tabernaemontanii</i>
	{	<i>Gt à Alisma plantago-aquatica</i>
		<i>Caricetum ripario-acutiformis</i>
<i>Magnocaricion</i>	{	<i>Gt à Eleocharis palustris</i>
	{	<i>Gt à Scutellaria galericulata</i>
	{	<i>Gt à Polygonum amphibium f. terrestris</i>
	{	<i>Gt à Iris pseudacorus</i>
<i>Molinetalia</i>	{	<i>Gt à Festuca arundinacea et Juncus inflexus</i>
	{	<i>Gt à Juncus inflexus</i>
	{	<i>Gt à Juncus effusus</i>
	{	<i>Gt à Juncus articulatus</i>
<i>Convolvulion</i>		<i>Gt à Oenanthe lachenalii et Epilobium hirsutum</i>

1977
BIS
5117

CARTE de VEGETATION du LAC d'ARMOUITS-CAPPEL

échelle : 1/2000



– Les associations du Charion fragilis comprenant :

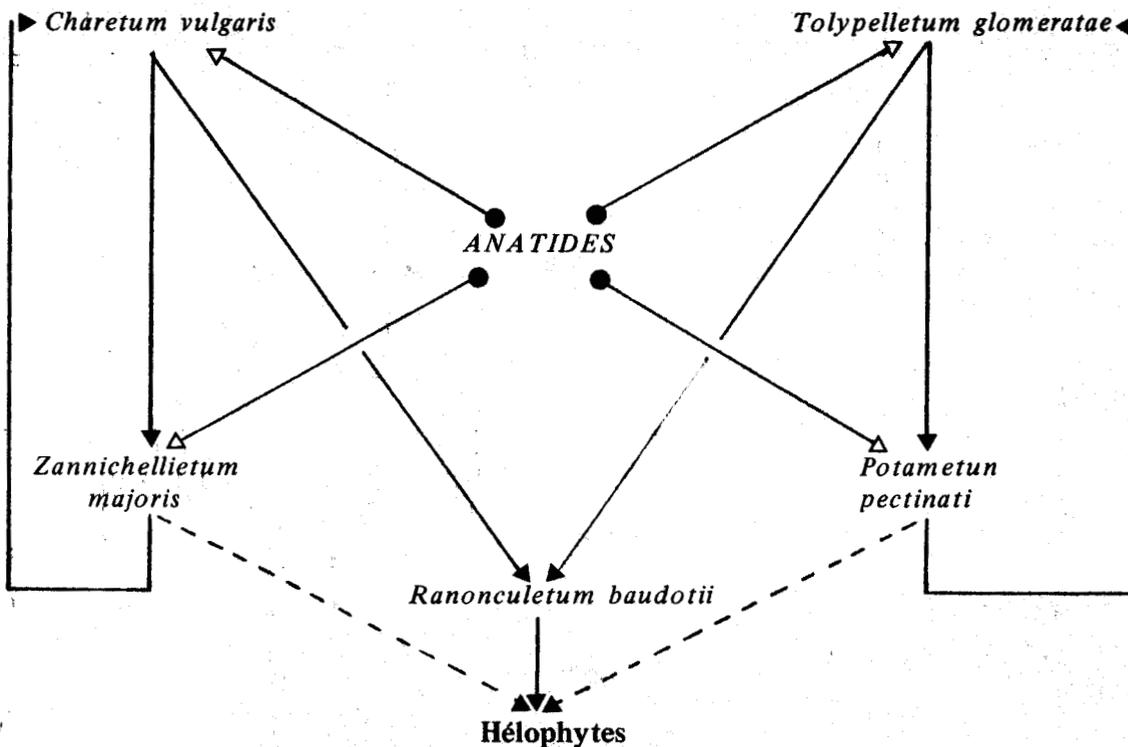
Le *Tolypelletum glomeratae*, association pionnière de faible profondeur des milieux alcalino-saumâtres. Cette association présente deux variantes en fonction du remaniement du substrat l'une à *Charavulgaris*, l'autre à *P. pectinatus*.

Le *Charetum vulgaris* qui se situe dans les zones plus profondes moins lumineuses sur des sables contenant des débris organiques, en eau alcalino-saumâtre.

Remarques :

L'importance de l'étendue des herbiers à Charophytes est à souligner. Ces formations sont en relation étroite avec les populations d'Anatidés qui, en se nourrissant, rajeunissent constamment le milieu par perturbation du substrat (cf. fig.9). Ces plantes préfèrent les eaux oligo - ou mésotrophes (LACHAVANNE, 1978) et il est probable que leur dynamisme et il est probable que leur dynamisme serait moindre sans cette pression de consommation.

FIG. 9 - ROLE DES ANATIDES DANS L'EVOLUTION DE LA VEGETATION (d'après J.L. MERIAUX, modifié)



– Les associations du Potamion (Potamogetonion) comprenant :

Le *Zannichellietum majoris* composé d'un herbier à *Zannichellia palustris* subsp. *palustris* très dense et qui s'étale à faible profondeur sur un fond vaso-sableux.

Cette association s'observe dans les eaux fortement minéralisées ou à haut niveau trophique (LACHAVANNE, 1978) parfois polluées mais aussi alcalino-saumâtres.

Le *Potametun pectinati* qui prolonge l'association précédente en profondeur et que l'on rencontre surtout dans les milieux nettement eutrophes parfois fortement pollués et saumâtres (jusqu'à 8‰ de Cl)

– Les associations du Nymphaeion, avec :

Le *Myriophyllo-Nupharetum*, sous une forme juvénile à *Polygonum amphibium* fo. *natans* et sous une forme mieux structurée à *Myriophyllum spicatum*. Elle est toutefois dépourvue d'espèces caractéristiques à feuilles flottantes.

– L'association du Ruppion maritimae avec :

Le *Ranunculetum baudotii* dont l'installation est favorisée par le *Potametun pectinati* qui freine les mouvements de l'eau.

Les Hélophytes (PHRAGMITETEA)

– Les associations du Phragmition :

Le *Scirpo-phragmitetum* dont la pauvreté en espèces indique une agitation quasi-permanente des eaux favorables au rajeunissement continu du biotope et qui ralentit l'installation des hélophytes.

Le *Scirpetum tabernaemontanii* que l'on trouve dans les lagunes littorales aux eaux sub-saumâtres à saumâtres, se substituant à la Scirpaie à *Scirpus lacustris*.

– Les associations du Magno-caricion :

Le *Caricetum ripario-acutiformis* qui présente une disposition linéaire

Le groupement à *Eleocharis palustris* montre sur les marges de la rive Sud du lac un stade jeune, une variante type et une variante à *Oenanthe lachenalii* caractérisant un degré d'eutrophie plus élevé de substrat.

Le groupement à *Alisma plantago-aquatica* qui doit être considéré comme un groupement pionnier des *Phragmitetea*, évoluant rapidement vers celui à *Eleocharis palustris*.

Autres groupements :

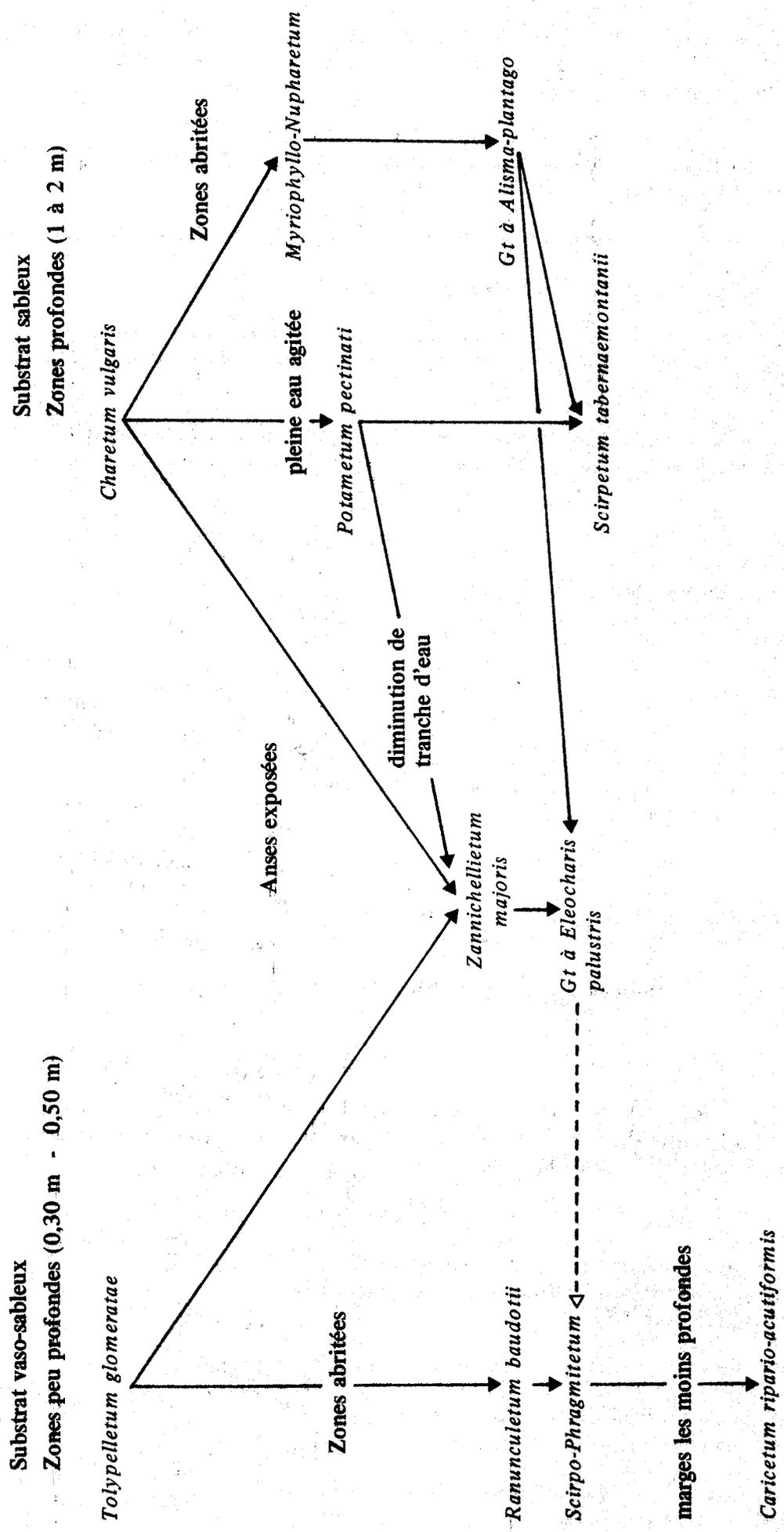
Ils sont localisés dans les zones soumises aux variations du niveau de l'eau, aux «laisses du lac» ou en marge du plan d'eau :

g. à *Festuca arundinacea* et *J. inflexus* ; G. à *Oenanthe lachenalii* ; *Ranunculetum scelerati* ; g. à *J. bufonius*, etc...

A partir de cette analyse, il est possible de dresser un tableau du «syndynamisme général» (cf. tableau fig.10)



FIG. N° 10 - SYNDYNAMISME GENERAL -



422-2 - Interprétation :

Cette végétation résulte d'une part d'un peuplement naturel spontané (apports éoliens et animaux par zoophorèse) et d'autre part d'essais d'acclimatation, en particulier sur la rive Ouest, de plantes par le groupe «Jeunes et Nature» de Coudekerque.

Ont ainsi été plantés, entre 1973 et 1975 :

des Saules, des Argousiers, des Chênes, des Joncs, des Massettes, des Robiniers, des Scirpes, des Iris d'eau, des Roseaux, des Frênes, des Carex,

La plupart de ces plants ont remarquablement pris et apportent au site le début des végétaux dont il a besoin.

Notons que toutes les essences sont indigènes et rustiques.

De façon immédiate, il apparaît cependant que, à l'heure actuelle, le développement de la végétation demeure modeste (ce qui confirme l'appellation de lac pour ce plan d'eau relativement profond).

Mis à part les Charophytes, les végétaux ne constituent pas encore un «substrat» biologique suffisant pour les animaux, des invertébrés aquatiques aux oiseaux en passant par les poissons.

Le tableau syndynamique permet d'espérer obtenir prochainement de belles Scirpaies et Phragmitaies dans les zones abritées aux faibles lames d'eau. Quelques rares zones profondes des sont susceptibles d'accueillir une Nupharaie.

Néanmoins, l'extension maximale de ces ceintures intéressantes est limitée à l'isobathe - 2m. Or, la courbe hypsométrique (cf.31-1) ne lui accorde guère que 2 ha, soit donc 13,3% de la surface totale, alors que dans de bons étangs de pêche ou lacs cynégétiques, la végétation peut atteindre 30 à 35% de la superficie.

Par ailleurs, au niveau de la végétation des rives proprement dites, on note le développement d'arbres et arbrisseaux bien adaptés au site : l'aune glutineux, l'orme champêtre et surtout une grande variété de saules et d'hybrides qui sont les essences de base des berges des eaux.

423 - Approche des invertébrés benthiques

L'étude des macro-invertébrés a été circonscrite aux abords du lac. Cinq points ont été choisis selon différents critères tels que le faciès, la situation géographique, le substrat, etc...

Deux prélèvements qualitatifs ont été effectués pour avoir une idée de la représentation des animaux en divers points du lac.

423-1 - Résultats :

On trouvera en fin de chapitre l'inventaire faunistique (fig.11). Il n'a pas été fait de distinction entre les points et les différentes tournées car la représentation en macro-invertébrés est très réduite et difficilement interprétable.

423-2 - Interprétation :

Certains groupes apportent quelques informations :

- Les Mollusques et Crustacés signalent l'importance du calcium (Ca > 25 mg/l, selon COUDREC 1970)
- Les Trichoptères phyto- et micro-phages, les limites de la nourriture.
- Les Diptères Chironomidae, une certaine charge organique, (de même que le Crustacé *Asellus aquaticus* ou les *Tubificidae*)
- L'importance des «racleurs de substrat» de différents groupes, etc.

EPHEMEROPTERES	Baetidae Caenidae	
TRICHOPTERES	Limnephilidae Hydroptilidae Leptoceridae Hydrophilidae	
DIPTERES	Chironomidae Tabanidae Hydrophilidae Stratiomyidae	
COLEOPTERES	Haliplidae Elmidae	<i>Elmis sp.</i>
HEMIPTERES		<i>Nepa rubra</i>
MOLLUSQUES		<i>Radix peregra</i> <i>Hydrobia ulvae</i> <i>Valvata piscinalis</i> <i>Galba trunculata</i> <i>Bithynia tentaculata</i>
CRUSTACES	Ostracodes Gammaridae Asellidae	<i>Gammarus pulex</i> <i>Asellus aquaticus</i>
HIRUDINEES		<i>Helobdella stagnalis</i> <i>Piscicola geometra</i> <i>Erpobdella sp.</i> <i>Glossiphonia complanata</i>
PLANAIRES		<i>Dugesia lugubris</i> <i>Dendrocoelum lacteum</i> <i>Polycelis nigra</i>
OLIGOCHETES	Tubificidae	<i>Tubifex sp.</i>

N.B. Des images d'Odonates ont été observées (sans qu'ait été rencontré ce groupe au niveau larvaire dans les prélèvements) ainsi que des Mannes non déterminées.

mais la définition d'une qualité de milieu par l'examen d'unités systématiques est difficile. En se référant aux organismes dits indicateurs de la «Méthode des Saprobies» (TUFFERY, 1976), on y trouve des animaux saprophiles des biocénoses α et β mésosaprobies. Mais cette méthode reste floue.

D'une façon générale, il apparaît que la variété des échantillons est très faible et, sauf exception, chaque espèce est peu représentée.

On en déduit donc, mais de façon quasi-intuitive, qu'il y a une faiblesse de l'écosystème au niveau des consommateurs primaires et secondaires, alors que la productivité primaire (cf. l'étude du plancton) est très importante.

Cette «carence» peut être due à certains facteurs tels que l'agitation de l'eau, l'absence de substrat végétal, la teneur en chlorure, la présence de Cyanophycées exocrines, etc, ou encore à la convergence de ces causes.

Toujours est-il que ce faible développement des invertébrés benthiques peut avoir des répercussions sur le reste du système.



424 - Approche ichtyologique

La population en poissons du lac est, en grande partie, artificielle. En 1969-1970, lors d'une pollution «accidentelle» du canal de Bourbourg par l'usine Lesieur, qui risquait d'entraîner une forte mortalité piscicole, une «pêche de sauvetage» a été entreprise afin de récupérer une partie du cheptel aquatique (des Cyprinidés, essentiellement Gardons, Carpes et Tanches et sans doute quelques Brêmes), pêche qui a été transportée dans des cuves jusqu'au lac d'Armbouts-Cappel où les poissons ont été déversés, constituant ainsi une source majeure du peuplement. La qualité de ce premier apport est douteux, tant en qualité qu'en répartition des espèces.

Par ailleurs, il ne faut pas négliger le rôle des oiseaux. Ils interviennent fréquemment dans le peuplement de réseaux vierges en s'y posant et en y introduisant des oeufs de cyprinidés, d'ésocidés ou de percidés accolés à leurs pattes (ARRIGNON, 1976) c'est le phénomène de la Zoo-phorèse.

Au niveau du peuplement naturel, la colonisation directe par l'anguille est classique. La Fédération Départementale de pêche et de pisciculture a, par la suite, procédé à une série d'empoissonnements depuis 1971, régulièrement depuis 1975. Ceux-ci se font en Décembre avec des poissons de deux étés.

Outre les espèces déjà nommées, ont aussi été introduits les Perches et les Brochets.

FIG N° 12 - TABLEAU DES EMPOISSONNEMENTS CONNUS (en kg)

	1971	1972	1975-76 -	1977
Gardon	200	1 500	600	
Carpe	50	600	300	
Tanche	50	600	300	
Brême	25			
Ablette	25			100
Goujon	5			
Perche		200		
Brochet		500	625	

La pêche aux carnassiers ne fut officiellement autorisée qu'à partir du 1er Janvier 1975. La Fédération a, par ailleurs, contribué aux travaux du «parcours de pêche» de la rive Est avec le Conseil Supérieur de la pêche.

Pêche au lancer léger et pêche au coup se pratiquent exclusivement de la berge, la pêche en barque n'étant pas autorisée. Comme la Fédération Départementale ne possède pas de bilan statistique des pêches dans le lac, il n'est pas possible, faute d'une campagne systématique (par pêche électrique, par ex. si la conductivité n'est pas trop forte (LEYNAUD, 1971b) de connaître la liste de toutes les espèces existantes ni surtout leur biomasse respective.

Comment a pu évoluer ce peuplement ?

Y-a-t-il reproduction sur place ? Il est difficile de le préciser, sauf pour les quelques bancs d'alevins de Perches qui y ont été observés.

On peut cependant noter dans ces empoissonnements une surabondance du Brochet, consommateur tertiaire voire quaternaire par rapport au niveau C_1 et C_2 (Invertébrés et poissons «fourrage» - Vairon, Ablette, Goujon). Il ne semble pas que les proportions des différents niveaux trophiques aient été respectées pour permettre l'équilibre de la chaîne alimentaire. Respectent-ils la disproportion de l'effort de pêche ? Cela n'est pas certain, car les pêcheurs locaux sont, dans leur grande majorité, peu coutumiers de la pêche aux carnassiers, très rares dans ce secteur piscicole. (HOESTLANDT, 1964).

D'autre part, les capacités du lac n'ont apparemment pas été prises en compte : faiblesse de la végétation, zones d'abris, zones d'affût pour les «chasseurs» ou de nourrissage pour les «chasseurs» ou de nourrissage pour les autres, absences de secteurs de reproduction, manque de disponibilité des proies, etc...

Aucune diagnose écologique, base de tout aménagement rationnel des pêches, n'a été effectuée pour une gestion saine du milieu (VIBERT et LAGLER, 1961).

Compte tenu du site, il apparaît que certaines espèces ont été «oubliées» alors que le milieu était susceptible de les accueillir. C'est le cas de la Vandoise, peu exigeante en matière de végétation, comme aussi de l'Ablette qui a été abandonnée dès 1972.

Par contre, d'autres espèces ne sont manifestement pas adaptées à la nature actuelle de ce lac : Bouvière, Rotengle mais aussi Carpe, Tanche et sans doute Goujon, qui y ont pourtant été introduits.

De même, le choix entre Brochet et Sandre pouvait se poser, d'autant que le lac n'offre pas les eaux calmes nécessaires au bon développement des nénéphars qui permettent la croissance des brochetons au stade «couteau».

En définitive, si le lac s'avère peuplé, c'est essentiellement, comme on le fait pour toute la région où la population piscicole n'est nulle part naturelle, grâce à des apports répétés de poissons depuis sa création, peuplement déséquilibré, inadapté, et sans dynamisme propre, qui semble plus offrir le «couvert» aux oiseaux de passage que de joies halieutiques aux «porteurs de gaules».

FIG N° 13 - LISTE DES ESPECES PROBABLEMENT PRESENTES

CYPRINIDAE :	<i>Alburnus alburnus</i>	(Brème)
	<i>Alburnus alburnus</i>	(Ablette)
	<i>Cyprinus carpio</i>	(Carpe)
	<i>Gobio gobio</i>	(Goujon)
	<i>Rutilus rutilus</i>	(Gardon)
	<i>Tinca tinca</i>	(Tanche)
APODES :	<i>Anguilla anguilla</i>	(Anguille)
ESOCIADE :	<i>Esox lucius</i>	(Brochet)
PERCIADE :	<i>Perca fluviatilis</i>	(Perche)

42-5 - Approche de l'avifaune

Depuis sa création, le lac connaît une importante fréquentation d'oiseaux divers (VERMERSCH, 1973), en général de Septembre à Avril, et constitue ainsi une étape de migration et d'hivernage pour ces populations.

Cependant, la faible végétation des rives (en raison de la jeunesse du site mais aussi de la faible proportion de hauts-fonds et certains facteurs défavorables comme le vent), voire l'artificialisation de certains secteurs, tel le parcours de pêche et les protections de berges,

ne permettent pas la nidification de certaines espèces qui pourraient potentiellement se reproduire dans notre région, comme les Sarcelles d'hiver (1) ou peut être comme le Morillon dont l'aire de reproduction semble s'étendre peu à peu vers l'Est (KERAUTRET, 1973).

425-1 - Données spécifiques :

La majorité du peuplement du lac est constituée de Palmipèdes avec une présence significative de Limicoles. Les Mouettes (Laridae) sont des autochtones qui trouvent dans le lac un «relais campagnard» par rapport au littoral. On observe que peu de grands échassiers.

Du point de vue ornithologique, ce lac peut être considéré comme le plan d'eau de la région Nord - Pas-de-Calais qui présente la plus forte fréquentation en Morillons.

Des observations et comptages effectués régulièrement depuis 1968 par M. VERMERSCH et l'équipe locale du Groupe Ornithologique Nord (G.O.N.) sur les trois espèces dominantes (Morillon *Aythya fuligula*, Milouin *Aythya ferina* et surtout Foulque *Fulica atra*) on peut constater une évolution dans le temps de ce peuplement (cf. fig.14).

C'est ainsi que les Foulques, très importants au début de la vie du lac (jusqu'à 1150 individus présents simultanément) ont vu leur nombre diminuer d'année en année pour se stabiliser autour de 200 individus en pointe. On ne peut expliquer ce phénomène par des conditions météorologiques. Il n'est pas possible de faire apparaître une corrélation significative entre l'importance des populations et le climat : la surabondance des Foulques de 1968 à 1970 ne correspond pas à une période de froid exceptionnelle. Plus vraisemblablement s'agit-il d'un processus de colonisation qui a abouti en quatre ou cinq ans à un relatif équilibre entre ces oiseaux qui sont, notamment pour les Foulques et les Milouins, en concurrence interspécifique pour les zones de nourrissage (zone des associations végétales flottantes).

Par contre, les Morillons (canards plongeurs comme d'ailleurs les Milouins) trouvent dans ce lac un caractère très rare pour la région qui est la profondeur. Celle-ci, rappelons-le, atteint 9m.

Elle leur permet donc de se nourrir selon leur mode bien particulier.

L'examen de la liste des espèces observées montre la grande variété et la richesse faunistique que manifeste ce site malgré certains aspects peu favorables.

Si l'on excepte le Colvert, plus ou moins domestiqué, qui est introduit occasionnellement par les chasseurs de gibier d'eau et dont ne subsiste sur cette réserve cynégétique d'une quinzaine d'individus sur les quelques 200 canards lâchés, on dénombre ainsi 54 espèces.

425-2 - Interprétation :

Le résultat du dénombrement sur le lac est honorable mais il est encore loin des 270 espèces observables au Zwin, dont 158 nicheuses.

Pour les raisons évoquées précédemment, aucune espèce n'est nicheuse à Armbouts-Cappel. Or, cette fonction de reproduction, qui lie étroitement l'animal à son habitat, est celle qui permet valablement de rechercher une analyse écologique du site par sa diversité avienne, les migrateurs et hivernants ne faisant que partiellement partie des biocoenoses aquatiques. (BLONDEL, 1971).

On peut cependant, avec J. GODIN, 1974, répartir les populations observées selon l'espace et le temps :

- a) en eau libre : . oiseaux plongeurs (Grèbes, Milouins)
- . canards barboteux (Colvert, Souchet, Sarcelle d'été)
- . Anatidés en migration

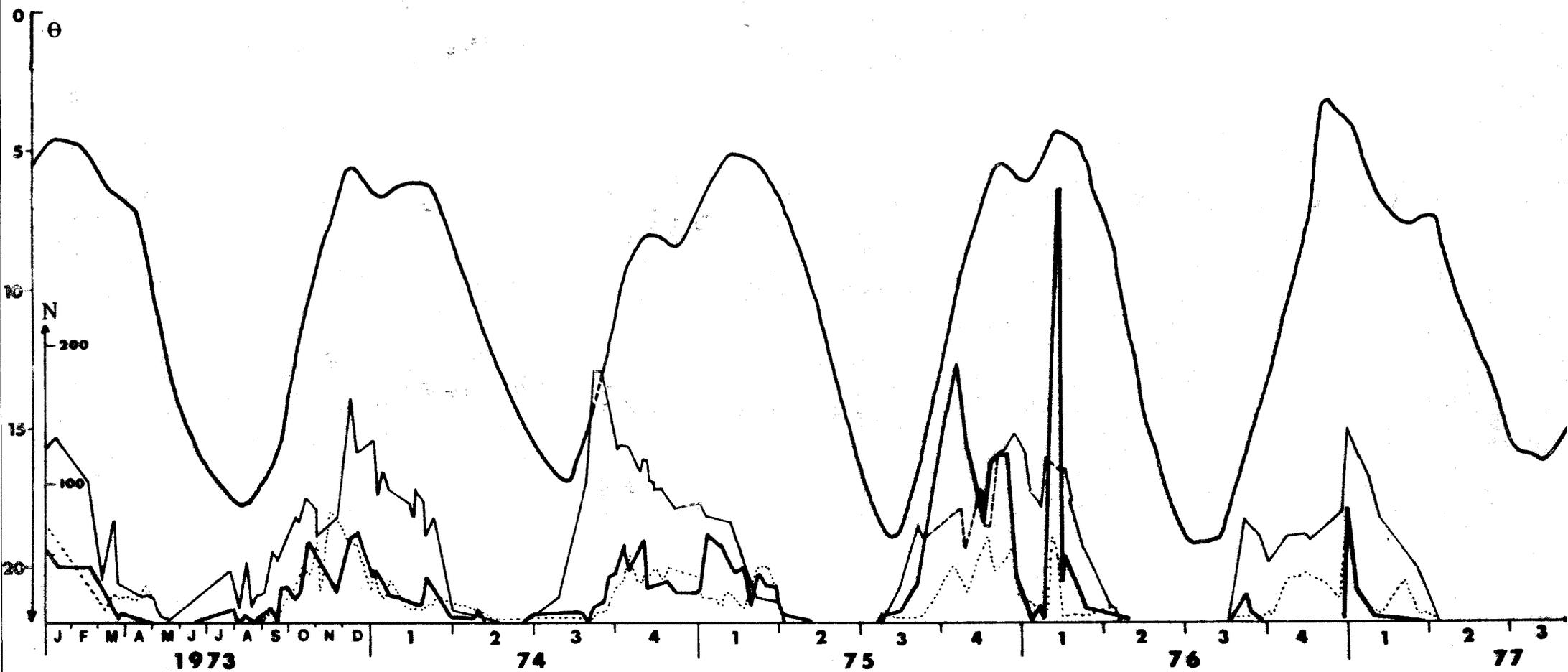
La grande profondeur de l'eau est un facteur déterminant pour le Grèbe huppé, moins pour le Castagneux, très peu pour le Foulque qui exploite les herbiers, voire les berges.

(1) Un site de nidification de la Sarcelle, mais aussi du Vanneau et du Colvert, a disparu vers 1972 par l'assèchement de la prairie inondée à l'Est du Jardin de Coudekerque.



FIG. N° 14 - RECENSEMENT D'OISEAUX SUR LE LAC D'ARMBOUTS-CAPPEL -
(d'après G.O.N.) pour le Bureau International de la Recherche sur la Sauvagine - B.I.R.S.

- . Foulque macroule
- . Fuligule milouin
- - - . Fuligule morillon
- θ . Température moyenne mensuelle
- N . Nombre d'individus



Ceci implique une stratification dans la recherche de la nourriture.

Le tableau ci-après (fig.15) résume ces observations. Il montre que toutes les ressources alimentaires sont exploitées par l'avifaune depuis la surface jusqu'au fond du lac.

FIG. N° 15 - EXPLOITATION DE L'EAU LIBRE PAR L'AVIFAUNE

EAU	TYPE	REGIME	ESPECE
Eau profonde	plongeurs barboteurs	piscivore omnivore herbivore	grèbe huppé fuligule milouin cygne tuberculé
Eau peu profonde	plongeur barboteur	insectivore omnivore	Grèbe castagneux Canard colvert
Eau de surface	filtrant	planctonivore	Canard souchet

b) en roselières : ce serait le domaine des petits passereaux paludicoles ou «sylvidés aquatiques» si elles étaient plus importantes.

c) en vasières et
gravières : . Petit Gravelot, bécasseaux
. Echassiers et Limicoles

Ce sont ici les facteurs édaphiques qui imposent la présence et la répartition des oiseaux : A la limite terre-eau, le Chevalier guignette ; dans la vase, la Bécassine ; en eau «profonde», le Chevalier gambette. La taille des pattes des échassiers les «adapte» à des profondeurs différentes.

Quant à la surface de l'eau, elle est exploitée par l'Avocette qui fauche la pellicule d'eau de son bec retroussé. Aucun des oiseaux de vasières n'exploite le même volume ou, sinon, ils ne le font pas de la même façon et n'ingèrent pas le même type de proies.

Les autres espèces ne sont pas strictement inféodées au lac. Ainsi en est-il du Héron cendré (*Ardea cinerea*) (GODIN, 1975) : Dans le Nord - Pas-de-Calais, il ne subsiste qu'une seule héronnière importante, celle de Clairmarais.

Le régime alimentaire des Hérons de Clairmarais se compose de poissons, bien sûr, dont *Tinca tinca*, d'oiseaux, mais surtout de mammifères divers, dont la taupe et la campagnol. Au niveau des invertébrés, J. GODIN a surtout relevé les Dytiques, Notonectes et Naucoris, vivant en surface ou à proximité de celle-ci.

Globalement, la consommation de poissons est négligeable et le Héron est davantage un prédateur de micromammifères. Néanmoins, sa présence aux abords du lac laisse présager une bonne valeur productive du site en général mais sans que l'on puisse préciser le ou les niveaux effectifs.

De même, la présence quasi-permanente de Mouettes et Goélands, en particulier *Larus argentatus* (le Goéland argenté), *L. marinus* et *L. fuscus* (le grand Goéland brun), leur donne un rôle non négligeable sur l'écosystème notamment par la prédation qu'ils effectuent sur les différents niveaux trophiques. Il n'est pas jusqu'à la Sarcelle d'Hiver *Anas crecca* qui ne fasse l'objet d'une pression de la part du Goéland argenté, au même titre d'ailleurs que le Colvert ou le Pilet. (TAMISIER, 1970).

Il apparait donc que, malgré ses petites dimensions, le lac se présente à la faune avienne comme un site d'ores et déjà favorable et relativement varié. Les oiseaux peuvent y manifester

ter une large gamme de comportements, d'autant que la diversité des espèces favorise les relations interspécifiques.

Il n'est cependant pas très peuplé, si l'on excepte la situation privilégiée des Morillons, en regard d'autres sites d'hivernage d'Anatidae. A part les foulques, les oiseaux ne manifestent pas ou peu de comportement de groupe et, en conséquence, les relations intraspécifiques sont réduites. Ceci vient en partie à l'absence de possibilités de nidification et donc de compétition de nature sexuelle.

L'année ornithologique est presque comparable -pour les espèces communes du moins- avec celle du Zwin : elle s'étend actuellement (et faute de nidification) de Septembre à Avril.

Pour conclure ce chapitre, nous disons, en paraphrasant BLONDEL, FERRY et FROCHOT (1973) que la *variété* du peuplement dépend du nombre de biotopes différents dont la mosaïque constitue l'écosystème, mais que sa *densité* est liée au volume global disponible sans toutefois lui être proportionnelle.

Quant à la *diversité*, c'est-à-dire le degré d'hétérogénéité du peuplement, elle dépend du nombre d'espèces et de la densité relative de chacune, informations que seul le suivi méthodique entrepris par le GON pourra nous donner.

Signalons cependant que, pour la période 1968-1972, la diversité avienne (D.A.) estimée était de 1,18.

Cette valeur situerait le peuplement au niveau de la garrigue à Chêne kermes (Cocciferaie de Provence - brousse de strate basse inférieure à 1 m). Mais comme la D.A. ne doit prendre en compte que les espèces nicheuses, la valeur stricte est nulle.

FIG. N° 16 - LISTE DES ESPECES OBSERVEES PAR LE G.O.N. de 1968 à 1978 -

- PLONGEONS (*Gaviidae*)** : Plongeon - *Gavia sp.*
- GREBES (*Podicipedidae*)** : Grèbe huppé - *Podiceps cristatus*
 Grèbe jongris - *Podiceps griseigena*
 Grèbe esclavon - *Podiceps auritus*
 Grèbe à cou noir - *Podiceps nigricollis*
 Grèbe castagneux - *Podiceps ruficollis*
- HERONS (*Ardeidae*)** : Héron cendré - *Ardea cinerea*
- ANATIDAE** : Cygne tuberculé - *Cygnus olor*
 Cygne de Bewick - *Cygnus bewickii*
 Bernache nonette - *Branta leucopsis*
 Tadorne de Belon - *Tadorna tadorna*
 Canard Colvert - *Anas platyrhynchos*
 Sarcelle d'hiver - *Anas crecca*
 Sarcelle d'été - *Anas querquedula*
 Canard chipeau - *Anas strepera*
 Canard siffleur - *Anas penelope*
 Canard pilet - *Anas acuta*
 Canard souchet - *Anas clypeata*
 Nette rousse - *Netta rufina*
 Fuligule milouin - *Aythya ferina*
 Fuligule milouinan - *Aythya marila*
 Fuligule morillon - *Aythya fuligula*
 Harelde de Miquelon - *Clangula hyemalis*
 Garrot à oeil d'or - *Bucephala clangula*
 Harle piette - *Mergus albellus*
 Harle bièvre - *Mergus merganser*
 Harle huppé - *Mergus serrator*

FAUCONS (<i>Falconidae</i>)	: Faucon émerillon - <i>Falco columbarius</i>
RALLIDAE	: Foulque macroule - <i>Fulica atra</i>
PLUVIERS (<i>Charadriidae</i>)	: Grand Gravelot - <i>Charadrius hiaticula</i> Petit Gravelot - <i>Charadrius dubius</i> Tourneepierre - <i>Arreneria interpres</i>
SCOLOPACIDAE	: Becassine des Marais - <i>Gallinago gallinago</i> Courlis cendré - <i>Numenius arquata</i> Chevalier gambette - <i>Tringa totanus</i> Chevalier guignette - <i>Tringa hypoleucos</i> Bécasseau Maubêche - <i>Calidris canutus</i> Bécasseau minute - <i>Calidris minuta</i> Bécasseau variable - <i>Calidris alpina</i> Bécasseau sanderling - <i>Calidris alba</i> Chevalier combattant - <i>Philomachus pugnax</i>
RECURVIROSTRIDAE	: Avocette - <i>Recurvirostra avosetta</i>
LARIDAE	: Goéland marin - <i>Larus marinus</i> Goéland brun - <i>Larus fuscus</i> Goéland argenté - <i>Larus argentatus</i> Goéland cendré - <i>Larus canus</i> Mouette rieuse - <i>Larus ridibundus</i> Mouette pygmée - <i>Larus minutus</i> Mouette tridactyle - <i>Rissa tridactyla</i> Guifette noire - <i>Chlidonias niger</i> Sterne - <i>Sterna sp.</i>
COUCOUS (<i>Cuculidae</i>)	: Coucou gris - <i>Cuculus canorus</i>
ALCEDINIDAE	: Martin pêcheur - <i>Alcedo atthis</i>
MUSCICAPIDAE	: Merle à plastron - <i>Turdus torquatus</i>

42-6 - Données humaines et éthologiques

Le lac a connu dès la fin de sa création, une utilisation par l'Homme à des fins de loisirs, en particulier pêche et détente.

Durant toute l'année, le lac connaît une fréquentation de promenade et de footing ainsi que celle d'observateurs animaliers. Mais, dès les beaux jours, il se voit converti spontanément en station balnéaire par des centaines d'estivants, attirés par une eau douce, de qualité et facile d'accès, ceci bien que camping et baignade soient interdits.

Mais le défaut total d'équipement et de surveillance le rend dangereux, et il y a déjà eu mort par noyade.

La population qui utilise ce site est essentiellement d'origine locale et même on peut considérer qu'elle provient de façon majoritaire de l'Ouest de l'agglomération.

L'observation sur le terrain en période estivale montre la présence d'un public populaire, fortement motorisé, en famille nombreuse (trois enfants et plus) et souvent « polynucléaire », c'est-à-dire regroupant plusieurs foyers, apparentés ou non, sur un emplacement. Seuls quelques pêcheurs sont solitaires.

Ceci est à rapprocher des caractéristiques sociologiques de la population occidentale du littoral, dont le centre démographique est, sans conteste, l'ensemble urbain des Nouvelles-Synthes, zone d'habitat directement lié au plan d'eau d'Armbouts-Cappel.

Les groupes polynucléaires se positionnent sur le site actuel de façon à occuper le centre

d'un territoire polygonal d'environ 5 à 10 m de diamètre selon leur taille et l'espace disponible. Ce centre est constitué du véhicule (voiture, caravane ou tente, camping-car) et du matériel de plain air (table, pliants, etc...). L'espace externe est livré aux enfants et à de nombreux accessoires encombrants (bateaux, barbecues, etc...).

Outre les pique-niques, les activités pratiquées sont peu variées : boules, jeux de ballons, repos-bronzage, baignade.

Notons que beaucoup de ces activités sont (théoriquement) interdites...

A l'exception des pêcheurs sur le parcours de pêche, le public s'installe en fonction de deux critères dominants : l'espace et l'accessibilité automobile. On ne peut retenir le bruit (ou la proximité de la voie rapide) comme facteur dissuasif.

Afin d'apprécier, quantitativement cette fois, la fréquentation du site, un comptage automatique des véhicules (deux sens confondus) a été réalisé à l'accès sur le C.D. 52 par le C.E.T.E. Nord à la demande de l'AGUR, du 14 Juillet au 28 Août 1978. L'indice estival de Bumet sur cette période fut de 5,24 (moyenne habituelle 7,76).

Le total absolu est de 10051 mouvements soit plus de 5000 véhicules. La norme habituelle est de 3,5 personnes par voiture, ce qui nous amène à une fréquentation moyenne journalière d'environ 380 personnes (110 véhicules).

En fait, l'observation directe montre que ce remplissage diffère selon le jour de la semaine et même selon la demi-journée. Aussi, les valeurs de fréquentation ne sont-elles données qu'à titre approximatif.

La fréquentation de jours «fériés» représente 31,3% de l'usage et, si l'on considère les week-end (ou les fêtes avec leur veille) nous arrivons à 47,6%.

La courbe générale des mouvements est dissymétrique, avec un «flot» irrégulier de 5h à 17h environ, et un «jusant» de 17h à 24h. Une fréquentation nocturne (jusque 3h) est aussi mise en évidence, les soirs du week-end. Les modes quotidiens et dominicaux sont comparables, malgré certains pics. Un plateau très net est visible entre 11 et 15h.

La médiane se situe aux alentours de 15h30 (Fig. n° 17).

La pointe maximale fut celle du 20 Août 1978, avec 935 visiteurs, la moyenne dominicale étant de 610 personnes, soit une fréquentation instantanée de pointe estimée à 560 personnes. Le long week-end du 15 Août a amené sur 4 jours 2030 visiteurs.

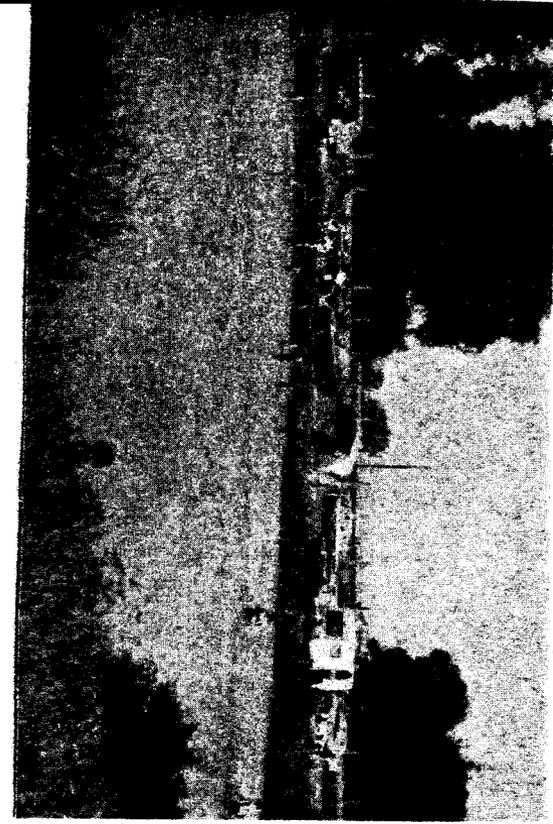
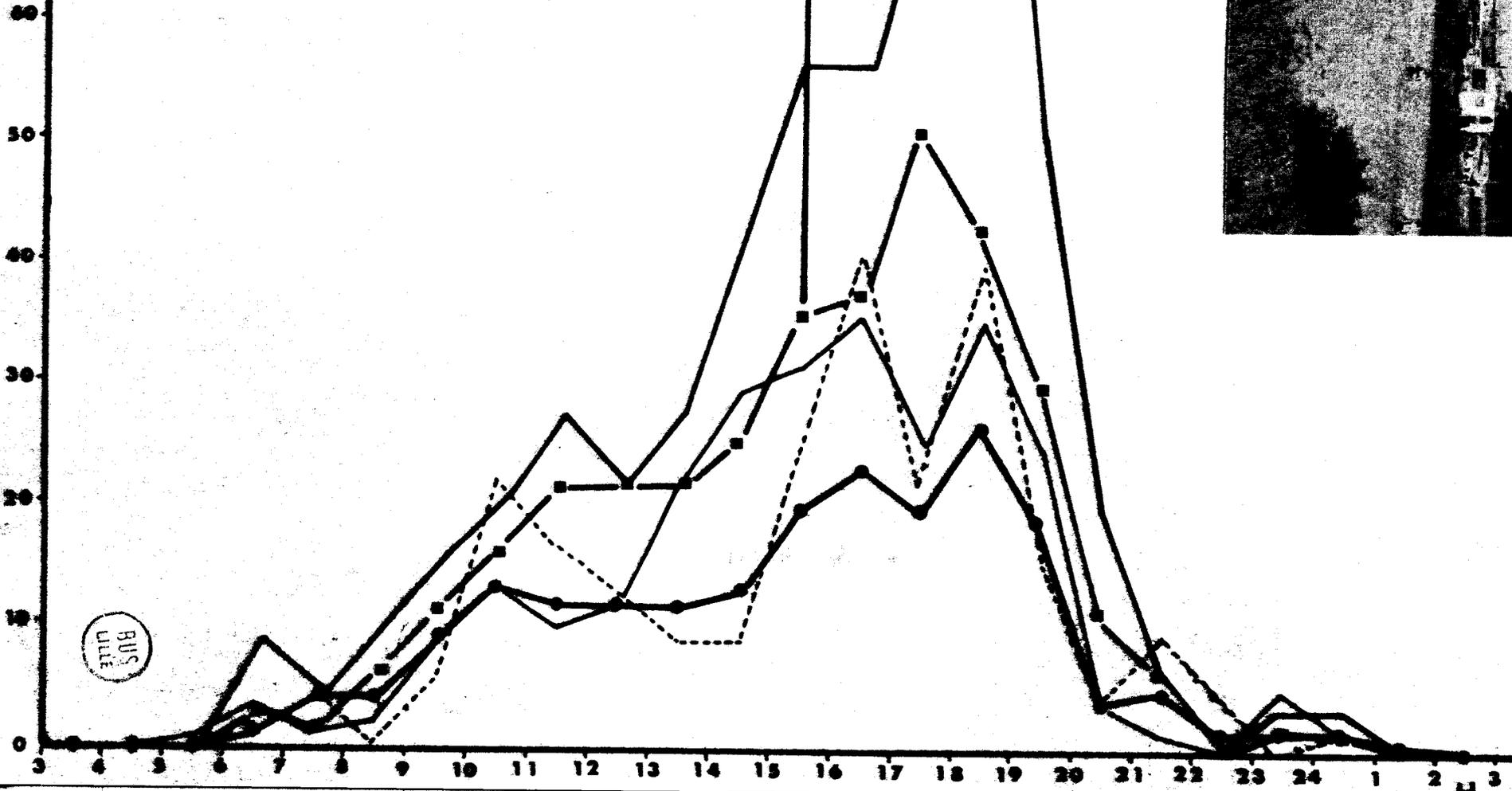
« En inversant la relation classique (Espace vierge - Classes dominantes - Isolement), les populations ouvrières s'approprient un espace, en jouissent et acquièrent ainsi un privilège que les classes aisées s'interdisent de rechercher sur ce site...» (KALAORA, 1977). Le modèle de nature n'est pas pour elles de type élitiste mais conventionnel, et leur relation n'est pas «essentielle» mais instrumentale.

D'une façon générale, les études montrent que, -si il y a recherche de contact avec les éléments naturels, et particulièrement l'eau-, cette nature n'est pas quelconque : la nature «sauvage» est moins souhaitée (car anxiogène) qu'un coin de nature «apprivoisée» où l'on peut goûter le calme sans être totalement coupé du reste des hommes. Une étude sémantique de de l'image de la campagne réalisée par PALMER et coll. (1977) confirme que celle-ci peut s'exprimer selon des critères simples d'environnement et de plaisir pour la récréation. Les variations de ces critères couvrent tous le champ des sites campagnards recherchés, depuis l'espace très aménagé jusqu'aux domaines plus sauvages ou particulièrement esthétiques.

Le lac pourrait, quant à lui, se situer en position intermédiaire, avec de nombreux attraits pour le loisir (espace, eau, accessibilité) au point de jonction du traditionnel (la ferme) et du moderne (l'autoroute).

FIG N° 17 - EVOLUTION CIRCADIENNE DE LA FREQUENTATION HUMAINE ESTIVALE -

moyenne des dimanches et fêtes \bar{D}
 variation maximale sur la période D 20-8
 moyenne des jours de semaine \bar{S}
 exemple d'évolution normale 19-8
 exemple d'évolution complexe 29-7
 M⁺ médiane des mouvements



V - PHASE SYNTHETIQUE -

Les analyses et observations exposées dans les chapitres précédents vous permettent d'apprécier les différents intervenants (populations animales et végétales) de la biocoenose (a) du lac, c'est-à-dire, pour reprendre la définition de R. DAJOZ (1971), le «groupement d'êtres vivants rassemblés par l'attraction non réciproque qu'exercent sur eux les divers facteurs du milieu». Ces derniers ont aussi été succinctement analysés dans l'étude du biotope (b).

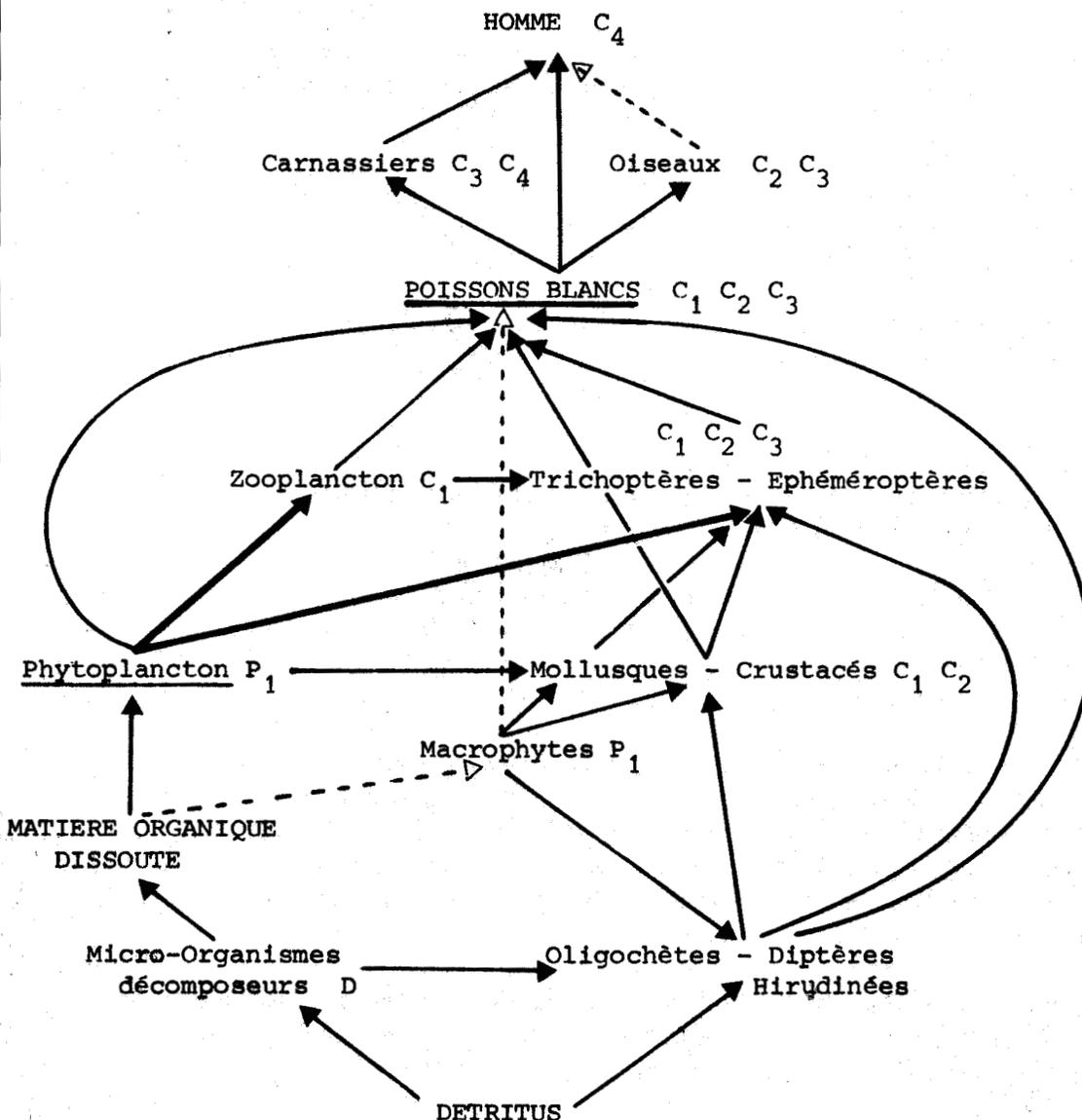
Avec ces deux éléments (a,b), il nous est possible d'esquisser le fonctionnement de l'écosystème que constitue notre lac.

5-1 : Synécologie fonctionnelle

Une première étape consiste à bâtir le réseau alimentaire du lac, c'est-à-dire les suites d'êtres vivants qui se nourrissent les uns les autres en fonction du niveau trophique des espèces.

Ce réseau est schématisé par le diagramme des relations ci-après :

Fig. 18 - SCHEMA GENERAL DU RESEAU TROPHIQUE



On peut ainsi constater, par ce schéma qualitatif, que l'ensemble de l'édifice trophique du lac passe par le niveau très important des Producteurs primaires que constitue le phyto-plancton pour aboutir aux consommateurs de fin de chaîne que sont les poissons (accessoirement les oiseaux et l'homme). Encore ce diagramme néglige-t-il le fait que beaucoup d'espèces sont polyphages et changent de régime au cours de leur croissance.

Si l'on tente d'apprécier ce réseau en terme de quantité de matière vivante ou biomasse, on constate que l'équilibre nécessaire entre les différents étages trophiques n'est pas respecté. Dans un réseau «normal», la répartition des biomasses par niveau se présente sous la forme d'une pyramide, les échelons supérieurs demandant -compte tenu des pertes de rentabilité- à se développer sur des biomasses plus importantes aux échelons inférieurs.

Or, dans notre lac, cette pyramide semble comme tronquée au niveau des C1 - C2, c'est-à-dire consommateurs de premier et deuxième rangs. La productivité primaire du lac (c'est-à-dire les végétaux) peut être considérée comme importante surtout au niveau du phyto-plancton (bien que l'agitation de l'eau soit un facteur négatif (FONTVIEILLE - 1975).

Par contre, le milieu ne peut pas héberger actuellement suffisamment de consommateurs que sont les invertébrés benthiques.

«Cette «carence» peut être due à certains facteurs tels que l'agitation de l'eau, l'absence du substrat végétal, la teneur en chlorure, la présence de Cyanophycées exocrines, etc, ou encore à la convergence de ces causes» disions-nous au 423.

En conséquence, le lac ne devrait pas contenir beaucoup de poissons et, en particulier peu de ces carnivores (C₃) qui se nourrissent de larves d'insectes ou de mollusques et encore moins de carnassiers (C₄) se nourrissant de ceux-là, comme le Brochet, par exemple.

C'est pourtant l'impression qui se dégage du IV d'autant que l'essentiel de la modeste prédation majeure vient des oiseaux qui puisent dans ce stock C₂ - C₃ et guère sur les carnassiers.

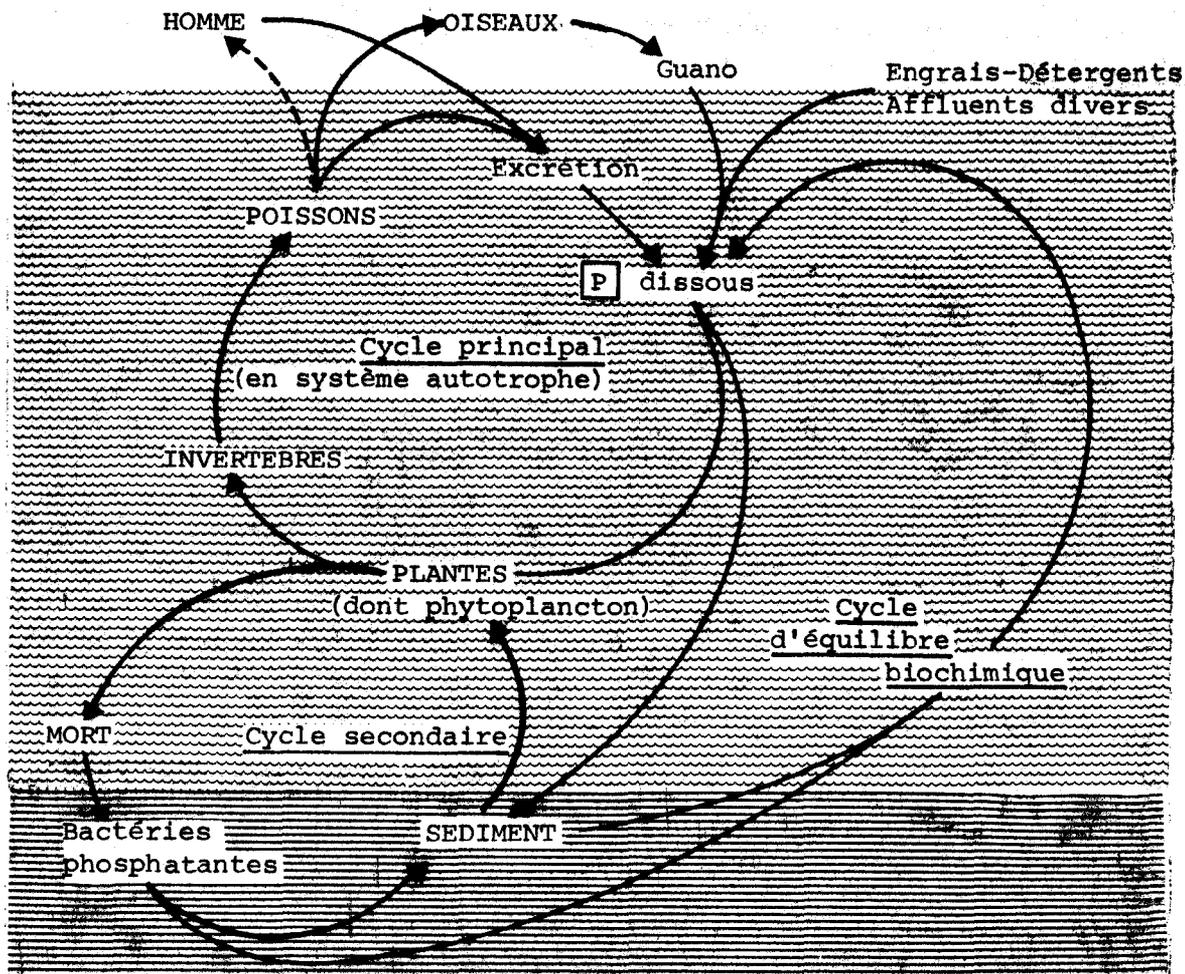
Par ailleurs, l'effort de pêche sur le site est actuellement encore insuffisant pour redresser le déséquilibre et même tend à l'accentuer par des empoisonnements répétés et inadaptés qui empêchent le jeu de la sélection naturelle.

Il découle de ceci qu'une grande partie de la production est perdue pour les niveaux trophiques supérieurs de l'écosystème. La quasi-totalité du phyto -et du zoo- plancton meurt sans avoir été consommée et ce, d'autant plus que ces niveaux ont des durées de vie très brèves et des successions très rapides.

Ceci apparait très clairement sur le cycle biogéochimique du phosphore : Fig.19
Les transports et transferts de matières dans un écosystème se font par des circuits dans lesquels les divers éléments sont constamment recyclés, par opposition à l'énergie qui y est finalement dégradée et perdue. Parmi les éléments indispensables à la vie (carbone, azote, oxygène, etc...), nous nous intéressons particulièrement au phosphore dont l'importance est apparue au cours des chapitres précédents.

En effet, le phosphore est un élément très important dans la vie des eaux .(cf. Fig.n°19) (VOLLENWEIDER 1971). Il existe sous forme organique, à l'intérieur des organismes aquatiques et, après la mort de ceux-ci, il est minéralisé par les bactéries.

Fig. 19 - PORTION DU CYCLE DU PHOSPHORE CONCERNANT LE LAC D'ARMOUITS-CAPPEL -



Les sels de l'acide phosphorique jouent un rôle important dans la production primaire ; une fois assimilés, ils participent activement à la constitution de molécules organiques dont la liaison phosphate est fragile et susceptible de fournir par hydrolyse de l'énergie. Associé à l'adénine et au ribose (constituants de l'acide adénylique) l'acide phosphorique contribue à la formation de l'adénosine triphosphate (ATP) et de ses dérivés, adénosines diphosphate (ADP) et monophosphate (AP) pivots du métabolisme végétal (DUSSART, 1978).

Le phosphore introduit dans l'eau tombe rapidement sur le fond et est ingéré et concentré par les larves de chironomes, les mollusques, les crustacés et les poissons. Les algues et le phytoplancton sont capables de l'extraire de l'eau, même quand il n'y en a que très peu. Les algues et micro-organismes du plancton et du benthos ont un rôle dans la productivité en tant que nourriture, les plantes supérieures ont également un rôle certain dans la productivité des eaux par le fait essentiel qu'elles constituent des abris pour la faune aquatique. Le développement d'algues est souvent important. Cependant, toutes les algues n'ont pas les mêmes besoins ; certaines, par exemple, sont très sensibles à de fortes teneurs du milieu en phosphore.

Asterionella formosa voit sa croissance arrêtée dès que le taux de phosphore dépasse 50 mg./m³. *Anabaena flos aquae* apparaît dès que la teneur en phosphore atteint une certaine valeur maximum (dans certains cas, les plus fortes poussées de cette Cyanophycée ont eu lieu pour des concentrations en phosphore de l'ordre de 15 à 30 mg./cm³).

Scenedesmus quadricauda qui n'a besoin pour vivre que de 10 à 40 mg./m³ de phosphore, sous forme de phosphates, ne se développe bien qu'à condition d'avoir à sa disposition jusqu'à 1000 mg./m³ de phosphore (VOLLENWEIDER, 1971).

Les accroissements considérables d'algues qui ont été observés à ARMBOUTS-CAPPEL ne sont pas «bénéfiques» au milieu aquatique et ne contribuent pas à élever la productivité globale.

Quelques rares composants importants de cette biomasse nutritive, bien qu'étant une excellente nourriture, ne peuvent être utilisés par les filtreurs (invertébrés, poissons...) telles les formes filamenteuses, longues et rigides (Cyanophycées...). De plus, de par leur nature (parois mucilagineuses) et leur produit d'excrétion (ectocrines) de nombreuses algues filamenteuses Cyanophycées telle que *Aphanizomenon gracile*, sont nuisibles, voire toxiques pour de nombreux organismes aquatiques tels les Cladocères, les larves de Chironomides, de Trichoptères, etc...

A la mort de ces algues il va y avoir, d'une part remise en circulation des éléments nutritifs assimilés par les algues et d'autre part excès de matière organique qui, par décomposition et putréfaction vont contribuer à charger l'eau. La libération d'éléments nutritifs apporte des phosphates organiques qui vont être minéralisés par les bactéries phosphatantes au niveau du sédiment. Ces bactéries consomment de grandes quantités d'oxygène et appauvrissent le milieu, ce qui provoque les réactions que nous avons vues précédemment (cf. IV 12 Absence d'oxygène dans l'eau interstitielle de la vase).

Ainsi que le rapporte DUSSART, (1966) il a pu être montré, en utilisant du phosphore marqué ³²P, que les sédiments jouaient le rôle d'échangeur de phosphore et pouvaient servir de réservoir de phosphates assimilables. On en conclut que l'absence de phosphore soluble dissous dans l'eau n'a de signification que dans la mesure où le phosphore ne se trouve pas sous forme momentanément bloquée dans les fonds. Or, les analyses de la vase montrent précisément ce «blocage».

En fonction des cycles saisonniers (et même journaliers) de la végétation -plus particulièrement planctonique- ce phosphore sera stocké puis relargué dans le milieu, utilisé au travers d'une succession de poussées alguales, voire, dans certaines conditions, de fleurs d'eau (water-blooms). Celles-là n'étant que partiellement utilisées, le phosphore retournera en phase solubilisée ou dans le sédiment jusqu'à la reprise suivante. «La mort, véritable clef de voûte de l'existence et de l'évolution de l'écosystème...» disaient à juste titre VIBERT et LAGLER (1961).

On constate donc que, dans le cas particulier du lac d'Armbouts-Cappel, le cycle le plus important est le cycle habituellement secondaire des systèmes autotrophes (cf. fig. 19) c'est-à-dire que le P. est essentiellement prisonnier de l'alternance Vase-Eau-Plancton-Vase. Le cycle (normalement) principal est réduit à une faible production secondaire en invertébrés et poissons. En négligeant les sorties très minimes par l'homme (que compensent les réintroductions de P. par l'excrétion des «estivants» - Cf. 426 - sur un site dépourvu d'installations sanitaires) et considérant que l'apport de P. par les déjections des oiseaux (guano) supérieur au prélèvement de P. par prédation, on constate qu'il n'existe pratiquement aucune possibilité pour le phosphore de quitter le système en quantité suffisante pour compenser les apports, qu'ils soient réguliers pour le guano ou irréguliers pour les eaux usées d'origine humaine (vidange de cuve d'engrais ou lessivage des automobiles au bord du lac).

Le bilan en phosphore est toujours positif et le stock s'accroît d'année en année. Si le P. dissous conserve dans le lac une valeur à peu près constante depuis 1974, il le doit vraisemblablement à la charge croissante du P. absorbé dans les vases par le jeu du Cycle d'Equilibre biochimique (KU, 1978) mais nous ne disposons pas de données antérieures sur la vase pour l'apprécier précisément.

Selon VOLLENWEIDER (1971), le lac a dépassé le seuil de probabilité de danger trophique qui est de 10 µg/l de P ; il en contient en effet approximativement 50 µg/l (soit 0,05 p.p.m. ou encore 50 kg pour l'ensemble du lac). Si on calcule par unité de surface, nous obtenons également un léger dépassement de seuil avec 335 mg/m² pour une fourchette limite de 200-500 mg P/m².

Nous avons ainsi un ensemble d'indices permettant de faire la diagnose provisoire du métabolisme du lac :

1) dépassement des *ratios* physico-chimiques du milieu :

- tendance à la basicité, conductivité élevée, sursaturation en oxygène, présence d'azote ammoniacal, excès de P./m², etc...
- absence d'O₂ des vases, richesse en phosphore, métaux lourds.

2) importance de végétaux de milieux *eutrophes* :

- présence de Cyanophycées, de Diatomées *Asterionella*, Quotient de NYGAARD > 80
- présence d'un herbier à *Zannichellia palustris* prolongé par l'association du *Potameton pectinati*.

3) faible diversité de la faune benthique :

- espèces des biocoenoses α et β mésosaprobies

4) déséquilibre de la structure trophique du lac

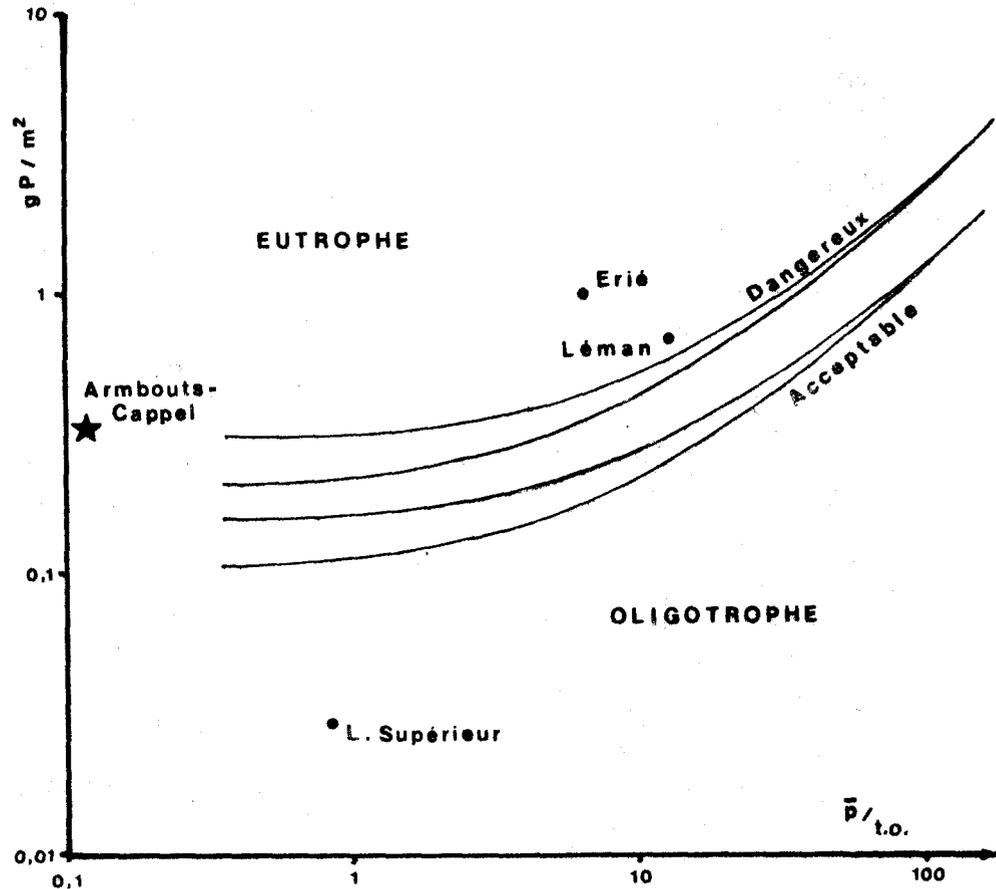
A ces indices peut-on rajouter la situation relative du lac par rapport à d'autres lacs connus, en fonction de la charge annuelle en P (mais comme notre lac n'a que très peu d'apport et d'export, on peut considérer sa charge spécifique comme étant sa charge annuelle) et de la profondeur moyenne $P = 4,5$ m ; VOLLENWEIDER, 1971, mais aussi, de façon encore plus flagrante, avec le temps de renouvellement des eaux (turn-over - 32) pour lesquelles le mélange est total et continu, ainsi que le fait VOLLENWEIDER (1975).

Cet auteur a remarqué que les lacs à durée de renouvellement longue sont beaucoup plus sensibles aux charges de phosphore que ne le laisserait apparaître le seul critère de profondeur moyenne. De plus, en comparant les durées relatives de séjour de P., il déduit que le métabolisme est accéléré au-delà de la simple proportionnalité.

La figure n° 20 donne les limites de charge en P. selon le rapport P/T.O. (reprise de VOLLENWEIDER, 1975). On y a situé Armbouts-Cappel, dont le ratio est de 0,107 m/an, ce qui place le niveau dangereux à 0,20 - 0,30 g.P/m². Celui-ci est donc bel et bien dépassé : le lac d'Armbouts-Cappel est incontestablement, selon la terminologie, un lac eutrophe. (cf. ultra)

Si ceci est déjà perceptible au niveau de la charge dissoute, il est encore plus évident au niveau de la charge interne du lac. Si l'on examine le niveau de rétention dans les sédiments qui, rappelons-le, est irréversible en période d'oxydation mais réversible en milieu réducteur, par exemple anaérobie, on trouve environ 1550 mg P/kg de vase sèche, soit encore 75 mg/litre de vase in situ.

Fig. 20 - REPARTITION DES LACS SELON LEUR CHARGE EN PHOSPHORE ET LE RAPPORT P. MOYENNE/T.O. (repris de VOLLENWEIDER, 1975)



On peut estimer le volume de vase de fond : 0,3m (épaisseur du sédiment) par 7 ha (surface du lac d'une profondeur de 8m et plus - cf. fig. 2) soit $21 \cdot 10^6$ litres, ce qui porte la charge en rétention sédimentaire à $1,575 \cdot 10^6$ mg de P total (ou encore 1,575 tonne). Ceci est à rapprocher des 50 kg de charge dissoute, soit à peine 3%. On imagine aisément ce qui se produirait si le fond du lac venait à être en anaérobie... Cependant, la totalité du P. ne serait relarguée brutalement. Deux éléments interviennent :

a) la diffusion moléculaire : en admettant le coefficient habituel de diffusion verticale de $10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ (CHASSAING, 1978), avec un gradient de concentration de $0,0056 \text{ mgP} \cdot \text{l}^{-1} \text{ cm}^{-1}$, le flux de phosphore vers l'eau libre serait de $0,048 \text{ mg P} \cdot \text{m}^{-2} \text{ j}^{-1}$. L'apport ainsi évalué est négligeable puisqu'il porte, pour le lac, sur 1,3 kg/an environ.

b) le relargage chimique : Les taux moyens journaliers de reflux (comme de fixation selon VOLLENWEIDER, 1971) sont d'environ $0,01 \text{ g/m}^2 \text{ jour}$. Ceci amène à une libération (ou fixation) de 225 kg/an soit 16% de la masse fixée. En supposant ce relargage entièrement exporté hors du système, il faudrait environ 6 ans pour donner au lac des bases «juvéniles» pour un nouveau départ.

Dans la pratique, le devenir du phosphore est plus complexe. A titre d'exemple, on verra dans l'encart ci-contre (cf page suivante) le modèle mathématique destiné à simuler l'évolution temporelle et spatiale des deux formes du phosphore dans le lac de NANTUA : le phosphore minéral dissous (P.M.D.) (c.a.d. essentiellement les phosphates), le phosphore organique particulaire (P.O.P.) stocké dans la biomasse du plancton algal, principalement ; d'après CHAHUNEAU, des CLERS et MEYER (1978).

N.B. - En raison de la bioturbation CHASSAING (1978) n'admet, avec d'autres auteurs, qu'une épaisseur de 10 cm de sédiment actif, ce qui porterait la charge interne à 500 kg. Mais la vase du lac est très peu compacte et la mesure porte sur un prélèvement moyen \pm homogénéisé.

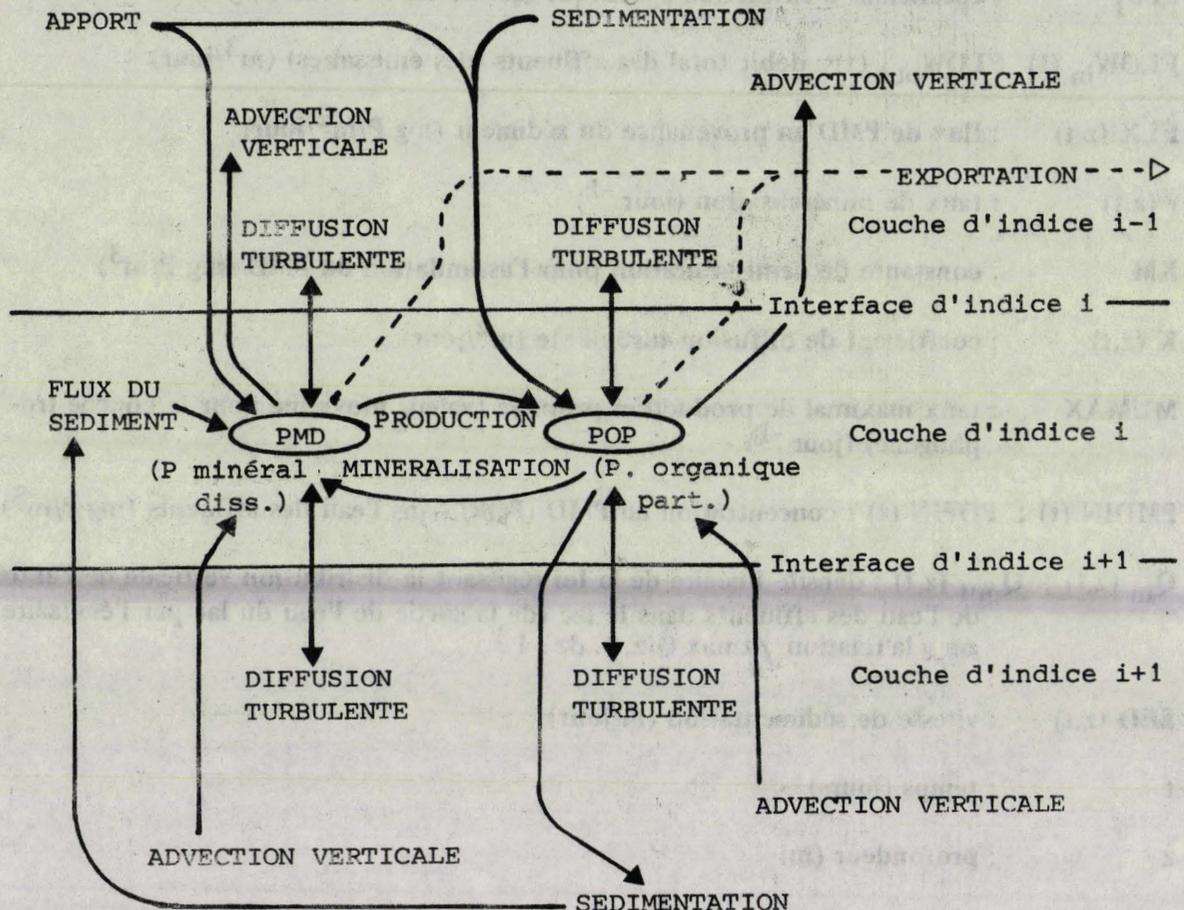
Fig. 21 - EQUATION DE LA VARIABLE P.M.D.

- A (z) : surface du lac à la profondeur z (m²)
- EPS₀ : coefficient d'extinction de l'eau (m⁻¹)
- EPS₁ : coefficient d'extinction spécifique associé au POP (m²/mg P)
- FLOW_{in} (t) FLOW_{out} (t) : débit total des affluents (des émissaires) (m³/jour)
- FLX (z,t) : flux de PMD en provenance du sédiment (mg P/m²/jour)
- r (z,t) : taux de minéralisation (jour⁻¹)
- KM : constante de demi-saturation pour l'assimilation du PMD (mg P/m³)
- K (z,t) : coefficient de diffusion turbulente (m²/jour)
- MUMAX : taux maximal de production primaire (valeur moyenne pour la couche trophogène) (jour⁻¹)
- PMDIN (t) ; POPIN (t) : concentration en PMD (POP) dans l'eau des affluents (mg P/m³).
- Q_{in} (z,t) ; Q_{out} (z,t) : densité linéaire de la loi régissant la distribution verticale de l'entrée de l'eau des affluents dans le lac (de la sortie de l'eau du lac par l'émissaire) on a la relation $\int_0^{z_{\max}} Q(z,t). dz = 1$
- SED (z,t) : vitesse de sédimentation (m/jour)
- t : temps (jours)
- z : profondeur (m)
- z_{mix} : épaisseur de la couche mélangée (= couche trophogène) (m)

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial \text{PMD}}{\partial t} = & \frac{1}{A(z)} \left\{ \frac{\partial}{\partial z} \left(A(z).K(z,t). \frac{\partial \text{PMD}}{\partial z} \right) + \text{FLX}(z,t). \left(\frac{\partial A(z)}{\partial z} \right) \right\} - w(z,t). \frac{\partial \text{PMD}}{\partial z} + r(z,t). \text{POP} \\
 & \text{diffusion} \qquad \qquad \qquad \text{flux en provenance} \quad \text{advection} \\
 & \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \text{du sédiment} \\
 + \frac{1}{A(z)} & \left(\text{PMDIN}(t). \text{FLOW}_{in}(t). Q_{in}(z,t) - \text{PMD}. \text{FLOW}_{out}(t). Q_{out}(z,t) \right) \\
 & \text{apport} \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \text{exportation} \\
 + \left\{ \begin{array}{l} Q \text{ si } z > z_{mix} \\ \frac{\text{MUMAX}. \text{POP}}{z_{mix} (\text{EPS}_0 + \text{EPS}_1 \cdot \text{POP})} \cdot \frac{\text{PMD}}{\text{KM} + \text{PMD}} \text{ si } z \leq z_{mix} \end{array} \right.
 \end{aligned}$$

Ces équations modélisent, en fait, les différentes circulations du phosphore, telles que l'on peut les visualiser dans le schéma ci-après :

Fig.n° 22 - CIRCULATIONS GENERALES DU PHOSPHORE (sous ses différentes formes) d'après CHAHUNEAU et coll, 1978.



Ce schéma se trouve, en fait, simplifier dans le cas d'Armbouts-Cappel par l'homogénéité de celui-ci. Mais beaucoup de données manquent encore, tels que les flux (eaux, phosphore, Plancton, etc...) importés ou exportés dans le watergand Yoorendyck par trop plein du lac, ou encore les apports aériens. A ce propos, deux sources peuvent avoir une répercussion importante :

a) les déjections aviennes : VOLLENWEIDER (1971) signale déjà cette source potentielle. La contribution des oiseaux aquatiques, en tant que fournisseurs de matières nutritives, doit être étudiée pour chaque cas individuel. Même si leur densité est élevée, l'importance de leur charge varie suivant qu'il s'agit d'oiseaux sédentaires, intégrés à l'écosystème ou d'oiseaux de passage. On considère généralement que la contribution des goélands (> 100 mg/j. oiseau selon GOULD et FLETCHER - 1978), des cygnes, des oies et des canards est importante, mais que celle des mouettes reste modeste (< 40 mg/j.o. Ibid) (ARRIGNON, 1976).

Ainsi, *L. argentatus* rejette-t-il journallement en phosphore 1/25^e d'équivalent-habitant.

En fait, il ne s'agit pas d'une charge au sens propre mais d'une forme spéciale de circulation faisant partie du métabolisme global du plan d'eau.

b) la pollution atmosphérique : outre les pollutions dues à la proximité de la voie rapide, évoquées précédemment, l'atmosphère peut apporter au milieu lacustre des éléments minéraux ou organiques préjudiciables (DESCROIX, 1975) (HUFF, 1976). Ainsi, les zones industrielo-portuaires de la région dunkerquoise sont-elles émettrices dans l'air de nombreux polluants provenant de sources aussi variées que la sidérurgie, la pétrochimie ou les industries agro-alimentaires. L'importance de ces rejets influe notablement sur l'environnement. Ainsi, un essai de cartographie de la pollution atmosphérique acide dans le Nord de la France par la toxisensibilité des lichens épiphytes a-t-il classé Dunkerque en zone O (urbanisée) et la région du lac en zones 3 et 4. (GEHU et coll, 1973). Pour le lac, ce sont surtout les composés azotés et les métaux dont le fer en particulier qui interviennent dans son métabolisme général.

Le site reçoit ainsi annuellement 5 g. SO₂/ha. (SERVICE DES MINES, 1977). Par ailleurs une source d'azote sous forme Ammoniac/Nitrate est possible pour les pluies qui entraînent les aérosols des engrais agricoles. Loin des industries, cet apport est voisin de 0,5 g/m².an d'azote total (VOLLENWEIDER, 1971). Les centrales électriques au fuel sont aussi émettrices d'azote (neutralisation des acides sulfuriques par l'ammoniaque).

Le même phénomène se produit pour le phosphore bien qu'il soit moins bien connu. Mais les données permettent d'estimer (ibidem) que les teneurs en P. des retombées sont souvent très élevées et il ne semble plus possible de les négliger dans les processus d'eutrophisation des eaux.

Les valeurs françaises en la matière sont comprises entre 100 et 150 µ. g P. (PO₄)/l de pluie (davantage pour la neige) soit 40 à 50 m. gP. (PO₄)/m² an. La situation est encore plus grave pour les régions côtières où l'air peut être lourdement chargée par la mer via les embruns. Ainsi, au voisinage des côtes atlantiques, l'eau de pluie a en moyenne une teneur en ions de l'ordre de 0,1 mé/1 dans lesquels les sulfates et les chlorures dominent, les premiers surtout aux faibles concentrations ioniques totales. Les nitrates et les phosphates sont alors présents en très faibles quantités (20 µg/l d'azote nitrique, 1 µg/l de phosphore phosphorique) (DUSSART, 1966).

On peut estimer très approximativement à 9 ou 10 kg de P (PO₄) l'apport annuel (635 mm de pluie/m².an à 100 µ g P/l sur 15 ha).

Ceci est loin d'être négligeable car il représente 20% de la charge dissoute (P.M.D.). Selon VOLLENWEIDER, (1971) toujours, ces apports peuvent contribuer largement à couvrir le besoin global d'un lac ayant une faible profondeur moyenne (Ici, p=4,5m).

L'ensemble des sources (a) et (b) prend ici une importance réelle, en raison de la très faible quantité d'apport par ruissellement superficiel. En effet, le rapport du Bassin Versant à la surface du lac (encore appelé *facteur d'environnement* (Fu) par OHLE (VOLLENWEIDER, 1971) influe sur la charge annuelle des lacs : celle-ci double quand Fu double.

Pour Ambouts-Cappel, Fu =1,885 (cf.31.1) et la charge spécifique devrait être de 0,46 g P/m².

Or, le calcul antérieur de celle-ci donnait 0,335 g/m² soit une valeur de même ordre, (ce qui justifie a posteriori l'assimilation que nous avons faite entre charge volumique et charge spécifique).

Dans ces conditions (F_u réduit) les apports éoliens ne peuvent plus avoir un rôle négligeable sur le bilan global.

Mais ceci se répercute aussi au niveau de la charge résiduelle que l'on obtiendrait en supprimant tous les apports de ruissellement. Avec $F_u = 1,885$, la charge se maintiendrait, selon VOLLENWEIDER (1971), à $0,210 \text{ g/m}^2$, en tenant compte des apports aériens.

La «décharge» est peu satisfaisante, surtout pour un lac de faible profondeur moyenne. Ceci veut dire que, dans l'hypothèse la plus favorable d'élimination de phosphore, il resterait toujours d'autres charges en substances nutritives provenant de sources incontrôlables directement, si bien que les perspectives de «régression» par cette méthode sont partiellement mises en question (cf.VI).

5-2 - Synthèse limnologique :

«L'existence, l'abondance, le comportement et la répartition d'une espèce ou d'un groupe d'espèces, sont fonction de l'ensemble des composantes de son environnement. Le nombre et la complexité des relations, des liaisons entre espèces ou entre espèces et milieu ainsi que l'hétérogénéité relative de ce dernier et la variabilité des facteurs mis en jeu se traduisent par l'établissement de diverses classifications des habitats et des communautés dont le nombre ne serait limité que par celui des critères pouvant être choisis» (VERNEAUX, 1968).

Ayant retenu un certain nombre de paramètres (critères), peut-on maintenant «qualifier» le lac d'Armbouts-Cappel, en établir en quelque sorte la fiche signalétique ?

Selon le critère observé : climat, origine, forme, circulation de l'eau, arrangement des variations thermiques, degré d'eutrophie, etc..., la littérature mentionne plus de cent types et sous-types de lacs.

a) Critères morphométriques

Nous dirons que le lac d'Armbouts-Cappel est :

- UN LAC ($P \approx 10 \text{ m}$, 85% de la surface en zone pélagique)
- DE PLAINE
- D'ORIGINE HUMAINE (d'où $K = 1,07$ et $z/z_m = 0,5$)
- AGE de 10 ANS
- DE FAIBLE PROFONDEUR MOYENNE ($z = 4,5 \text{ m}$)
- ALTITUDE + 0,5 m N.G.F.
- AYANT UN BASSIN VERSANT REDUIT ($A/S = 1,835$)
- AYANT UN LONG TEMPS DE RENOUVELLEMENT DES EAUX (T.O. = 43,5 ans).

b) Critères physico-chimiques

- LAC BASIQUE ($\text{pH} > 8$)
- BIEN OXYGENE ($S > 90\%$)
- TURBIDE ($L < 2 \text{ m}$)
- OLIGOHALIN MONOTYPIQUE ($< 0,4 \text{ ‰}$ de Na Cl)
- DE QUALITE MOYENNE
- AYANT UNE SENSIBILITE ELEVEE A LA POLLUTION

Par ailleurs, ce lac est homogène sur tous les paramètres (ORTHOGRADE). Ceci tient à sa forme et à l'importance des vents qui engendrent de façon quasi-permanente des «courants

de dérive». Ainsi, des vents supérieurs à 7 m/sec (W) qui ont une occurrence locale de 40% environ peuvent créer des courants lacustres jusqu'à une profondeur minimale $D = \frac{7,6w}{\sin \varphi} = 60m$ (φ étant la latitude du lac soit ici $51^{\circ} 03'N$) (DUSSART, 1966).

En fait, dans nos régions, un vent de 1,5 m/sec. suffit théoriquement à ébranler un lac de 10 m de profondeur.

Dès lors, en l'absence de toute protection éolienne, le lac est constamment mélangé. Il est dit TACHYMICTIQUE avec les répercussions que cela entraîne sur la stabilité des berges.

Comme par ailleurs il ne présente pas de stratification thermique (*Epi et Hypolimnion* de part et d'autre de la *thermocline*), on peut le qualifier de POLYMICTIQUE DE 3^o ORDRE, ce qui correspond bien à sa position latitudinale et altitudinale.

(N.B La «rigueur» de l'hiver 1978-79 a entraîné une prise en place de la surface du lac. Ceci peut avoir des conséquences sur une éventuelle stratification thermique des eaux dans l'avenir. Néanmoins, les données 1979 infirment cette éventualité (cf. annexe 1 - 4bis).

c) Critères biologiques

L'ensemble des données biologiques (animaux α et β mésosaprobies, indice de NYGAARD >80, etc) fait classer ce lac parmi les milieux fortement EUTROPHES.

Tous les lacs évoluent par le seul fait de la pollution naturelle provoquée par la mort et la putréfaction des organismes animaux et végétaux qu'ils contiennent ; suivant le cas, cette évolution va de l'état oligotrophe à l'état eutrophe ou, s'ils sont déjà eutrophes, vers une eutrophie renforcée. Sous l'action des substances nutritives, phosphore et azote notamment, existant naturellement dans un lac ou apportées par les affluents, les lacs changent de type et passent insensiblement de l'état oligotrophe à l'état eutrophe. Ce «vieillessement», normalement très lent, en dehors d'observations à l'échelle humaine, peut devenir au contraire très rapide si, aux apports naturels, s'ajoutent des apports importants dus à l'homme. (VIVIER, 1976).

Mais en fait, peut-on vraiment parler d'eutrophisation ?

Citons J. VERNEAUX, (1976) :

«L'usage, cette mauvaise habitude, veut que la plupart des systèmes aquatiques «s'eutrophisent» (RAMADE, 1974) alors qu'on y relève une réduction parfois très accentuée des biocénoses. Si, étymologiquement, eutrophe signifie «qui nourrit bien», encore faut-il que subsistent des consommateurs ; ne pouvant admettre qu'un écosystème de plus en plus «riche» finisse par être désert, je ne saurais me satisfaire des euphémismes précédents, ni retenir une conception théorique, physico-chimique de l'eutrophisation, sortie de son contexte écologique».

C'est pourquoi nous considérerons avec cet auteur que l'eutrophisation est un processus conduisant à l'état d'équilibre correspondant à une production optimale, non en producteurs ou en décomposeurs mais en consommateurs dont l'abondance optimale dans la diversité maximale serait représentative du stade le plus eutrophe.

Or, nous avons vu précédemment que ce n'était pas le cas du lac d'Armbouts-Cappel.

Lorsqu'un lac souffre d'«eutrophisation accélérée», ce ne sont pas les substances toxiques qui déclenchent le phénomène. Si un rejet de produits toxiques en concentration suffisante

s'effectue dans un lac, la faune et la flore sont empoisonnées et décimées. Le lac devient *abiotique* comme le deviendrait un cours d'eau placé dans des circonstances semblables.

L'eutrophisation, au contraire, provient de substances bénéfiques pour les organismes et indispensables à l'édification des cellules végétales. (LAURENT, 1971).

Quand cette nourriture devient trop importante pour que l'ensemble de la chaîne alimentaire puisse l'exploiter, il y a excès : on peut alors parler, comme le dit BARROIN (Colloque de Chambéry - Ass. franç. Limnol. 1978) de *POLLUTION NUTRITIONNELLE*. Cela peut être une évolution naturelle induisant une augmentation de la production primaire, sans que le zooplancton puisse exercer efficacement son rôle de « contrôleur ». Il y a non-consommation aboutissant à une « impasse » trophique d'autant que le plancton à Rotifères (et à Cyanophycées, comme c'est le cas ici) est plus difficilement utilisé par les planctonophages que celui à Crustacés.

Autrement dit :

- lorsque l'apport des substances nourricières s'effectue de façon progressive, « ménagée », en faible quantité par rapport à la capacité d'assimilation du système (dépendant de son volume, de ses caractéristiques morphologiques, dynamiques et thermiques, de son type écologique, de la complexité de l'édifice biologique...), un processus d'eutrophisation accélérée est susceptible de se développer, au moins de façon temporaire.

- lorsque la quantité d'apports présumés nourriciers dépasse un certain seuil ou que ceux-ci se poursuivent au-delà de l'atteinte du stade eutrophe relatif au type écologique du milieu récepteur (*pseudo-climax stationnel*), on assiste au développement plus ou moins rapide d'un syndrome de pollution caractérisé par la simplification plus ou moins accentuée de l'édifice biologique consommateur initial. L'accumulation des substances non utilisées (« restes ») entraîne une modification du milieu dont certaines valeurs paramétriques atteignent puis dépassent les limites de tolérance d'un nombre de plus en plus grand d'espèces; la simplification de l'édifice biologique consommateur accuse, en retour, ce processus qui s'accélère de façon exponentielle. (VERNEAUX, 1976).

L'examen de la fig.23 montre que le lac d'Arbouets-Cappel est passé en l'espace de dix ans (en fait de 1973 à 1978) de la situation O à la situation IV et que tout porte à croire qu'il tend à brève échéance, vers la situation V, impropre à toute vie aquatique.

Toutefois, ce genre de phénomène semble assez fréquent dans le cas de bassins récemment créés : beaucoup de plans d'eau en ZAC ou en ville nouvelle présentent un stade pionnier (stade sérial primaire) associé à un milieu « eutrophe », c'est-à-dire riche en matière nutritive. (Secr^t G^{al} Groupe Central Villes Nouvelles, 1975).

Une « remontée » de la situation IV à une situation supérieure (voire O, à la limite) semble donc encore possible si le système biologique se structure en se compliquant (en particulier au niveau de l'édifice trophique) de façon à accroître l'utilisation des « nutriments » jusqu'à un bilan négatif, notamment pour le phosphore.

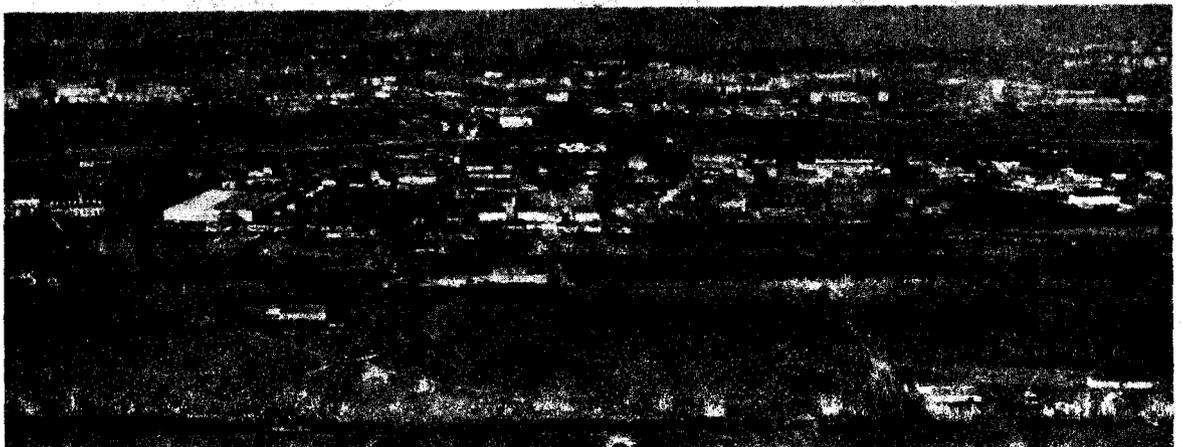
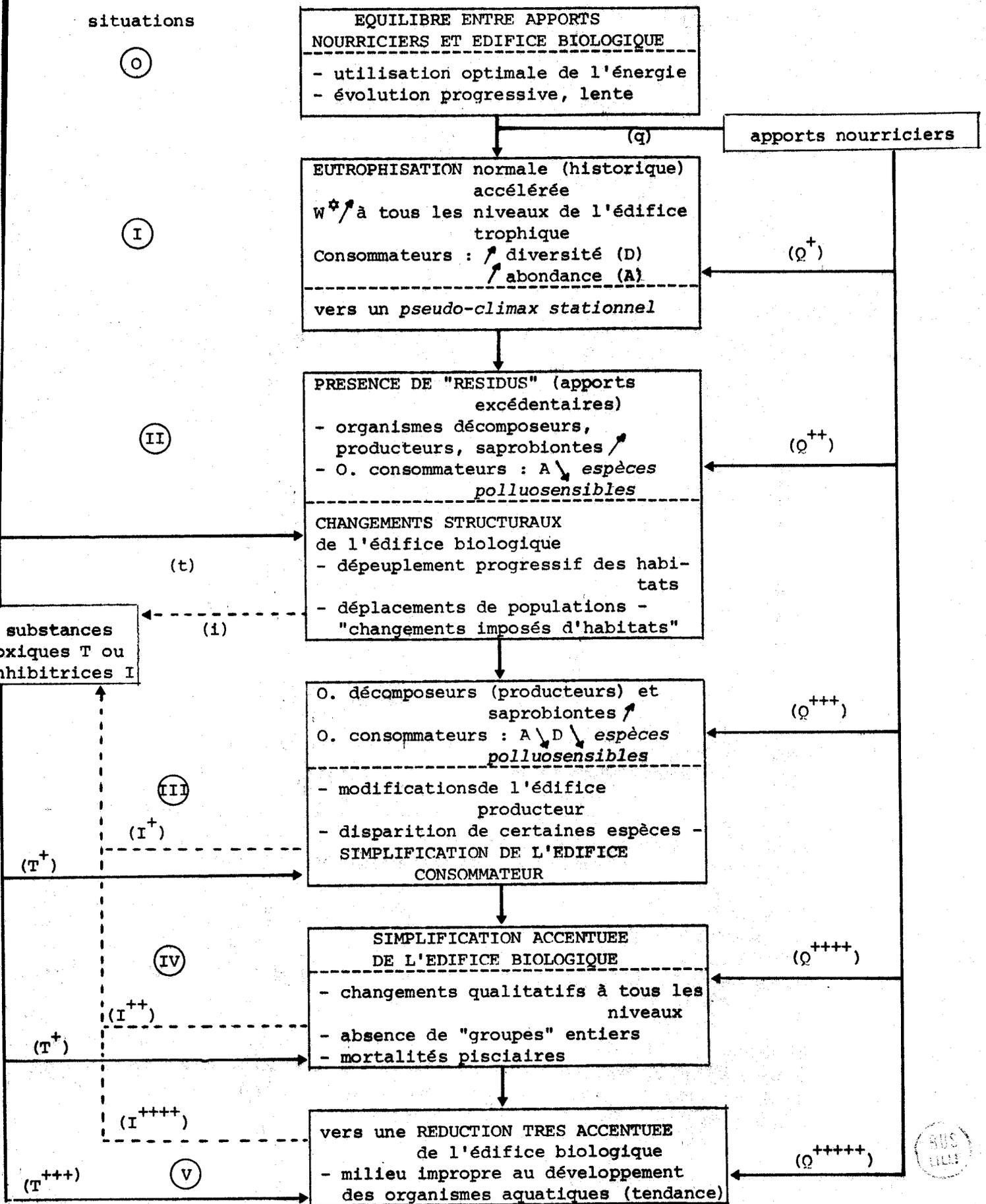


Fig. 2 3 - REPRESENTATION SCHEMATIQUE DES EFFETS DES APPORTS SUR LES EDIFICES BIOLOGIQUES d'après J. VERNEAUX - 1976.



Ce point de vue très optimiste est conforté par la comparaison entre l'état du lac et ceux des normes d'eutrophisation.

(ARRIGNON, 1976

(COUDERC, 1970

(DUSSART, 1966

(VIVIER, 1967).

Fig : 24 Comparaison des caractéristiques des eaux eutrophes et des eaux locales :

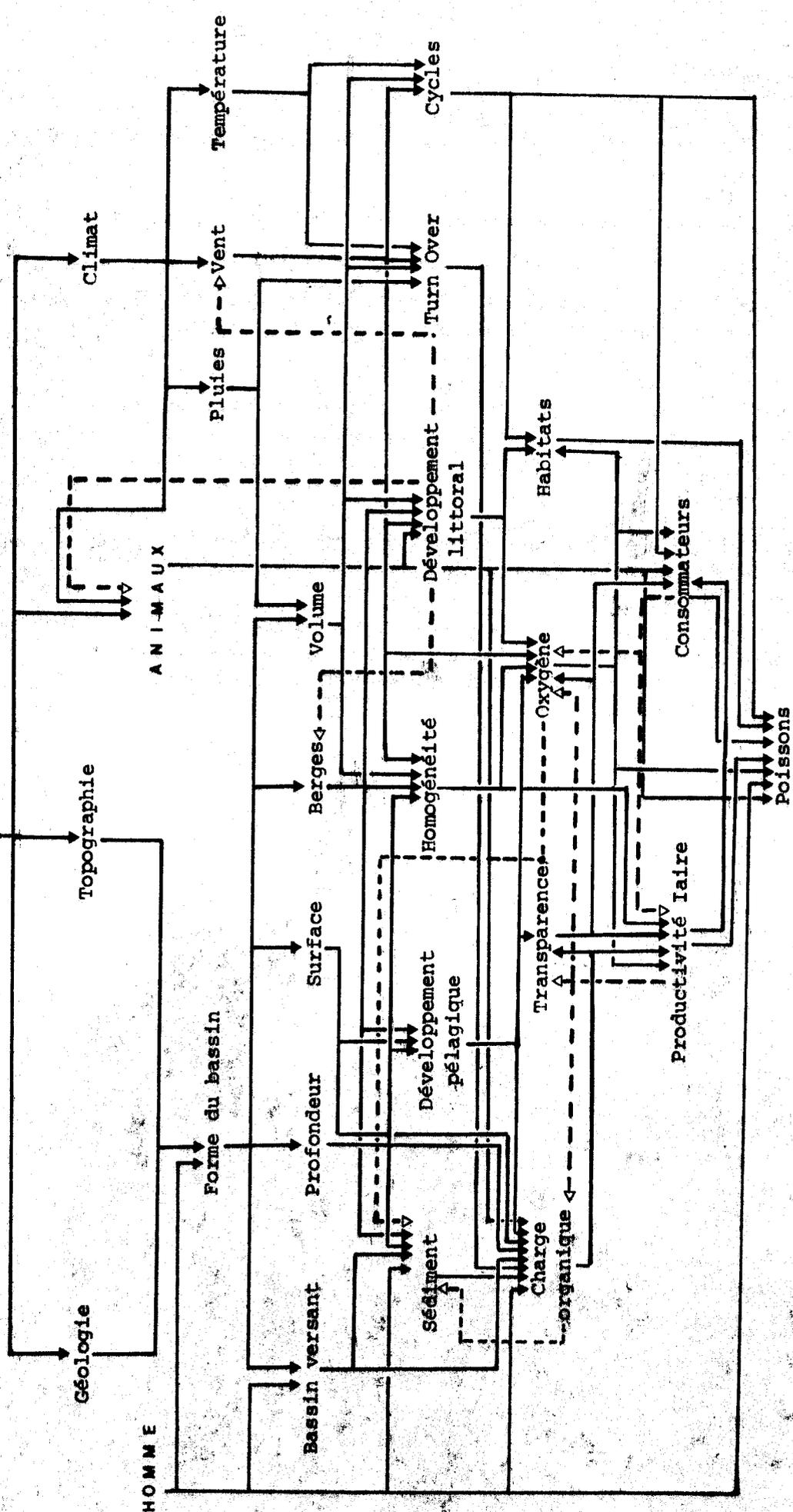
	LACS		ETANGS		LAC d'A.C. 1978	LAC Oligotrophe
	Eutrophe	Mésotrophe	Eutrophe	Polytrophe		
Large ceinture végétale	OUI	-	OUI	OUI	NON	NON
Vase organique putrescible	OUI	NON	-	OUI	OUI	NON
Coloration vert-brun	OUI	-	OUI	OUI	OUI	NON
Déficit d'Oxygène	OUI	NON	NON	OUI	NON	NON
Eaux riches en P	OUI	NON	OUI	OUI	NON	NON
Turbide	OUI	NON	OUI	OUI	OUI	NON
Phyto Zooplancton important	OUI	-	OUI	OUI	OUI	NON
Productivité laire forte	OUI	--	OUI	OUI	OUI	NON
Diversité	NON	OUI	OUI	NON	NON	(NON)
Fleurs d'eau	OUI	NON	OUI	OUI	OUI	NON

On voit ainsi qu'Armbouts-Cappel ne s'apparente strictement pas à un lac eutrophe vrai ni à aucun autre type répertorié d'ailleurs.

Il tient des uns ou des autres par tel ou tel caractère mais ne ressemble précisément à aucun autre de la «typologie» limnologique classique. Ceci tient à son histoire, à son environnement spécifique et aux aléas de son évolution sous l'influence des hommes.

On appréciera, par là-même, l'importance de la notion d'*individualité lacustre*, beaucoup plus accentuée pour les plans d'eau que pour les réseaux de cours d'eau, susceptibles de se rattacher à un domaine bio-géographique donné, au moins à l'échelle d'un bassin versant. Il apparaît ainsi que toute la typologie limnique reste à faire sur les bases de l'analyse multicritère. (VERNEAUX, 1976).

En définitive, la situation écosystémique du lac est la résultante d'un faisceau de facteurs convergents qui interviennent positivement ou négativement sur la stabilité ou l'évolution du système, chaque faisceau étant en quelque sorte le descripteur de l'individualité lacustre. C'est ce que tente d'exprimer la figure 25.



EQUILIBRE SERIAL

(Situation écosystémique)

- ← facteurs intrinsèques directs
- ← facteurs extrinsèques directs
- ↔ feedback interne
- ↔ feedback externe

Fig. 25 - SITUATION ECOSYSTEMIQUE DU LAC (d'après DUSSART, 1966 - LAURENT, 1971-1976, modifiés).



Elle montre en particulier que :

a) les critères mésologiques multiplient leur fonction et accroissent leur importance progressivement par enchaînement des relations de cause à effet : celui-ci devenant cause à son tour (Gestalthéorie).

b) le nombre des interrelations sont maximales entre la phase physique du lac et sa phase biologique.

c) les relations vont en se complexant à mesure que l'on apprécie les modalités d'existence des paramètres biologiques, en particulier par un jeu croissant de réafférence (feed back).

d) les espèces de productivité laire sont fortement conditionnées par le milieu alors que les espèces consommatrices des rangs les plus élevés possèdent plus de solutions d'adaptation, de choix ou de tolérance aux fluctuations. Elles sont donc moins *intégratrices* de facteurs que les producteurs.

e) le rôle des facteurs extrinsèques à Armbouts-Cappel est loin d'être modeste d'autant qu'il porte simultanément sur plusieurs étages et systèmes.

Pour imparfaite que soit cette construction (cette modélisation simplifiée), elle met en évidence l'interdépendance des différentes pièces du puzzle que constitue un écosystème lacustre et permettra de simuler qualitativement les répercussions d'aménagements/interventions sur le milieu et par suite l'évolution de celui-ci.



5-3 - Le lac dans son contexte :

531 - Un écosystème possède un certain caractère d'individualité, ayant une anatomie et une physiologie propres. Ceci est d'autant plus perceptible avec un lac bien délimité dans l'espace. Mais nous avons déjà vu comment celui-ci est en relations nombreuses avec son environnement.

L'analogie avec un «super organisme» que constituerait un écosystème va plus loin qu'une simple métaphore. Mettre en évidence une structure implique l'existence de plusieurs constituants dont la *synergia* préserve l'intégrité du milieu, autrement dit son *autoconservation*.

Par comparaison avec la médecine, nous dirions, avec BLANDIN et ses collaborateurs (1976), que l'étude de la stabilité du système lacustre passe par l'inventaire de ses moyens de stabilisation ou *propriétés homéostatiques* :

«En d'autres termes, la comparaison de systèmes biologiques au plan de leur stabilité se pose dès maintenant en termes de «survie». Il s'agit de savoir quels sont les moyens grâce auxquels ils résistent aux perturbations nées de modifications».

La capacité de durer tout en se transformant est appelée *résilience*. C'est elle qui déterminera la «stratégie cénotique» mise en oeuvre pour assurer la survie de l'organisme. Dans l'étude qui nous concerne, l'écosystème «Lac d'Armbouts-Cappel» organisme immature, *impubère*, ayant une diversité et une densité de peuplement faible, ne pouvant en conséquence que développer une stratégie cénotique basée sur le nombre *i* d'individus (abondance de chaque espèce) se trouve confronter à une hypertrophie nutritionnelle de croissance, face à laquelle sa survie est liée à «l'adoption» d'une stratégie basée sur le nombre *s* d'espèces (diversité des peuplements).

Dit autrement, l'avenir du lac est lié à sa possibilité de développer un choix plus important d'espèces «de rechange» susceptibles de remplacer les espèces fondamentales dans de nouvelles conditions de milieu. Ces espèces ayant une même fonction (même *niche écologique*) dans un milieu différent sont citées *vicariantes*. L'adaptation du lac dépend de sa résilience qui consiste à accroître le nombre des espèces présentes pour assurer une *redondance fonctionnelle* (cf. BLANDIN, 1976) grâce à une vicariance généralisée.

A la grande uniformité observée sur ce lac en stratégie de type *i* doit succéder, de façon impérative, une grande variété caractérisant une stratégie de type *s*. Mais la constitution d'un tel écosystème peut-elle se faire en peu de temps par voie interne (autorégulation et ajustement) ? Il semble bien que non et qu'une assistance «para-médicale» doive être appliquée que ce soit de façon homéopathique ou au contraire chirurgicale. D'une façon ou d'une autre le lac ne pourra plus se maintenir en ne dépendant que de la survie de toutes les espèces, qui en font partie mais bien en accroissant sa diversité spécifique.

532 - L'intérêt de la connaissance du lac et des éventuels moyens de l'aider à survivre porte prosaïquement sur la nécessité de rendre le lac compatible avec des besoins humains.

Comment peut-on espérer que se développe une animation autour du plan d'eau par le modelisme nautique si la navigation des maquettes est entravée par un water-bloom d'algues filamenteuses ?

La qualité des eaux d'un lac est un élément très important de l'utilisation des sites aquatiques pour les loisirs que ce soit pour la santé ou l'agrément des utilisateurs (LEYNAUD, et coll. 1970) cf. figure n° 26

TABLEAU 26 : CRITERES QUALITATIFS DE L'UTILISATION DES PLANS D'EAU POUR LES LOISIRS -

Equivalences approximatives avec la GRILLE DE QUALITE GENERALE DES EAUX

du Ministère de l'Agriculture : Classe I - : Indices 1a et 1b

Classe II : Indices 2

Classe III : Indices 3, 4).

CRITERES	Unité	NATURE DES LOISIRS				CLASSE DE QUALITE		
		Péri-nautique	Nautique	Balnéaire	Pêche	I - Utilisable en l'état	II - Acceptable après amélioration	III - Inacceptable en l'état.
MORPHOLOGIQUES								
Surface	ha	•	•			> 30 > 50	30 - 10 50 - 30	< 30
Compacité		•			•	> 1,5 > 5	1,5 - 1 5 - 1	-
Profondeur moyenne								
Turn-Over	m/an			•	•	> 10	10 - 1	> 1
Facteur (F _u)		•			•	< 5	5 - 10	> 10
Pentes	%		•	•	•	< 5	5 - 10	> 10
PHYSICO-CHIMIQUES								
M.E.S. totales	mg/l	•	•	•	•	< 30	30 - 70	> 70
Couleur		•		•	•	Bleu-vert	Vert-brun	Brun-Rouge
Température	°c			•	•	25 - < 25	35 - 15 25 - 27	< 15 et > 35 > 27
Transparence	m.	•		•		> 1	1 - 0,5	< 0,5
Saturation Oxygène	%				•	70 - 125	50-70 et 125-150	< 50 et > 150
pH				•	•	7,5	4 - 9	< 4 et > 9
Indice de Salinité (S)				•	•	6,5 - 8,5	5,5 - 9,5	< 5,5 et > 9,5
Salinité	g/l			•	•	S0 - S 1	S2 - S3	S4
D.B.O.5	mg/l			•	•	< 0,5	0,5 - 5	> 5
Toxiques				•	•	< 5	5 - 10	> 10
Corps flottants				•	•	< 3	3 - 6	> 6
D.C.O.	mg/l	•	•	•	•	Absence	Traces	Présence
NH 4	mg/l			•	•	< 25	25 - 80	> 80
				•	•	< 0,5	0,5 - 8	> 8
BIOLOGIQUES								
Virus	u/10 ⁴ l			•	•	< 2	2 - 22	> 220
Coliformes ficaux	u/l			•		< 500	500 - 5000	> 5000
Streptocoques	u/ml			•		< 1	1 - 10	> 100
I. de Nygaard					•	< 1	1 - 5	> 5
Saprobies					•	Oligo - S	α β Méso - S	Poly - S
Cyanophycées			•	•	•	Absence	Episodique	Fleurs d'eaux
Hydrophytes			•	•	•	Absence	Présence	Abondance
(libres ou fixées)					•	Présence	Abondance	Absence
Moustiques		•				Absence	Présence	Abondance
Sangsues				•		Présence	Abondance	Prolifération
Gastéropodes vecteur				•		Présence	Abondance	Prolifération
Laridae		•		•	•	Absence	Présence	Abondance

(D'après divers auteurs : LEYNAUD, DE JONG, VERNEAUX et NISBET, TUFFERY, etc.)



Le lac n'offre pas les meilleures conditions par rapport aux normes considérées aujourd'hui comme indispensables à une bonne pratique des milieux aquatiques. Sa morphologie est peu adaptée (surface, pente des berges), ses rives instables ou artificialisées, son p^H ($\approx 8,5$), sa couleur, sa turbidité ($\approx 1,2$ m) gênent la baignade et la plongée subaquatique. Il est heureusement bien oxygéné pour ne pas produire de nuisances olfactives (encore que certaines «laisses» accumulent les déchets en décomposition).

Son eutrophisation (ou plutôt sa pollution nutritionnelle) est aussi un facteur négatif d'usage ludique notamment par les «fleurs d'eau».

La prolifération des algues et notamment, près des rives, des algues vertes filamenteuses est désagréable pour le nageur ; le désagrément est encore plus grand lorsqu'il s'agit d'une fleur d'eau d'*Oscillatoria rubescens* ; la couleur rouge-sang agit psychologiquement sur le baigneur et laisse présumer une eau dangereuse pour l'hygiène alors qu'il n'en est rien. La présence d'*Escherichia coli* présente cependant un danger plus sérieux mais elle n'est pas liée à la présence de l'*Oscillatoria*. (VIVIER, 1967).

Nous ne possédons malheureusement pas d'analyse bactériologique des eaux du lac en période estivale. Mais leur présence est probable, ne serait-ce que par les rejets des oiseaux (GOULD et FLETCHER, 1976).

Leur «apport» comporte des bactéries (coliformes, streptocoques fécaux, Salmonelles et *Clostridium perfringens*). Les études de GOULD et FLETCHER sur les cinq principales espèces de Laridae (*L. marinus*, *L. fuscus*, *L. argentatus*, *L. canus* et *L. ridibundus*, toutes présentes d'ailleurs en Flandre maritime) ont montré la présence de bactéries dans leurs déjections, pouvant contribuer à une importante contamination de milieux non dispersifs.

Au niveau des invertébrés benthiques, signalons avec LEYNAUD et coll. (1970) que, outre les pullulations possibles de «moucheron» -en fait *Chironomidae* issus de larves aquatiques- et de moustiques, les sangsues (*Hirudinae*) peuvent s'attaquer à l'homme pour lui prélever son sang : *Helobdella* et *Erpobdella* notamment, qui ont été observées sur le site.

Certains mollusques gastéropodes d'eau douce sont des hôtes intermédiaires de cercaires de trématodes (douve) donnant des dermatoses chez les baigneurs.

A cette situation déjà préoccupante faut-il encore rattacher le risque non négligeable lié au transport routier de nombreux produits industriels en particulier chimiques et agro-alimentaires puisque la voie expresse qui longe le lac est la liaison principale entre le complexe industrialo-portuaire de Dunkerque (3ème port français de commerce) et l'hinterland, en particulier la métropole lilloise et le bassin minier Nord - Pas-de-Calais. Un drame routier du type *Los Alfaques* (1978) est possible mais même sans être de cette ampleur le renversement d'une remorque-citerne de produits toxiques, corrosifs inflammables peut se produire (existence d'un carrefour dangereux) avec les risques pour les visiteurs comme pour la survie du plan d'eau (Fig. n°27).

En définitive, le lac se situe dans la classe 2 des normes néerlandaises (*Commissie Zwemwater*) relatives à la baignade (de JONG, 1977 et 1978), c'est-à-dire une eau de qualité acceptable mais dont l'amélioration est jugée nécessaire. (Ces normes autorisent d'ailleurs un dépassement occasionnel des seuils pour 20% des échantillonnages.)

Fig. n° 27 - ESTIMATION DES TONNAGES ANNUELS DES FRETS PORTUAIRES

(données 1975).

(transitant par la voie expresse).

Nature du Fret	Importation	Exportation	Flux Journalier
Produits agricoles			
Animaux	36 310	9 030	129,5
Denrées alimentaires	20 220	49 250	198,5
Combustibles solides	0	0	0
Produits Pétroliers	2 425	3 755	17,5
Minerais	14 350	1 110	41,5
Produits métallurgiques	2 850	61 150	183
Minéraux	27 540	42 160	199
Engrais	2 590	340	8,5
Produits chimiques	9 820	13 475	66,5
Art. manufacturés	14 770	56 290	203
TOTAUX	130 10³ t.	236 10³ t.	1,05 10³ t.

(d'après Etude BETURE, Octobre 1977).

533 - Peut-on, en dernière analyse, évaluer le site, lui donner une note en fonction de sa valeur écologique.

Parmi les diverses méthodes proposées nous retiendrons celle de BAUER (1973 - *Die ökologische Wertanalyse*). Les facteurs écologiques du biotope sont notés sur 100 en fonction de leur signification pour le «budget naturel» du système, de même que les fonctions positives de celui-ci (usage, production, jouissance) (*Nutzungsfunktionen*).

Il est ainsi évident que la valeur écologique du site s'est accrue depuis la mise en eau du lac par rapport à celle qu'avaient les zones de cultures. Le tableau suivant compare les deux analyses selon la méthode de BAUER : k coeff. relatif de 0 à 5).

Fig. n° 28 - ESTIMATION ET EVOLUTION DE LA VALEUR ECOLOGIQUE DU SITE

(d'après BAUER, 1973).

A - Facteurs Ecologiques	%	1968		1978	
		K	valeur	K	valeur
- Relief	20	0	0	1	20
- Minéralisation	5	0	0	1	5
- Sol	10	5	50	3	30
- Hydrofacies	10	1	10	5	50
- Climat local	5	3	15	3	15
- Végétation existante	15	1	15	2	30
- Végétation potentielle	15	0	0	1	15
- Faune	10	1	10	3	30
- Etat du biotope	10	0	0	2	20
Total intermédiaire			100		215

B - Fonctions liées au «Naturel».

- Climat local	10	2	20	2	20
- Oxygénation	15	0	0	2	30
- Stockage d'eau	10	1	10	5	50
- Exemption de préjudices industriels	15	2	30	1	15
- Pratique régionale	50	0	0	2	100
Total intermédiaire			60		215
Total GENERAL			160		430

EVOLUTION SUR DIX ANS : 168,75%

Par comparaison, la Hétraie d'Europe a une valeur estimée à 900 et plus.

Si l'amélioration de la valeur écologique du site a été forte (environ 10% par an en moyenne) elle ne représente que 43% de la valeur absolue (valeur 1000). Sans viser à cette perfection, il est cependant envisageable d'obtenir par un aménagement naturel du site une valeur de l'ordre de 510 en jouant en particulier sur la végétation (+20), la faune (+10) et la pratique régionale (+50).

Par une autre approche, le paysage peut être analysé comme un des modes d'appréhension de la synthèse des relations entre les éléments physiques, biologiques et anthropiques en un lieu donné. L'aspect esthétique en est la résultante visuelle et qualitative.

En se fondant sur les travaux de MARKS (1975), il est possible d'apprécier la capacité récréa-

tive des paysages, et ceci sur la base des composantes du milieu naturel. On procède ainsi à une évaluation, à partir de la valeur d'usage (Nutzwertanalyse), selon différents critères hiérarchisés en fonction de leur attractivité sur les loisirs.

On constate ainsi la très faible valeur ludique de l'ensemble du site ($\Omega=10,3$). Selon les seuils retenus par MARKS, ce site ne mériterait que d'être conservé pour sa valeur paysagère. Site médiocre, donc. Ceci tient au poids des zones d'intérêt réduit (champs et prairies) au regard des parties «utiles» pour les loisirs : les rives larges ($\Omega=31,9$) ou étroites ($\Omega=27,5$) qui ne pèsent que 7,37% du total.

5-4 : CONCLUSION

L'ensemble de recherches écologiques conduit à qualifier ce site de médiocre dans son état actuel. Par son paysage, sa «pollution», sa surface, sa couverture végétale, et sa morphologie, il rassemble toutes les conditions défavorables à son développement à des fins de loisirs. Seul le climat relève son bilan.

Mais c'est au niveau de ses potentialités que le site révèle tout son intérêt. Il peut et -même- il doit être aménagé car d'une part, il offrira de l'espace libre et d'autre part, la demande d'usage est d'ores et déjà réelle.



VI - DESCRIPTIF DES DIFFERENTS AMENAGEMENTS ECOLOGIQUES PROPOSES

«L'écologie d'aménagement n'est vraiment satisfaite que lorsque son intervention n'est plus perceptible» (FISCHER, 1976).

Les possibilités d'aménagement du site du JARDIN NAUTIQUE sont inscrites dans un périmètre très strict, limité à l'Ouest par la «barrière» de la voie expresse. La zone «vierge» qui sera acquise par la Communauté Urbaine de Dunkerque consiste en terres agricoles d'une surface d'environ 33 ha y compris la ferme.

Les watergangs, le lac, la voirie actuelle créent une orientation générale Nord-Sud des infrastructures. Le projet d'aménagement de loisirs reprend cet axe «naturel» et le découpe perpendiculairement pour obtenir un épannelage approximatif à trame orthogonale.

Mais un certain nombre de «travaux» écologiques, pour la réhabilitation du milieu ou pour la mise en valeur de ses potentialités naturelles, doivent être envisagés préalablement à toute fonction de loisir.

6-1 - Le lac (sensu stricto) (BALLAND, 1978, GACHTER, 1971).

La situation écologique (écosystémique) a été largement développée et exprimée en terme de système par la figure 25.

Dans l'état actuel, le lac ne présente pas les caractéristiques attendues d'un plan d'eau ni pour la baignade (mais elle y est interdite, en théorie) ni pour la pêche. Il a été dit que, pour survivre par lui-même et pour être socialement et écologiquement «utile», le lac devait quitter la situation IV dans laquelle il se trouvait pour remonter l'évolution accélérée qu'il avait subie par la pollution nutritionnelle vers un stade moins «eutrophe».

Ceci revient également à gagner un rang dans la classification néerlandaise et quelques points en terme de valeur écologique selon BAUER.

«Améliorer la qualité d'un plan d'eau consiste par définition à modifier ce que l'on a pour obtenir ce que l'on veut». G. BARROIN, (1978).

Ceci implique cependant qu'un choix préalable soit fait sur l'affectation du lac.

Compte tenu de ses caractéristiques et de la concurrence locale (POINSOT, 1978b), de l'usage antérieur du site, de sa médiocrité qualitative et des possibilités de transfert d'affectations sur des espaces libres, il convient d'opter pour les fonctions suivantes, par ordre croissant de contraintes qualitatives.

- cadre paysager
- réserve ornithologique et cynégétique (en hiver)
- centre de pêche sportive aux carnassiers

C'est le choix que nous proposons.

Ceci, à l'évidence, tend à limiter, voire à réduire la fréquentation directe du lac. C'est qu'en effet les activités de loisirs sont une influence sur la qualité des eaux (souillures, déjections, détritiques produits de soins épidermiques, etc...) (LEYNAUD et coll, 1970).

Voyons quels efforts il faut porter sur le milieu pour obtenir du lac qu'il soit un domaine piscicole de grande qualité, hébergeant en nombre suffisant des espèces intéressantes pour le sport et la gastronomie, l'obtention de ce but assurant ipso facto les autres. On prendra cependant garde de ne pas créer ainsi de réactions parasites de l'écosystème.

Quelles sont les techniques de restauration de lacs applicables au cas d'Armbouts-Cappel (c'est-à-dire à un plan d'eau peu profond, polymictique et nutritionnellement pollué) permettant à la fois la maîtrise de l'état et le contrôle de la dynamique du système ? (BARROIN, 1978 - GONELLA, 1970 - MEYBECK, 1978 - RIZET, 1976 - THOMAS, 1962).

1) Moyens physiques

1-1 - Dragage du sédiment, riche en substances indésirables, sans mise en suspension ni en solution.

1-2 - Isolation du sédiment par couverture

1-3 - Récoltes du plancton, des macrophytes, des poissons.

1-4 - Inactivation - Précipitation.

2) Moyens chimiques (algicides)

3) Moyens biologiques (manipulations des relations proie prédateur).

En fait, l'examen de la figure 25 permet de voir sur quels facteurs de l'écosystème il est possible d'intervenir et quels effets en aval cette action peut engendrer.

Nous avons déjà vu qu'une intervention directe auprès de l'influence animale n'est guère envisageable (sauf par un transfert partiel vers une réserve ornithologique à créer), de même que sur les caractéristiques hydrogéologiques locales.

- Sur le bassin, seules sont modifiables les berges.

- Sur le climat, une action sur le vent peut être envisagée dans le sens d'une réduction de vitesse et de turbulence afin de faciliter le développement littoral des végétaux (cf.42-2) mais ceci aurait un effet négatif encore plus dommageable sur le turn-over et l'homogénéité des eaux avec ce que cela implique au niveau de la vase.

- Sur le sédiment, une intervention est envisageable ne serait-ce que pour ne pas laisser une «épée de Damoclès» en cas de réussite du traitement général (problème de ralarage).

- Sur le développement littoral : celui-ci doit être facilité.

- Sur la charge organique : les actions doivent contribuer à obtenir un bilan négatif du phosphore, de façon qu'il en sorte beaucoup plus qu'il n'en rentre dans le système.

D'un point de vue général, le phosphore est l'élément qui dans des conditions naturelles limite la production végétale d'eau douce. Ceci n'a rien de surprenant quand on sait les aptitudes remarquables qu'a cet élément mineur de l'écorce terrestre pour se lier aux éléments majeurs que sont le calcium, l'aluminium et le fer et limiter ainsi sa présence en solution dans les eaux de surface.

Des raisons supplémentaires d'ordre beaucoup plus pratique conduisent à contrôler l'eutrophisation par la suppression des apports en phosphore :

- il est difficile de maîtriser les apports en azote ou en carbone dont l'atmosphère constitue une source intarissable.
- les aptitudes du phosphore pour se lier biologiquement ou physicochimiquement peuvent être exploitées.

- Sur les poissons, l'intervention doit être double, à la fois systématique et halieutique.
- Sur l'influence humaine, par le choix et la localisation des aménagements proposés. C'est ainsi qu'on tendra à repousser le maximum de la fréquentation nuisante (dont -a priori- sont exclus les pêcheurs) à l'Est de watergang Yoorendyck.

«Pour restaurer un lac, il faut d'abord traiter la population, ensuite le bassin versant et enfin le lac, si c'est encore nécessaire». (BARROIN, 1978).

Notons que, par ailleurs, le transfert des fortes fréquentations à l'extérieur du bassin versant du lac éloignerait les visiteurs du bruit lié à la voie express (qui est ressenti, même s'il n'est pas perçu comme gênant) et des risques liés à la circulation de véhicules dont de nombreux poids lourds.

Enfin, il conviendra d'inclure le facteur *Temps*. C'est pourquoi, nous proposerons une procédure d'actions successives.

Mais avant de détailler ces actions, précisons qu'il ne faut s'attendre à aucune solution miraculeuse et que seul un effort homéopathique soutenu est susceptible d'engendrer les modifications nécessaires.

6-1-1 - Aménagement des berges

L'intervention sur les berges a plusieurs conséquences immédiates (cf. fig.25) sur le développement végétal littoral et pélagique et sur l'homogénéité lacustre qui agit sur la disponibilité générale en oxygène, y compris au niveau du sédiment.

L'aménagement doit surtout viser dans ce cas précis à permettre le développement des ceintures littorales au maximum de leur possibilité et consolider les berges contre l'érosion due au «batillage» avec ce que cela implique comme effets «en aval».

a) Les ceintures végétales (MERIAUX, à paraître)

Il faut implanter des végétaux aquatiques susceptibles

- d'amortir la houle et donc défendre la rive.
- de fournir des habitats diversifiés à l'entomofaune et aux poissons.
- de servir de frayères à ceux-ci et selon les modalités qui leur sont propres.
- d'épurer le milieu.

Malgré la part importante prise par l'homme dans le développement actuel des végétaux, les plantes doivent suivre les conditions écologiques mises en lumière par l'analyse phytosociologique du lac (cf. 42-2 et carte de la végétation).

Certains peuvent s'étendre spontanément, sans intervention directe.

C'est en particulier le cas des hydrophytes fixés constituant les prairies sub-aquatiques (*Cladophora*, *Potamogeton*, *Ranunculus* et *Chara*).

Le groupement à *Cladophora* se situe essentiellement sur la rive Est, bien protégé contre les vagues.

Rappelons que le *Charetum vulgaris* est directement dépendant de l'«abondance» des Anatidés (fig.9). Il prend son importance au Sud-Ouest. Les genres *Chara*, *Littorella* et *Elodea* ont un rôle épurateur certain. Il est par contre possible de développer le *Myriophyllum - Nupharetum (Nymphaeion)* par plantation de nénuphars (*Nuphar luteum*) sur la pente située à une distance de 15 - 20 m du parcours de pêche. Ceci nécessite cependant d'accroître localement la protection au vent d'Ouest par un développement des brise-vents de cette rive déjà «paysagée» et une ceinture d'hélophytes sur la risberme.

Mais il est vraisemblable que seul *Myriophyllum* se développera et que le *Nuphar luteum* risque de ne guère prendre souche. Par contre, on peut envisager le développement de *Potamogeton lucens*.

Il paraît donc plus raisonnable de laisser les hydrophytes fixés croître à leur rythme (à la rigueur favoriser celui-ci) que de vouloir anticiper leur évolution. De toute façon, le développement maximal des ceintures sub-aquatiques sera atteint, compte tenu de l'accroissement observé depuis plusieurs années, d'ici deux à trois ans. Ces herbiers constitueront alors de bons habitats pour les mollusques, les larves d'insectes, etc..., donc des réservoirs de nourriture mais aussi des frayères pour les Cyprinidés (poissons blancs).

Par contre, l'intervention écologique (et ici également paysagère) peut et doit porter sur les Hélophytes, les végétaux émergents. *Scirpus*, *Carex* et *Phragmites* se développent surtout au Nord et au Sud du lac. Ce sont de bons épurateurs.

Leur extension à des zones vierges peut être envisagée :

. Sur la rive Ouest, un *Scirpo-phragmitetum*, discontinu à cause de la pêche, peut être installé la risberme entre les palplanches du «parcours de pêche» et la bande à *Cladophora* et le *Charion fragilis*, protégés par le *Potamion*, c'est-à-dire entre le début du traitement paysager de la rive et l'écluse nord.

(*S. tabernaemontanii*, *P. australis* et *Typha latifolia*, p. expl.).

On trouve là une zone de faible lame d'eau relativement moins agitée par l'existence des espèces affleurantes «alourdissant» le milieu aquatique.

L'extension septentrionale du *Scirpetum* ou du *Phragmitetum* est liée à l'extension préalable du *Potamion* éventuellement du *Magnocaricion* ou du *Ranunculetum baudotii* (cf. fig.10).

. Sur la rive Sud, l'ensemble *Phragmiton-Caricion* existant doit être protégé. Or, il est dans la zone la plus fragile du lac (faible pente de la berge sur une longue distance), la plus accessible et donc la plus fréquentée par les baigneurs qui trouvent -de plus- à proximité immédiate l'espace appropriable qui leur est nécessaire (cf. 42-6).

. La rive Nord, la plus diversifiée, présente toutes les associations aquatiques du lac. Très «anciennement» aménagée pour sa stabilisation, elle est peu fréquentée. Toutefois, son importance est limitée par la pente assez forte qu'elle présente. Aucun travail de cette rive n'est à faire. Le choix d'un accès mini-nautique en cet endroit est le seul possible (la pêche dans le lac étant limitée au «parcours» proprement dit et aux barques éventuellement).

En effet, il peut être toléré un franchissement par ponton de la zone à *Carex* pour accéder à des pontons flottants de mise à l'eau et d'accès aux «planches», optimists et barques. Ces pontons assureront, en retour, une protection locale à la houle (COULON, 1978).

. La rive Est est laissée en l'état (développement du groupement à *Cladophora*) en ce qui concerne, du moins, la végétation.

Un point important consistera à récupérer les végétaux annuels qui meurent en automne pour extraire la matière végétale (contenant le P organique et ne pas la laisser se décomposer dans le lac.

b) Consolidation des berges (COULON, 1978).

Si la majeure partie du lac est maintenant stabilisée par des travaux importants de maintien des berges (palplanches, treillis plastiques, enrochement et pente faible autostable) certains secteurs nécessitent, sur la rive Ouest, des interventions de consolidations.

Le concept de stabilité des pentes d'une carrière est généralement défini (et exprimé) par le quotient η des forces de rétention et d'expansion affectant les masses en inclinaison. La stabilité obtenue pour $\eta \gg 1$.

A cette stabilité interne, convient-il d'ajouter l'action érosive de l'eau par les pluies mais surtout par les vagues. Celles-ci créent sur les rives du lac un plateau horizontal d'érosion, surmonté d'une bordure escarpée et instable (falaise d'érosion) (BOTTGER, 1972).

Ce phénomène est encore bien visible en de nombreux points du lac d'Armbouts-Cappel. Même le secteur « traité » en parcours de pêche ne présente pas toujours une défense suffisante, en particulier de part et d'autre de l'écluse Sud, secteur directement confronté à la houle de Nordet. De plus, il ne faut pas négliger les dégradations dues aux visiteurs.

Sous le niveau de l'eau, l'action conjuguée des courants éoliens et des circulations de nappe fait fluer le sable vers un profil submergé plus stable (degré de stabilité tendant vers 1).

Selon BOTTGER, (1978), la stabilité d'un matériau bouillant, ayant un angle de friction interne de 35° pour le sable en milieu sec, n'est assurée que si $\eta = \text{tg } \zeta / \text{tg } \beta \geq 1$ d'où la pente de la rive doit être telle que le rapport H/L soit de 1/1,4, dans les parties immergées et exondées. Il préconise une inclinaison de 1/5 dans la zone soumise à la houle. Une berge de baignade doit être inférieure à 1/10.

Mais nous avons vu que si nous trouvons une inclinaison de 1/20 au Sud du lac, la plupart des berges sont à 1/12,5 et même à 1/5,8 pour la rive Nord.

On conçoit dès lors l'importance d'une consolidation vitale tant pour le lac que pour les rives, contre le batillage essentiellement.

C'est pourquoi, il faut envisager sur la rive Sud Ouest, deux actions :

- depuis la partie « paysagère » du parcours de pêche jusqu'à l'écluse, une remise en état de la berge à l'arrière des palplanches (par gabion de pierres, type gabio plast et terre végétale) et la plantation d'arbres sur les rives saules, aulnes, plus un doublement des obstacles pour l'atténuation de la houle par la pose d'un cannelage d'osier sur des pieux immergés (clayonnage) à 8 - 10m de la rive et des plantations abondantes de végétaux héliophytes. (*Scirpus tabernaemontanii*, *Alisma plantago*, *Phragmites australis*, *Typha latifolia*).

Le tissage peut éventuellement être fait de tissu polyéthylène sous tension (type NICOLON 66 321 à mailles de 375μ) disposé en quinconce et espacé de 0,5 à 1 m.

- du Sud de l'écluse jusqu'à la rive Sud, on procédera à l'extraction de l'arête supérieure de la falaise jusqu'à une distance de 2m environ - $\beta = 35^{\circ}$. La surface découverte sera nappée d'un treillis plastique genre Enkammat ou autre géotextile, lequel sera recouvert des terres extraites et engazonnées. (Ray grass - Fétuques - Trèfles).

La risberme, en partie sous treillis, peut être noyée par un enrochement grossier (80% (80% en Ø 30 et 20% en Ø 10) - ou à défaut par des gabions à condition de les recouvrir entièrement - sur lequel l'excédent de terres sera boulé.

Ces travaux devront être faits minutieusement, sans attaquer la végétation déjà en place (la *Phragmitae* en particulier).

Sous ces conditions, on peut espérer que :

- les pentes immergées ne bougeront plus (pas de colmatage des fonds)
- la ligne de rivage sera fixée à son niveau actuel
- les végétaux pourront développer leurs potentialités tant sur la risberme et la beine que sur la berge
- le paysagement sera assez efficace pour inverser le processus «palplanches : détérioration d'un site artificiel» par «palplanches : aménagement ponctuel d'un site naturel».
(il existera alors 6 types différents de berges pour le lac).
- le système lacustre exploitera cette évolution vers la diversifications au profit de son équilibre interne et de sa productivité globale.



6-1-2 - Traitement du sédiment

La régénération du lac passe par le traitement du sédiment, plus précisément de la vase qui s'est déposée sur le substratum sableux.

En première approximation, le remplissage du lac se fait à raison de 0,04 m/an ce qui porte à un peu plus de deux siècles sa longévité potentielle.

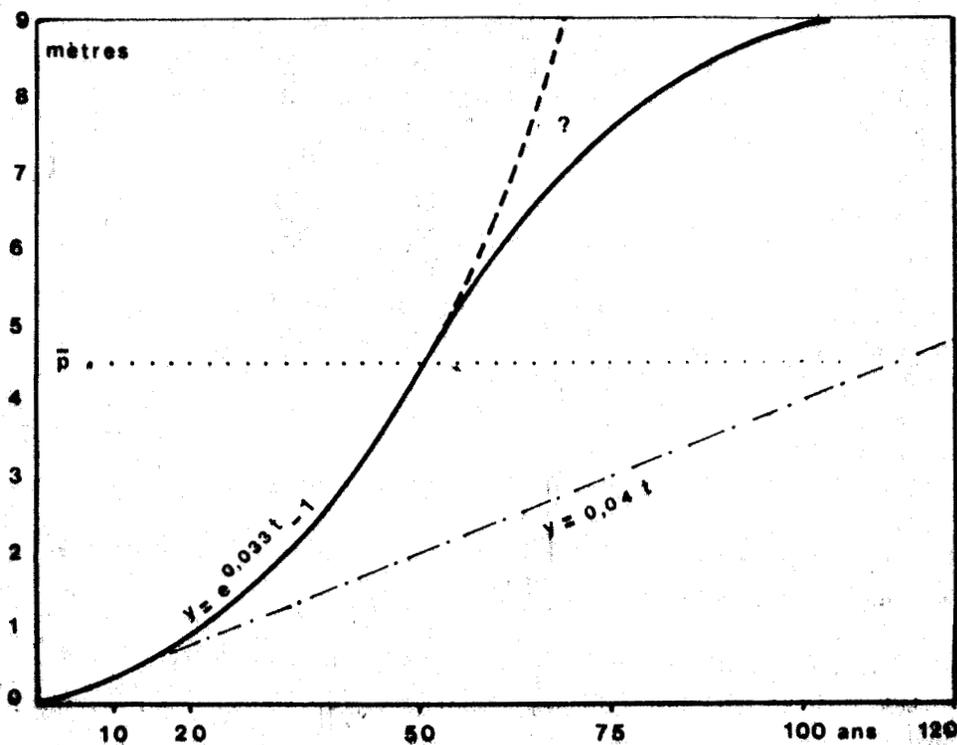
Cependant, on peut considérer que cette sédimentation ira en s'accélégrant à mesure que l'épaisseur de la lame d'eau diminuera (avec une charge nutritive supposée constante). L'évolution suivrait alors, du moins dans sa première phase, un rythme exponentiel du type

$$Y = e^{at} + b \text{ (cf. figure n°29).}$$

Avec $a = 0,033$ et $b = -1$ pour la période 68-78, nous arrivons dans dix ans à une épaisseur de 0,9 m.

Le lac serait, de la même manière, à moitié rempli dans une quarantaine d'années et totalement comblé dans 60 ans.

FIG. 29 - EVOLUTIONS POSSIBLES DU FOND LACUSTRE -



En fait, la réalité du processus est plus complexe (courbe de type sigmoïde) car d'autres effets interviennent (volume du lac, homogénéisation, compactage de la vase).

Néanmoins, la survie du lac par son évolution naturelle est comprise entre 60 et 250 ans avec une forte présomption pour une «disparition», en tant que plan d'eau, vers 2050. Même sans se préoccuper de ces perspectives à très long terme, on voit que l'intervention sur le sédiment doit viser à ralentir le comblement du lac et à retirer de celui-ci la charge en polluants stockés, comme le P., les métaux lourds (Pb, Zn), etc..., susceptibles d'être relargués à la suite de l'amélioration du plan d'eau.

A ces fins, un dragage profond doit être envisagé. Celui-ci devra s'efforcer de ne pas remettre la vase en suspension. C'est pourquoi, on peut préconiser un *dragage par suceuse pneumatique*.

Le principe consiste à aspirer le sédiment par mise en dépression d'une cloche immergée puis expulser par air sous pression la vase recueillie (cycle à trois temps). (BARROIN, 1978). Cette intervention peut être envisagée dès le début du printemps après «l'hibernation» profonde des poissons et leur reproduction mais avant les premiers «blooms» algaux. Elle devra éventuellement être refaite deux ou trois ans plus tard (selon analyses).

La question à préciser concerne le devenir des vases extraites. Celles-ci doivent pouvoir être déposées à proximité du site mais en dehors du «bassin-versant» du lac. On peut envisager de les utiliser pour constituer une couche de terre en vue d'un engazonnement sur diverses zones du «Jardin nautique» (écrans verts de ceintures, parcours de pêche, réserve ornithologique).

Si cela s'avérait nécessaire, le sédiment pourrait être isolé, en place, par une couche de matériau inerte, soit perméable en petit (sable sur 15 cm, géotextile non tissé type *Sodoca*) soit imperméable (couche de béton, géotextile + bitume, etc...). Mais cette intervention «dure» doit être considérée comme une ressource ultime car lourde de conséquences pour la biologie du lac (stérilisation longue du fond)

Par contre, l'action de la suceuse pneumatique s'exerçant aux côtes - 7 à - 9 m, elle sera sans effet sur la flore d'hydrophytes qui ne s'étend guère au-delà de la côte - 4m.

Enfin, un dernier recours, un traitement «phospho-stérilisant» de la vase peut être envisagé par mélange, grâce à un «soc hydraulique», de sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3$. (BARROIN, 1976b).

6-1-3 - Régulation du développement pélagique

Le développement saisonnier du phytoplancton, plus encore que le zooplancton, doit pouvoir être contrôlé et ceci pour deux raisons :

a) le phytoplancton conduit à des proliférations de Cyanophycées préjudiciables aux usages du lac, d'autant que leur valence écologique les fait apparaître en pleine saison estivale (92% du phytoplancton).

Une élimination de ces espèces peut être envisagée.

On a parfois utilisé (en Suède notamment), dans le but de contrôler le plancton surabondant d'un lac, un toxique comme le sulfate de cuivre déversé de telle façon qu'il ne crée aucun mal au poisson (à la dose dans l'eau de 1 à 2 mg/l). Cette méthode est à proscrire : d'une part son efficacité n'est que momentanée, quelques semaines au plus, le plancton se reproduisant rapidement ; de plus, en tuant massivement un grand nombre de microorganismes, le procédé va à l'encontre du but poursuivi (VIVIER, 1967).

Par contre, on ne doit pas négliger ces moyens comme outil momentané et complémentaire d'autres méthodes, en surveillant les extensions de toxicité (problème de la spécificité) et de dégradabilité (BARROIN, 1978).

Ainsi, la 2-3 dichloronaphtoquinone s'est révélée efficace aux U.S.A. à la dose de 2 microgrammes par litre pour détruire les Cyanophycées. Malheureusement, les effets ne sont pas durables et le procédé est très coûteux de plus certaines souches européennes de Cyanophycées sont insensibles.

On s'oriente maintenant vers des méthodes faisant appel à la lutte biologique soit par des parasites (virus de Cyanophycées) soit en introduisant de nouveaux organismes capables de se nourrir aux dépens des algues produites en excès. (LAURENT, 1971).

Néanmoins, les précautions à prendre sont du même type que celles prises pour les moyens chimiques. Les effets systémiques sont, hélas, très complexes.

Selon ANGELI (1976), les actions synergiques de la prédation par les poissons et de la compétition spécifique déterminent la taille et par suite la nature des espèces planctoniques dominantes.

D'une façon générale, le poisson élimine spécifiquement les organismes de grande taille, favorisant le développement des organismes les moins facilement repérables.

La disparition des grands filtreurs (Cladocères, Calanides) favorise la prolifération du phytoplancton, des petits Métazoaires et des Ciliés. Ainsi, un plan d'eau recevant une charge trop importante en poissons verra-t-il son plancton initial évoluer vers des associations à Chlorococcales et Rotifères.

Divers auteurs ont démontré les effets de la prédation par les poissons sur la composition du plancton (voir influence sur la composition spécifique des Cladocères). Fig.30.

FIG. 30 - RELATION EXISTANT ENTRE LA DENSITE DU POISSON ET LES POPULATIONS DE CLADOCERES du genre *DAPHNIA* (d'après ANGELI, 1976).

<i>Curvirostris</i>	4		3			
<i>Pulex</i>	2		5			
<i>Pulicaria</i>	4		4			
<i>Longispina</i>	2	1	5	3	1	
<i>Hyalina</i>		1	7	4		
<i>Cucullata</i>					6	
	0	10	100	1000	10000	100000

DENSITE DU CHEPTEL PISCICOLE PAR HECTARE.

b) Dans le cas d'Armbouts-Cappel, les situations bien tranchées entre la phase printanière (Mars à Juin) et la phase estivale (Juillet à Octobre) permet d'envisager des méthodes plus simples et aux effets mieux cernés. Il est possible d'agir sur l'écosystème par l'enlèvement

systématique de l'excès des organismes produits, ce qui soustrait au lac des tonnages importants de fertilisants. Ainsi, la Cyanophycée *Aphanizomenon flos aquae* contient 9,2% d'azote en poids sec et 0,36% de phosphore. Le ramassage de cette algue se révélerait intéressant, quoique coûteux. On peut estimer la récolte à 5 t/ha (GOMELLA, 1970). Ceci nécessite le passage régulier (fréquence à définir de façon pragmatique) d'un «chalut à plancton» (mailles de 28 μ ou plus) durant l'été, action qui se porterait sur les Cyanophycées et permettrait de laisser se développer les autres groupes.

Un autre procédé consisterait à pomper l'eau du lac dans ses lames supérieures, la filtrer sur bande textile et renvoyer l'égouttat au lac.

(Remarque : Eventuellement, si les débits sont importants, l'égouttat peut être rejeté au Yoorendyck ou «en aval» du site, ce qui accroîtrait le taux de renouvellement des eaux du lac : 18 ans pour 1 l/s (0,03 an soit 10 jours pour 1 m³/s). Mais le maximum de prélèvement est égal au taux de réalimentation phréatique qui est de 170 m³/j soit 2 l/s, d'où T.O. \approx 12 ans. Ceci porterait le rapport P/T.O. à 0,375 ce qui ne change pas la place d'Armbouts-Cappel dans la figure 20 si P demeure constant).

Ici encore le devenir de la récolte par l'une ou l'autre méthode se posera (cf. putréfaction de la flore algale extraite du lac Kir ou celle des lentilles d'eau - *Lemna sp.* - dans les canaux de la région). Mais on peut toujours envisager leur fermentation anaérobie, avec production de gaz méthane CH₄, et leur incinération ou leur utilisation - en particulier dans le cas du filtrat - sous forme sèche comme engrais (ce qui fermerait une boucle du cycle du P...) ; ou encore d'alimenter par ce plancton l'étang de pêche (cf. ultra).

Accessoirement, un moyen d'inhibition complémentaire de ces algues serait de maintenir la température des eaux du lac artificiellement inférieure à 15⁰ C, ce qui permettrait éventuellement d'implanter des poissons salmonidés (*Salmo gairdneri* ou Truite arc-en-ciel). Ce refroidissement peut être obtenu par des systèmes de pompes à chaleur Eau/Eau ou Eau/Air.

Toutefois, le prix de revient de cette technique est actuellement hors de proportion avec le ou les bénéfices attendus : limitation des algues, pêche à la truite et chauffage de vestiaires ou laboratoires... Mais ce principe n'est pas à exclure a priori.

6-1-4 - Déséquilibre de la charge en P

Il a été constaté que le développement des Cyanophycées comme des autres espèces phyto-planctoniques dépendait des actions conjointes de la température de l'eau et de la concentration en Phosphore Minéral Dissous (en $\mu\text{gP./l}$) avec des valeurs optimales.

S'il s'avérait possible de maintenir P.M.D. en-dessous de la valeur-seuil des Cyanophycées, leur croissance s'en trouverait inhibée.

Dans la pratique, la réduction du taux de phosphore a d'autres effets bénéfiques sur le lac. C'est pourquoi la réduction de la concentration de P. est importante.

L'objectif est d'atteindre le seuil des 15 $\mu\text{g/l}$ (puis de s'y maintenir) (soit 15 kg P pour l'ensemble des eaux) ce qui correspond à une réduction des 2/3 de la charge actuelle. Celle-ci doit être déséquilibrée pour qu'il y ait plus de P extrait du lac que de P introduit.

Ceci est envisageable par régulation : à partir des apports qui donnent une charge Q au lac, on en extrait régulièrement la charge Q' telle que $\Delta \approx 15 \mu\text{g/l}$.

Mais ceci passe au préalable par l'élimination de l'excès de phosphore présent.

En fait, seule une action ponctuelle est possible pour éliminer P.

L'enlèvement du phosphore peut être obtenu par addition de sels (Chlorure ferrique, sulfate d'aluminium, etc...). Les phosphates précipitent en «flocs» dans les boues, il faut évidemment veiller à ce qu'ils ne puissent pas être relargués ultérieurement vers le lac (cf. 61-2). Le rendement peut atteindre 80 à 90% en phosphates.(THOMAS, 1962).

En Suède, le sulfate d'aluminium a servi à précipiter le phosphore d'un petit lac (6 ha et 3 m de profondeur) de la banlieue de Stockholm, une amélioration a été constatée à la suite de ce traitement : la teneur en phosphore a été réduite de 50% et le phytoplancton a décliné de 80%.

Ces essais montrent qu'on peut agir sur les lacs mais le prix de telles expériences reste encore très élevé. (LAURENT, 1971).

Une telle tentative peut être faite compte tenu de la modestie du lac d'Armbouts-Cappel.

Par contre, on ne peut envisager de traiter le lac par épandage de craie pulvérulente qui n'est pas un «moyen de restitution» d'un lac car, malgré son action sur le phytoplancton, cette méthode ne porte pas efficacement et durablement sur les charges organiques, P. compris (CAVELIER, 1978). Rappelons aussi que le lac est déjà fortement bicarbonaté et que son pH est nettement basique.

Ensuite, pour le maintien du taux obtenu, on peut préconiser une solution certes complexe mais durable qui consisterait à prélever par pompage un débit important d'eau au niveau de la côte - 5m pour le faire transiter à travers un «champ» de végétaux supérieurs aquatiques situé à la pointe Nord-Ouest de la réserve ornithologique ou -si les problèmes fonciers le permettent- au Nord du lac, avant de se déverser à nouveau dans le lac.

Ceci est en fait la création d'une «zone lacustre littorale» en dérivation du lac. Elle pourrait être constituée des végétaux suivants : *Scirpus lacustris*, *S. maritimus*, *S. tabernaemontanii*, *Phragmites australis*, *P. communis* ou encore *Typha angustifolia* et *T. latifolia* à raison de 20 pieds/m². Les mêmes aptitudes se rencontrent chez *Sparganium ramosum*, *S. simplex*, *Butomus umbellatus* et *Juncus sp.*

(DEJONG et coll, 1977 - KIEFFER, 1967 - DELELIS-DUSOLLIER, 1976).

Il est maintenant bien démontré par de nombreuses études que ces végétaux ont une action efficace sur les charges polluantes d'une eau (ammoniac, nitrates, DCO, DBO₅, titre en Coliformes, etc...).

Le développement industriel de cette méthode bio-hydrobotanique est envisagé notamment par l'Agence de l'Eau, le Max-Planck Institut et l'ACNA/Montédison.

En ce qui concerne les phosphates, ceux-ci sont abattus d'environ 50% en été (20% en hiver) mais ce taux dépend du «temps de contact» donc du débit et de la surface plantée.

Si l'on envisage pour Armbouts-Cappel un prélèvement maximum de 2 l/s ($\approx 7 \text{ m}^3/\text{h}$) et un temps de contact de 7 jours, il faut un volume de 1210 m³ alimenté par une pompe immergée mais on peut préférer un pompage par éolienne.

Avec une lame d'eau moyenne de 0,5 m, la surface du premier traitement par la roselière à *Phragmites australis* sera de 600 m² en 7 bassins successifs.

On lui fera succéder un transit par les «joncs des tonneliers», *Scirpus lacustris*, plantés dans un chenal de 50 m de développé pour 12m de large. Afin d'assurer l'écoulement, le fond des parcelles est imperméabilisé par un film plastique, ayant une pente moyenne de 1%. (DELELIS-DUSSOLIER, 1976).

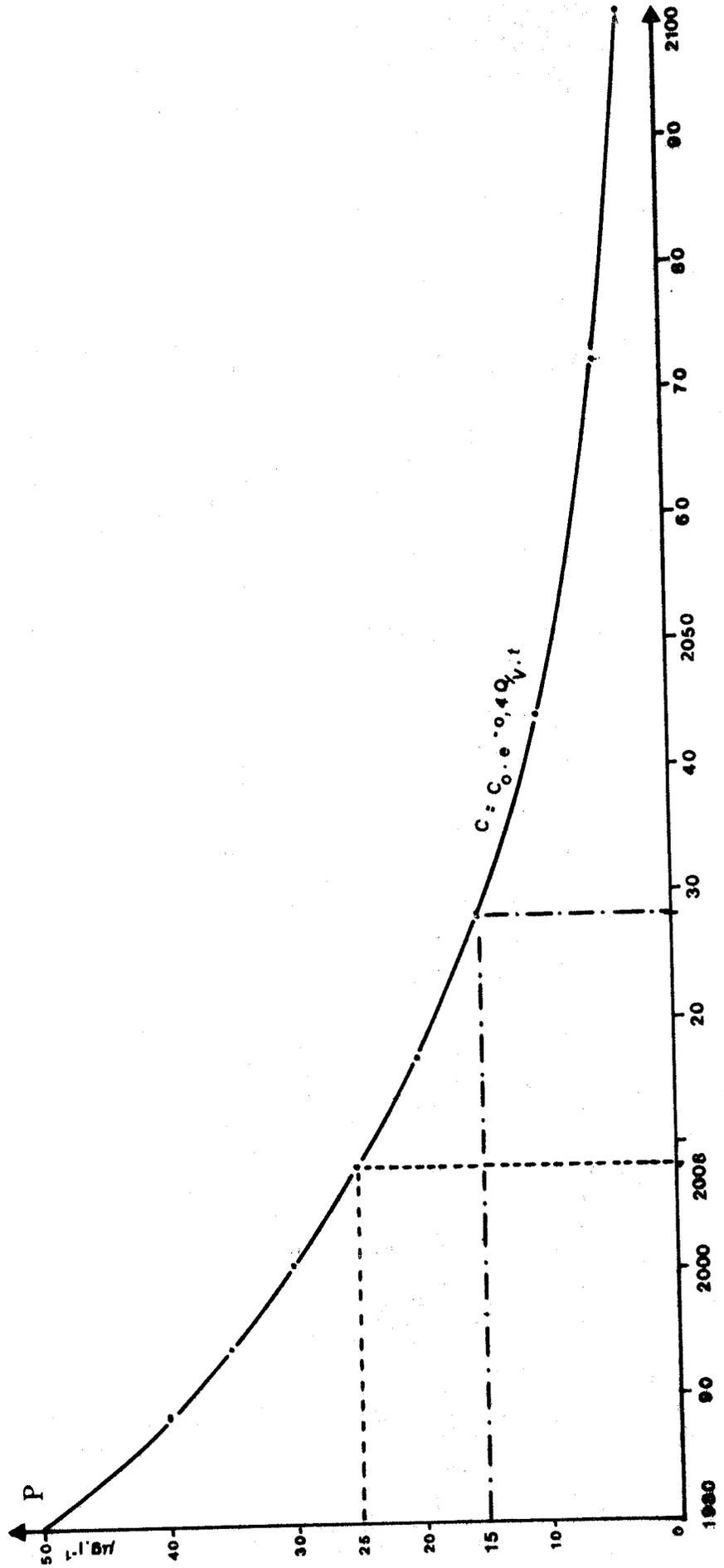
Une coupe périodique de ces joncs est nécessaire.

L'emprise totale du système ne dépasse pas 0,15ha.

Par cette seule méthode, on aboutirait -en théorie et en considérant qu'il n'y a plus d'apport de phosphore- à la valeur seuil de 15 µg/l en 48 ans environ. En effet, l'équation donnant la variation de la concentration en fonction du temps, avec un rendement épurateur de 40% est la suivante :

$$C = C_0 \cdot e^{-0,4 \cdot \left[\frac{Q}{V} \cdot t \right]}$$

FIG. N° 31 - VARIATION DE LA CONCENTRATION EN P AU COURS DE L'EPURATION BIO-PHYSIQUE -



où C_0	charge initiale ($50 \mu\text{g/l}$)	
Q	débit de la pompe ($170 \text{ m}^3/\text{h}$)	
V	volume du lac (10^6 m^3)	
t	temps en jours	(cf. figure n° 31).

Cette méthode est insuffisante par elle-même mais peut contribuer à compenser les apports annuels et maintenir la charge à une valeur constante qui soit satisfaisante : $\frac{C}{C_0} = 0,975$ par an.

ce qui revient à dire que l'on peut équilibrer un apport externe correspondant à 2,5% de la charge du lac (soit 1,25 kg en 1978).

Ce projet passe par une analyse plus fine de la charge en P. total. L'estimation de 50 ng/l est comprise, d'après les analyses de 1979 (cf. Annexe 4bis) entre 183 $\mu\text{g/l}$ en surface, et 33 $\mu\text{g/l}$ au fond. Il y a un gradient saisonnier du P. lié à la densité du nanoplancton.

A fortiori l'application de ce système après abattement même partiel de la charge totale, p. ex. à 25 kg, par le sulfate d'alumine par exemple, permet d'espérer, toutes choses égales par ailleurs, d'atteindre le taux «fatidique» des 15 $\mu\text{g/l}$ dans une vingtaine d'années.

Mais toute augmentation du débit Q diminuera proportionnellement le temps t pour le même abattement (avec une augmentation proportionnelle de la surface du traitement).

Ainsi, une pompe de 350 m^3/j permettrait, sur 3 ha, de passer de 25 à 15 $\mu\text{g/l}$ en 10 ans ($C/C_0 = 0,95$ soit un contrôle de charge de 5%).

On obtiendrait enfin de meilleurs résultats si la charge en P n'était que 30 $\mu\text{g/l}$ au départ, soit 15 $\mu\text{g/l}$ après traitement, etc.

6-1-5 - Aménagement piscicole (DAGET et coll, 1968).

L'aménagement piscicole doit intervenir sur le système et sur les plaisirs halieutiques. Nous proposons comme option pour le lac la pêche sportive aux carnassiers. Ceux-ci doivent être des espèces de «pleine-eau», par opposition aux poissons de marais et d'étangs à forte végétation.

Parmi les espèces intéressantes, nous citerons :

<u>Esocidés</u> :	Brochet	(<i>Esox lucius</i>)
<u>Cyprinidés</u> :	Gardon	(<i>Rutilus rutilus</i>)
	Vandoise	(<i>Leuciscus leuciscus</i>)
	Goujon (sous réserve)	(<i>Gobio gobio</i>)
	Ablette	(<i>Alburnus alburnus</i>)
	Brême	(<i>Abramis brama</i>)
<u>Percidés</u> :	Perche	(<i>Perca fluviatilis</i>)
	Sandre (sous réserve)	(<i>Sander lucioperca</i>)

Il s'agit d'une liste provisoire d'espèces adaptées à un lac de 10m, oxygéné et assez chaud, pauvre en végétaux, à fond sablo-vaseux. D'autres critères doivent être pris en compte pour le choix définitif.

Les carnassiers sont la Perche et le Brochet ou le Sandre.

Le Brochet a l'avantage d'une certaine noblesse de par la sportivité de sa pêche (DUBORGEL, 1967). Mais il est (sauf dans sa jeunesse) presque exclusivement carnassier, voire d'un cannibalisme actif. De par sa morphologie, c'est un chasseur, ce qui nécessite une végétation pour l'affût et une eau claire pour voir ses proies.

Une nupharaie est très utile pour que les jeunes brochetons puissent «téter» le périphyton sous les feuilles nageantes. La fraye implique une eau à 10 - 12° C en hauts fonds tranquilles (prairie inondée, etc) où ils sont très vulnérables.

Sa résilience spécifique est assez faible et les gros brochets âgés sont coûteux car la croissance va en diminuant avec l'âge (175 kg de poissons divers pour faire un brochet de 8 kg et de 1 m, soit environ 12 ans).

Il n'est pas parfaitement en accord avec le lac d'Armbouts-Cappel.

Le Sandre est aussi très estimé pour la pêche sportive. Il ressemble à la Perche, en plus élancé. Il peut atteindre 1,2 m pour 12 kg en 15 à 20 ans. Il exige, plus que la Perche, des lacs assez grands, plutôt chauds et bien oxygénés. Il hante les zones d'eau libre, les centres de lacs et les bas fonds.

Par opposition au Brochet, le Sandre prospère dans les eaux troubles où il peut s'emparer des proies sans être vu. Il évite les zones de végétation. C'est un poisson très vorace (planctonophage pour ses alevins) qui ne peut cependant s'en prendre aux adultes des autres espèces (autre différence d'avec le Brochet).

La fraye a lieu vers 12° C en sol sableux, à une profondeur de 1 à 3 m, avec des racines ou des corps morts (pierres, branches, etc...). Sa résilience est un peu supérieure au Brochet, pour une croissance aussi rapide. Il peut être facilement introduit sous forme d'adultes, d'oeufs (500 à 2000/ha) ou d'estivaux (20 à 100/ha). *Il exige un contrôle régulier de son peuplement (pêche et/ou prélèvement) pour éviter une prolifération par trop importante.*

La Perche (MUSS et DAHLSTROM, 1968) est un carnassier plus «raisonnable» que le Sandre ne serait-ce que par sa taille (max. 3,5 Kg pour 0,50m).

D'un appétit capricieux, la Perche n'en est pas moins vorace.

Elle supporte les faibles teneurs en oxygène. C'est un poisson sédentaire, plus ou moins grégaire sauf pour les grandes Perches. Ceci oblige à ne pas rater une seule attaque sous peine de faire fuir tout le banc. Sa coloration dépend de la profondeur des eaux. Les jeunes poissons sont près des rives mais les grosses perches apprécient les bas fonds et leurs eaux sombres. Sa fraye a lieu en eau fraîche (8° C environ) en eau profonde, avec végétation ou corps morts (racines, fascines, petites branches) ou sol pierreux.

L'espèce est assez résiliente mais le surpeuplement et le manque de nourriture peuvent conduire à un certain nanisme. La Perche est aussi un bon poisson pour la pêche sportive (pêche à la cuiller ou au vif) car elle traque son gibier, chasse à courre et attaque les bancs d'alevins en «commando». Les grosses perches présentent une défense énergique qu'il faut vaincre «en souplesse».

On voit donc que les conditions écologiques du lac sont importantes dans le choix des espèces : l'habitat, les paramètres physicochimiques de l'eau, les conditions de fraye, la disponibilité alimentaire sont plus favorables aux Percidés qu'à l'Esocidé.

Ce sont donc ces deux espèces que l'on propose de favoriser, laissant le cheptel de brochet actuel du lac évolué par lui-même sous l'action conjuguée de la Perche et du Sandre, tout en sachant, avec ARRIGNON (1976) qu'il est délicat d'avoir deux espèces de carnassiers.

Ceci implique un aménagement de frayères, par immersion et fixation de fascines et fagots de branchages. La zone la plus adaptée est la rive Est déjà empierrée où le Sud servirait pour pour les Perches (supports d'oeufs à 1 - 2 m sous l'eau) et le Nord pour les Sandres (supports à 2 - 3m).

(Notons que la meilleure frayère à Brochets serait la rive Sud du lac, particulièrement soumise à perturbation en raison des visiteurs).

La nourriture de ces animaux comprend, outre les invertébrés des zones littorales et pélagiques, une grande quantité d'oeufs, d'alevins et de jeunes poissons (Civelles, Ablettes, Gardons, Perches).

C'est dire qu'un peuplement important d'espèces d'accompagnement (c'est-à-dire susceptibles d'être également pêchées avec intérêt) doit être prévu et facilité.

Nous retiendrons le Gardon et la Brême en quantité modeste. Le Gardon est un polyphage intéressant dans les zones végétales et les supports minéraux. La Brême exploite particulièrement les vases mais aussi le plancton. Elle est plus exigeante que le Gardon pour la fraye (zone de végétaux peu profonde), fraye particulièrement spectaculaire pour les combats de défense du territoire face aux autres mâles et pour l'accueil «expansif» des femelles. Très prolifique, il peut devenir rapidement envahissant (MOLAIRE, 1973).

Il faut aussi envisager une grande quantité de poissons-fourrage : l'Ablette, la Vandoise, plus sous réserve d'une bonne densification de la végétation, le Rotengle et sous réserve d'une eau moins turbide, le Goujon (fouisseur en partie planctonophage).

Mais le Rotengle, bien qu'omnivore, est un concurrent des autres poissons car il s'attaque aux oeufs et il convient de surveiller sa prolifération. Le choix préalable du Gardon peut permettre de l'exclure du peuplement du lac.

Enfin, il est très possible que le lac se peuple naturellement en Vairons (*Phoxinus phoxinus*).

Le choix des espèces à introduire étant fait, il convient de rappeler qu'il ne s'agit pas ici de produire du poisson mais de peupler suffisamment le lac pour que la pêche y soit agréable et pour que le système biologique trouve son équilibre (WURTZ-ARLET, 1968).

La structure piscicole proposée est la suivante :

SANDRE		Régulateur
PERCHE	BROCHET	} Dominant
GARDON	BREME	} Accompagnement
(Goujon) Ablette	Vandoise (Vairon)	} Fourrage

L'introduction d'espèces appropriées de même que le choix de carnassiers intéressants sont recommandés. Malheureusement, il est difficile, dans l'état actuel de nos connaissances, de dire qu'elle serait l'association biocénotique la plus productive pour un plan d'eau donné. (TUFFERY, 1968).

Il n'est pas encore possible de programmer les introductions d'espèces assurant des combinaisons optimales, ni même de préciser scientifiquement la biomasse de poissons à introduire dans un espace aquatique, à la seule vue de sa flore et de sa faune. Nous sommes encore soumis à l'empirisme en la matière.

Les proportions d'empoissonnements seraient environ de

Quantité à l'hectare.	}	150 sandres	340 kg (7%)	} 1/3
		500 perches	soit 1 200 kg (23%)	
		150 gardons	pour 450 kg (10%)	
		300 brêmes	tout 750 kg (15%)	} 1/4
		80 kg ablettes	le lac 1 200 kg (50%)	
80 kg vandoises	1 200 kg	} 1/2		

E 5 140 kg

Un mélange des classes d'âge est préférable. Si, après contrôle des pêches et du cheptel, l'évolution de cet empoissonnement s'avérait satisfaisante, un repeuplement ultérieur ne serait plus nécessaire, les populations se maintenant à la densité optimum du milieu ou, si l'on préfère, à la *capacité biogénique* de celui-ci.

Si l'on reprend la méthode de calcul de HUET (VIVIER, 1962), nous considérerons que le lac d'Arbouts-Cappel est un «étang» pauvre ($\beta \approx 2$).

La productivité naturelle, K, est donnée par la formule :

$$K = \frac{Na}{10} \cdot \beta \cdot k = 900 \text{ kg/an}$$

où Na est la surface en ares (1500 a), β la capacité biogénique (soit 2) et k coefficient de productivité (VIBERT et LAGLER, 1961).

Le rapport de la productivité sur l'empoissonnement K/E est de 0,175 soit un rendement de 17,5% ce qui est assez fort.

Le lac aurait donc une production de 60 à 100 kg/ha.an selon la part du cheptel actuel. Il sera indispensable de fermer la pêche durant l'année suivant l'empoissonnement (sanctuarisation) (MILLER-SHELL, 1975).

Il sera encuete nécessaire, pour «sortir» le Phosphore, que ce lac soit soumis à un effort de pêche correspondant (voire supérieur) à cette production, soit 1,5 t/an. (VIBERT-LAGLER, 1961).

Selon ARRIGNON (1976) le nombre de jours de pêche (J) en fonction de la quantité de poissons introduite (D) et de la productivité (P) est tel que $J = \frac{D + P}{0,4}$ soit $J = \frac{340 + 100}{0,4} = 1100 \text{ j/ha}$

Avec un tel empoissonnement, la capacité de pêche du lac serait d'environ 16 500 jours/an, ce qui correspond assez précisément à la fréquentation estimée (16 200 p/an ou 540 p/jour de pointe).

La capacité en postes de pêche doit être de 160 postes. Comme la capacité du parcours de pêche est insuffisante (50 à 60 postes), il faut prévoir la possibilité de pêche en barques (2 b/ha) et autoriser 2 à 3 cannes par poste. Ceci implique un contrôle de la pratique, avec éventuellement des droits de pêche propres au lac, à la journée ou à l'année.

Cependant, cette approche doit tenir compte de la possibilité de création d'un parcours de pêche aux Cyprinidés d'eau calme avec une répartition 2/3 étang 1/3 lac. En conséquence, un empoissonnement à raison de 340 kg/ha sera nécessaire jusqu'à l'ouverture de l'étang, puis, l'effort de pêche tombant à 5400 J/an, les empoissonnements suivants ne feront qu'équilibrer un éventuel déficit, à raison de 40 à 50 kg ha/an. (déversement de compensation).

En tout état de cause, un inventaire permanent des pêches devra être assuré afin de contrôler les sur ou sous exploitations d'espèces.

Enfin, pour que les poissons puissent se développer convenablement, il importe que la qualité des eaux ne dépasse par certains seuils critiques (TUFFERY, 1976).

Si l'Ablette et le Gardon sont réputés pour leur tolérance élevée, la Perche s'avère beaucoup plus polluosensible. Le suivi de la qualité de l'eau est indispensable à la bonne gestion du milieu.

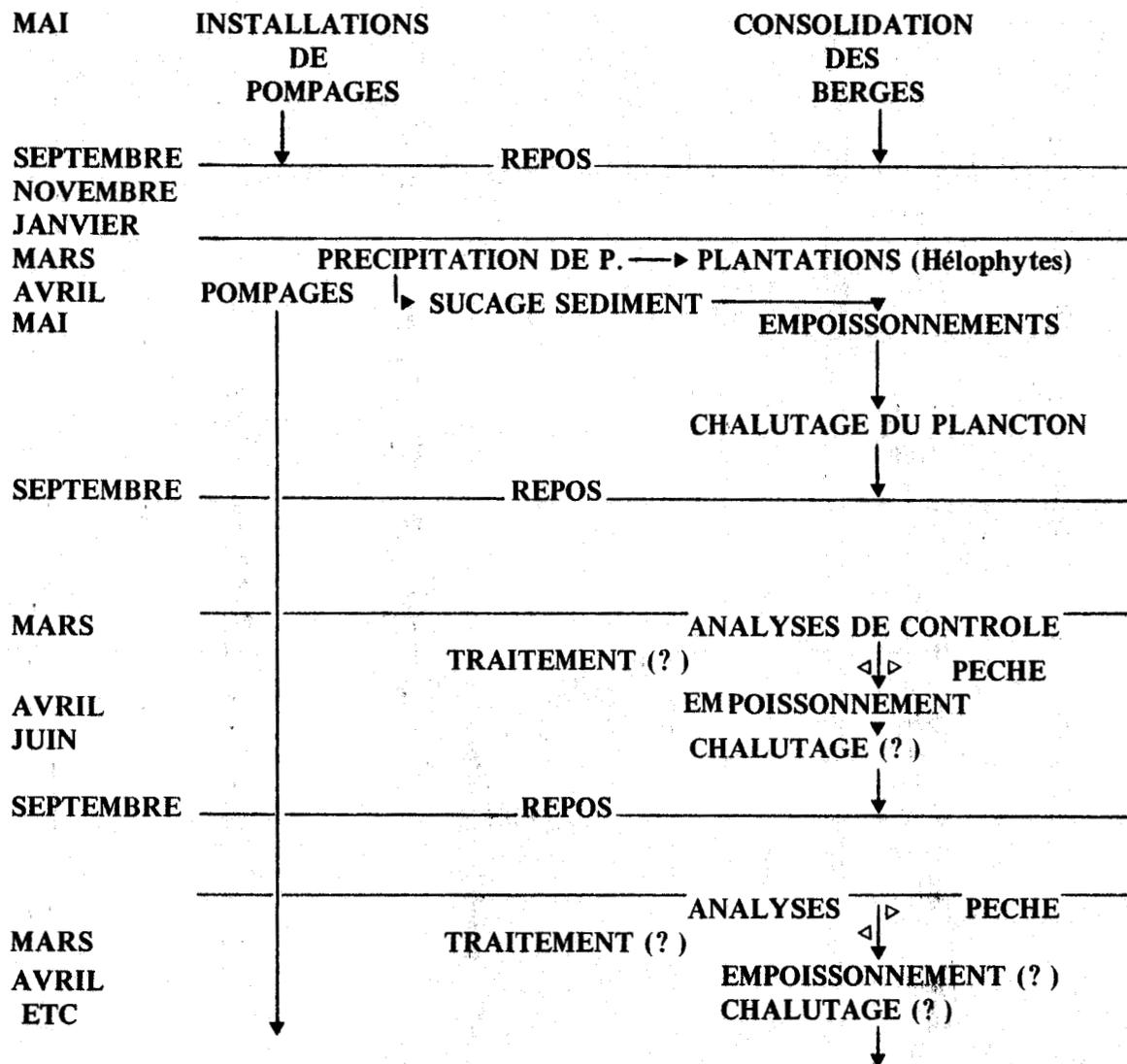
6-1-6 - Processus d'intervention

Ainsi que nous avons pu le constater, aucune méthode n'est en soi suffisante, ne constitue la solution idéale.

Afin d'obtenir un effet perceptible, il convient d'associer plusieurs techniques et ceci, pour les optimiser, selon une procédure où les effets seront synergiques et non antagonistes.

On peut ainsi proposer le processus suivant, où les interventions se suivent chronologiquement, (fig.32)

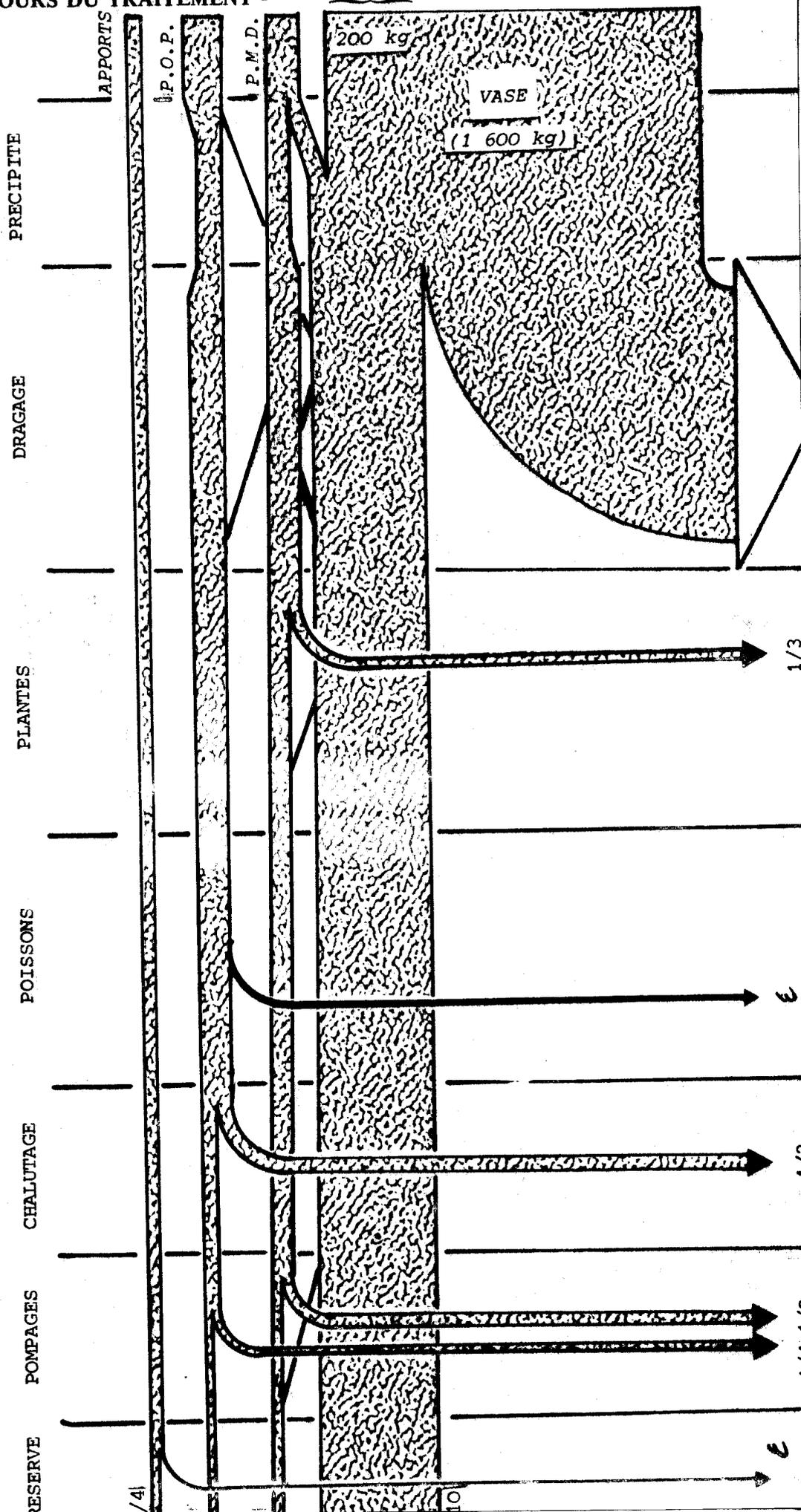
FIG.32 - PLANNING DES INTERVENTIONS D'AMELIORATION DU PLAN D'EAU



On peut espérer que les traitements durs du lac (sulfate d'aluminium et suçage de la vase) n'auront à être faits qu'une ou deux fois.

Au niveau du phosphore, la figure n°33 montre comment peuvent évoluer les charges. On peut espérer, après un cycle de procédure, n'avoir plus que 200 kg de P en vase, 10 à 15 kg en P.M.D., 1/4 de la charge initiale de POP et 3/4 des apports, les autres parties étant extraites du bassin versant du lac.

FIG. 33 - EVOLUTION DU PHOSPHORE DANS LES DIFFERENTS NIVEAUX AU COURS DU TRAITEMENT -



6-2 - La réserve ornithologique (GROLLEAU, 1977)

Il a été fait mention, à diverses reprises de la nécessité de créer sur le site une réserve ornithologique qui compléterait la réserve cynégétique que constitue le lac (A.N.C.G.E.).

La vocation de cette réserve naturelle, visant essentiellement l'avifaune, est d'être, par ces caractéristiques de zone humide en bordure du littoral, une étape sur la grande voie de migration des oiseaux.

Avec la Mare à Coriaux en Forêt de Saint-Amand, la réserve du Val Joly, et une ou plusieurs réserves prévues sur la Côte d'Opale, la réserve ornithologique d'Armbouts-Cappel constituera une liaison nécessaire entre les nombreuses stations belges et les stations françaises plus méridionales, notre région se trouvant située sur un des axes privilégiés de la grande migration alternante des oiseaux de l'Europe du Nord vers le Sud (BLONDEL et FROCHOT, 1972) le long des côtes de la Mer du Nord et de la Manche. Etude de la migration de la sarcelle d'hiver - *Anas crecca*, par LAMOTTE et BEAUGRAND, 1973.

La préservation -ou la constitution- de telles étapes est clairement prise en compte par la loi sur la Protection de la Nature, Art.III du 10 Juillet 1976 (cf. Cahiers de la culture et de l'Environnement, n° 1, 1977, p 45-50).

Par ses caractéristiques, ses vocations seraient multiples :

- Réserve escale :

Elle assure le relais et la régulation des oiseaux lors des grandes migrations d'automne et de printemps. Sa fonction est vitale sur le parcours emprunté, par le repos et la nourriture procurée.

- Réserve d'hivernage :

Elle est capable d'accueillir par un biotope précis, une ou plusieurs espèces d'oiseaux qui y terminent leur migration de descente et s'y installent pour hiverner.

- Réserve de nidification :

Elle est favorable à l'établissement des couples nicheurs de toutes espèces pour la reproduction à l'état naturel.

- Réserve refuge :

Elle est apte, par le couvert, à assurer le repos des oiseaux pendant la journée. Son implantation se situe au sein d'une zone humide régulièrement fréquentée et capable, par son environnement, de procurer la nourriture aux oiseaux qui la quitteront le soir (gagnage) et y rentreront le matin.

Elle compléterait ainsi la toute récente réserve de la Dune Marchand. (NAVE, 1978). Ici aussi, l'influence humaine devra être minimale : préservation des espèces, observation scientifique mais aussi accueil du public, information et pédagogie.

La mise en réserve d'une partie du site peut être facilitée par une décision de la C.U.D., futur propriétaire de ce territoire, de demander la reconnaissance en «réserve volontaire agréée» ; cet agrément étant défini par un décret du Conseil d'Etat. Elle bénéficierait alors des dispositions pénales protégeant toutes les réserves mais bénéficierait de contraintes plus modulées.

«On observe une constante diminution des biotopes aquatiques, conséquence de l'utilisation de plus en plus intensive de l'espace ainsi que de la diminution progressive des réserves d'eau et de la pollution catastrophique des fleuves et des lacs. La destruction d'habitats (biocénoses ou biotopes) propices à la vie d'unités écologiques à la surface des eaux et celles des biotopes voisins, tels que les roselières, les berges des fleuves, les prairies humides, les marais, les marécages, les bois des marais ou des prairies ont entraîné une rapide diminution

des espèces tant végétales qu'animales, de sorte que, aujourd'hui, ce sont précisément ces espèces qui sont sérieusement menacées. Elles sont en tête du livre rouge des espèces d'oiseaux menacés. 40 des 90 espèces menacées en République Fédérale d'Allemagne sont des oiseaux aquatiques et des échassiers.

Alors que les biotopes naturels ont été anéantis dans une large mesure où se rétrécissent de plus en plus sous l'effet des méthodes industrielles d'exploitation du sol et des constructions de toutes sortes, des «biotopes naturels de seconde main» apparaissent en de nombreux endroits.

Ce type de biotopes naturels secondaires qui se développent dans des sablières, des gravières et des glaisières abandonnées, des mines de lignite exploitées à ciel ouvert et des carrières, doit être aménagé rationnellement de manière à servir d'habitats de remplacement, de refuges et de cellules de régénération dans le paysage cultivé, appauvri sur le plan biologique et écologique. Une des principales possibilités d'aménagement de l'environnement consiste à laisser faire la nature qui crée des biotopes écologiquement utiles».

M.J. BAUER - 1977 -

Cependant, une question préalable est de savoir si créer une réserve ornithologique sur ce site peut être un projet viable (G. GROLLEAU, Président du G.O.P., com. pers.). Malgré la petitesse de l'espace disponible, la réserve s'étendrait sur 13 ha en protection totale. A ceci faut-il encore ajouter des «zones périphériques», telle la réserve partielle (2 ha) et le parcours de pêche (3 ha).

Ce sont ainsi, avec le jardin nautique proprement dit et les ceintures boisées, 30 ha de plans d'eau et de milieux néo-naturels qui seront accessibles aux oiseaux pendant la période d'hivernage. La surface d'eau libre dépassera 20 ha qui est la dimension «idéale» préconisée par G. BAUER (1973).

Remarque : il a été évoqué au 6-1-4, la possibilité de faire un traitement des eaux du lac par les végétaux supérieurs. Dans ce cas, les propositions d'aménagement seraient modifiées en ce sens qu'il serait créé deux étangs distincts, à l'Est et à l'Ouest de la haie rurale, le premier se déversant dans le Yoorendyck, le second alimenté par pompage des eaux du lac et déversement dans le watergang d'eaux pluviales longeant la voie expresse par retour au lac par l'éclusette sud.

6-2-1 - Avifaune potentielle

En fonction de sa situation bio-géographique, en bordure de la mer du Nord et sur l'axe des migrations, la zone du lac d'Armbouts-Cappel est susceptible d'héberger et même de voir nidifier en plus des espèces déjà observées (cf. 4-2-5-) des espèces autochtones ou partiellement migratrices :

Fauvettes :

- Bruant des roseaux (*Emberiza schoeniclus*)
- Phragmite des joncs (*Acrocephalus schoenobanus*)
- Rousserolle effarvate (*A. scirpaceus*)
- Locustelle tachetée (*Locustella naevia*)
- peut être aussi Bouscarle de Cetti (*Cettia cetti*)
- Locustelle luscinioloïde (*L. luscinioides*)
- Rousserolle verderolle (*A. palustris*)
- Rousserolle turdoïde (*A. arundinaceus*)

Bergeronnettes :

- Pipit farlouse (*Anthus pratensis*)
- Bergeronnette printanière (*Motacilla flava*)
- B. des ruisseaux (*M. cinerea*)
- B. grise (*M. alba*)

Autres : **Blongios nain** (*Ixobrychus minutus*)
Butor (*Botaurus stellaris*)
Oie cendrée (*Anser anser*)
Hibou des marais (*Asio flammeus*)
Vanneau huppé (*Vanelus vanelus*)
Barges (*Limosa sp.*)
 etc...

Le développement de certaines espèces est à souhaiter tels que le canard souchet (*Anas clypeata*) planctonivore et les échassiers limicoles suivants : Avocette (*Recurvirostra avosetta*) Chevalier guignette (*Tringa hypoleucos*), Bécassine (*Gallinago gallinago*), auxquels on peut ajouter la sarcelle (*A. crecca*) et le Morillon (*Aythya fuligula*).

On voit donc que la potentialité avienne est importante puisqu'elle porte sur plus de 70 espèces plus ou moins inféodés au milieu aquatique. Cependant, pour pouvoir exprimer cette variété -même au détriment de la densité- il faut multiplier les biotopes et accroître autant que faire se peut la disparité dans leur mosaïque.

Remarque : Le G.O.N. Flandre Maritime a noté pour 1978, dans la zone des friches industrielo-portuaire (G. Vermersch, com. pers.) la nidification des oiseaux suivants : Héron cendré, Grèbes huppé et castagneux, Tadornes, Sarcelles, Souchet, Pilet, Siffleur, Milouin, Morillon, Macroule, Huitrier Pie, Gravelots, Bécassine des Marais, Courlis, Chevaliers gambette et combattant, Avocette, Sternes naine et caugeh, Hibou, Martin pêcheur, Hirondelles des rivages, Cisticole des Joncs, Rousserole turdoïde, etc... C'est dire les potentialités nidificatrices du littoral, pour peu qu'on lui en laisse la possibilité...

6-2-2 - Variété des biotopes

Le territoire proposé pour l'installation de la réserve est délimité par la voie expresse, le wattergang Yoorendyck, l'accès à la ferme et celle-ci même. La limite Nord est la plus imprécise car réserve et zone de pêche en étang s'interpénètrent volontairement par leurs composantes naturelles.

Le secteur ainsi délimité est actuellement découpé par un rideau d'arbres (Saules, Aubépines, Peupliers) qui bordait un ancien chemin de fermes, désaffecté depuis le passage de la voie expresse. Ce rideau permet de séparer l'espace pour constituer des milieux variés.

C'est ainsi que le sud du rideau serait surcreusé pour constituer un étang favorable aux végétaux et à la nidification (a). La prairie permanente au Nord serait conservée et entaillée de chenaux pouvant se remplir d'eau (2 m de large sur 0,5 m d'épaisseur). Il se formerait ainsi une prairie inondable (b).

Enfin, la séparation entre réserve et pêche serait matérialisée par une petite butte de 3 à 4 m, variant la végétation, protégeant la réserve et pouvant constituer un point d'observation du site (c).

6-2-3 - Propositions d'aménagement

a) L'étang ornithologique

Sur un petit étang, ce qui manque le plus au gibier, c'est la sensation de sécurité. Il faut donc la créer.

On y parvient :

- En laissant pousser la végétation aquatique, tout en la contrôlant pour qu'elle n'envahisse pas la totalité de la surface. Cette végétation s'installe d'autant plus facilement que l'étang a une faible profondeur (30 à 50 cm), favorable aux canards de surface ;



- En constituant des abris contre le vent ;
- En protégeant l'étang de la vue ;
- En intensifiant les sinuosités des berges ;
- En créant artificiellement des îlots.

Dans son étude intitulée «la création et l'aménagement biologique des plans d'eau», Michel BROSSÉLIN insiste sur l'intérêt de ces îlots dont nous avons déjà parlé précédemment. Il distingue deux types d'îlots :

- les îlots de nidification, de petite dimension (3m de diamètre)
- les îlots de repos, 3 ou 4 fois plus grands.

Les premiers sont des buttes de terre à pente douce, émergeant de 0,60 à 1,20 m, si possible recouverts d'une végétation abondante qui favorise le camouflage des nids. Il suffit de maintenir une partie de la haie existante (SCHNEIDER, 1976).

Les seconds peuvent à peine émerger de l'eau et seront ou non recouverts de quelques touffes de végétation. La conservation d'une partie du sol en place répond à cette exigence.

On recommande parfois de constituer des îlots en forme d'étoile, de telle façon que les canards aient toujours une zone abritée du vent, quelle que soit sa direction.

Selon le modèle préconisé par G. BAUER (1973), la profondeur maximale de l'étang serait de 3 m et les pentes comprises entre 1/3 (rives Nord et Est) et 1/8 (Ouest) en passant par 1/5 (Sud). Mais une certaine souplesse doit être conservée à cette règle. Ceci permet d'exprimer toutes les possibilités des divers biotopes et donc de diversifier le peuplement avien (REICHHOLF, 1973) qui exploitera ces différents habitats.

En fonction de la profondeur de l'eau ou de nappe sous le sol, un vaste éventail de plantes va pouvoir s'installer (PRETSCHER, 1976).

En fonction du gradient d'humidité décroissant existant de l'eau libre vers l'intérieur des terres, les groupements se répartissent, selon leur degré d'hygrophilie, en ceintures plus ou moins concentriques. Leur nature dépend de la profondeur de l'eau le long des rives, de sa composition chimique (sels minéraux, matière organique, acidité), de ses variations de niveau (importance de la durée des périodes d'émersion), enfin de substrat. (LACOSTE et SALANON, 1969).

Lorsque la berge s'enfonce rapidement dans des eaux riches en matière organique, on peut reconnaître généralement, de l'eau libre vers la rive, le type de succession suivant :

- un groupement de pleine eau développé à un niveau où la profondeur atteint 1 à 3 mètres. Exemple : le *Myriophylleto-Nupharetum* formé d'Hydrophytes enracinés ou non dans la vase, à appareil végétatif totalement immergé (*Myriophyllum verticillatum*, *Potamogeton lucens* dans les eaux libres et agitées) ou dont les feuilles supérieures sont flottantes (*Nuphar luteum*, *Nymphaea alba*, *Potamogeton natans*) ;

- un groupement formé d'espèces dont seule la base est immergée, constituant la «roselière». Exemple : le *Scirpeto-Phragmitetum* (*phragmitetea* ; *Phragmition*) avec souvent un faciès plus profond à *Scirpus lacustris* et un faciès supérieur à *Phragmites*, *Typha*, ainsi que *Sparganium sp.*, *Achorus calanus*, etc.

- un groupement le plus souvent entièrement émergé mais sur sol très spongieux, dominé par de grandes Cypéracées. Exemple : association à *Cladium mariscus* ou *Cladietum* (*Phragmitetea* ; *Magnocaricion*) ;

- une prairie marécageuse aux variétés des milieux «eutrophes» ou encore un taillis tourbeux à Saules (*Salix cinerea*), Bourdaine (*Rhamnus frangula*), etc...

Beaucoup de ces espèces sont d'ores et déjà présentes autour du lac et sont -en conséquence- susceptibles d'être implantées sur l'étang.

Pour introduire en un lieu déterminé une ou plusieurs espèces, notre préférence ira à la transplantation de plants prélevés localement et donc plus adaptés au terrain qui nous intéresse. Les résultats seront acquis plus sûrement, plus rapidement et à moindre frais que par les graines. Une fois la plante acclimatée, sa propagation sera assez rapide car sa reproduction se fera par deux moyens : les graines qu'elle fournira et le jaillissement effectué par les racines.

Cependant, de même qu'on favorisera la végétation utile aux poissons dans les parcours de pêche, de même faut-il préconiser des espèces utiles aux oiseaux, sous réserve de leur adaptation au site.

Il est parfois difficile de déterminer d'une façon catégorique quelles plantes sont favorables et quelles sont celles qui sont défavorables. La plus grande prudence s'impose donc. En effet, certaines plantes ne doivent se développer qu'en quantité limitée et, passé le seuil de l'envahissement, elles deviennent néfastes. Nous prendrons par exemple le jonc des marais qui, par sa taille, assure la protection des oiseaux mais qui par contre, est pauvre en nourriture : s'il envahit le plan d'eau, il en détruira l'équilibre. Il en est de même pour beaucoup d'autres espèces, ce qui impose d'en contrôler l'extension.

- Végétation rivulaire de protection (*Phragmitetea, Alnetea*)

Elle est composée soit de buissons, soit de plantes se développant tout aussi bien dans l'eau que sur le terrain avoisinant. C'est par définition une végétation de bordure. Elle doit permettre aux oiseaux de se dissimuler, de trouver abri contre le bruit, le vent et les vagues, de se protéger des prédateurs et de nidifier.

- *Scirpus lacustris* ou *S. tabernaemontanii*
- *Phragmites communis*
- *Typha latifolia*, *T. angustifolia* et hybrides
- *Sparganium simplex*
- *Sparganium ramosum*

- Végétation émergente et émergée

Dans cette classification on comprend toutes les plantes aquatiques dont la racine est dans l'eau (ce qui va du terrain humide au plan d'eau) et dont les tiges, les feuilles et les fleurs sont au niveau de la surface de l'eau. Leur but est d'assurer aux oiseaux non seulement une nourriture végétale (principalement les graines) mais aussi animale grâce aux nombreux micro-organismes vivants dans ce milieu.

D'après des études d'analyses d'estomacs, les espèces les plus intéressantes sont les suivantes : (*Phragmitetea* et *Potamogetonetea*),

- *Sagittaria sagittaeifolia*
- *Potamogeton natans*
- *Potamogeton crispus*
- *Potamogeton fluitans*
- *Polygonum amphibium*
- *Rumex hydrolapathum*
- *Carex acutiformis*,
- *Carex ampullacea*, avec matière organique
- *Carex stricta*
- *Hippuris vulgaris*, espèce pionnière
- *Nymphae alba* et *Nuphar luteum*
- *Butomus umbellatus*
- *Caltha palustris*
- *Alisma plantago*
- *Glyceria fluitans*, *G. maxima*
- *Iris pseudacorus*
- *Lythrum salicaria*

- les Algues (*Chara*)
- *Potamogeton densus*
- *Myriophyllum verticillatum*
- *Ceratophyllum demersum*

L'introduction de ces espèces se fera par repiquage tous les 20 cm environ après les avoir prélevées par touffes. Elles seront en général utilisées dans des eaux dont la profondeur variera de 10 à 50 cm.

L'implantation se fera par bottes d'une vingtaine de brins environ liées à une pierre et lancées au fond. En règle générale, ces plantes s'enracinent très rapidement.

Toujours en ce qui concerne l'étang, certains aménagements permettront de faciliter la nidification : c'est en particulier le cas des îles. Leur importance est très grande dans une réserve aménagée car en dehors des avantages qu'elles procurent pour la nidification, elles rempliront aussi le même office que les plages et vasières en permettant au gibier de se mettre au sec, de se protéger des vagues, faire sa toilette et se reposer.

En conséquence, il est possible de préciser les différents oiseaux observables de façon générale en relation avec les ceintures

Le Scirpetum

La zone du Scirpetum est fréquentée par un grand nombre d'espèces. Y nichent les guifettes noires et parfois les guifettes moustac, les grèbes huppés et castagneux, les canards colverts, chipeaux, souchets, milouins, morillons, sarcelles d'été et d'hiver, etc... Tous ces oiseaux se reproduisent en bordure de l'association suivante, le Phragmitetum, mais fréquentent pour se nourrir toute la zone du Scirpetum. On peut citer encore les fauvettes aquatiques, la mésange à moustaches, le bruant des roseaux, la foulque.

Le Phragmitetum

La plupart des espèces fréquentant le Scirpetum fréquentent aussi le Phragmitetum, hormis les Laridés. Cette zone est véritablement celle des fauvettes aquatiques : bouscarle de Cetti, phragmite des joncs, rousserolle effarvate et rousserolle turdoïde, locustelle luscinoïde, phragmite aquatique et locustelle tâchetée.

Plusieurs espèces établissent dans ce milieu d'importants dortoirs : hirondelles de rivage et de fenêtre, merles, grives et surtout étourneaux. Le râle d'eau, la poule d'eau et le foulque y sont également nombreux. Les espèces terrestres pénètrent aussi ce milieu : pic épeiche, pigeon ramier, tourterelle des bois, geai, corneille, pie, faisan.

L'Agrostitetum

En hiver et pendant la plus grande partie du printemps, cette association est inondée et est alors fréquentée par les Anatidés, en particulier le pilet, le colvert et le souchet. Dès que l'eau baisse, on peut y voir de nombreux Limicoles qui y stationnent lors de la migration pré-nuptiale : barge à queue noire et barge rousse, chevalier combattant, chevalier gambette, chevalier arlequin, pluvier doré, courlis cendré, vanneaux, mais aussi, râle des genêts, bécassine des marais, faisan, traquet tarier, cisticole, etc...

b) La prairie inondable (GEHU, 1978)

Quand un étang se trouve dans ou à proximité d'un couloir de migration de bécassines, il est possible de retenir ces oiseaux en aménageant des zones plates, de très faible profondeur (quelques centimètres d'eau). Le pâturage de ces zones par des ovins est excellent et semble être un facteur de plus de fixation des bécassines.

La prairie inondable constitue donc un biotope très intéressant du point de vue écologique, en particulier pour l'avifaune. De nombreux oiseaux comme Limicoles apprécient ces terres basses, périodiquement et partiellement inondées, où alternent chenaux de faible profondeur et levés de terre hydromorphe.

La variation très rapide du gradient hydrique engendre une juxtaposition de végétaux très divers, variété encore accrue si un pâturage ovin existe et se perpétue (élevage extensif à 10 moutons/ha environ) assurant ainsi un auto-entretien du milieu sans engrais minéraux. Le maintien de la prairie entre ferme et marais est donc souhaitable et peut même faire l'objet d'aménagement par creusement de chenaux de faible profondeur, dans la zone de variation du niveau phréatique. L'étude pédologique de cette zone par le S.R.A.E. Nord-Pas-de-Calais a d'ailleurs mis en évidence un horizon à gley, d'environ 40 cm à 1 m de profondeur, témoignant ainsi d'une certaine hydromorphie naturelle de ce secteur.

Dans l'attente d'une étude phytosociologique précise de cette prairie permanente hydromorphe (conditionnée par la propriété communautaire du terrain) il est possible de prévoir -sous toutes réserves- l'un des peuplements suivants (DELPECH et FRILEUX, 1978) à partir des espèces caractéristiques locales.

- soit une prairie à *Juncus* (*J. obtusiflorus* ou *maritimus*)
- soit une prairie du *Calamagrostitetum* et du *Samolo-Littorelletum* telle qu'on pouvait l'observer dans le marais du Clipon, avec *Galium* sp., *Iris pseudacorus*, etc (J.C. BRUNEEL, 1978).
- soit encore une prairie hygro-nitrophile d'*Agropyron-Rumicion* (niveau supérieur du *Bidentetea*).
- soit enfin, si les variations du niveau phréatique sont importantes, une prairie à hygrophyles, fraîche l'été et inondable l'hiver à *Epilobium hirsutum* et à *Eupatorium cannabinum*. (MERIAUX, 1978 a et b) avec *Phalaris arundinacea*.

C - La butte

Réalisée à partir du creusement des étangs ornithologiques et halieutiques, éventuellement recouverte du sédiment lacustre extrait du lac par la suceuse pneumatique (cf. 6-1-2), sa fonction serait triple :

- séparation physique entre le domaine de pêche et le domaine naturel.
- hauteur favorable à l'implantation d'un observatoire de la faune.
- brise-vent, protection, nourriture et couvert complémentaire pour les animaux fréquentant la réserve.

Haute de 3 à 4 m, elle jouerait vis-à-vis des humains le même rôle fonctionnel et paysager que les écrans boisés de protection.

Il est apparu, à diverses reprises, notamment au niveau de l'étude d'ambiance du site, qu'un effort doit être envisagé dans le double but :

- a) de structurer et limiter la zone de loisirs et la réserve, et
- b) de protéger celle-ci des vents.

Ce micro-relief sera planté d'un « manteau » constitué des espèces arbustives des haies et fourrés préforestiers (DELELIS-DUSOLLIER, 1973) afin de constituer un rideau brise-vent (SOLTNER, 1970).

Elle pourrait se composer des essences suivantes :

- Prunier, Troène indigène (*Ligustrum vulgare*), Cornouiller, Sureau (*Sambucus nigra*), Charme, Saule blanc, ainsi que Ajonc, Genêts, Houx et Lierre (*Hedera helix*) en comblement des vides laissés entre les troncs par les arbustes bas (DELELIS-DUSOLLIER, 1974).

Cependant, la zone protégée des vents serait assez limitée (environ 100m derrière la haie taillée).

Le Schéma final des plantations aurait bénéficié à être élaboré par la méthode des « carrés-types » bien développée par G. SAMEL.

Outre la simplicité de son utilisation, la méthode des carrés-types offre des avantages notables, en particulier :

- au niveau de la conception, une mise au point rapide et cohérente du plan de plantation.
- au niveau du Maître d'Ouvrage, une appréciation rapide des dépenses à prévoir.
- au niveau de l'exécution, une simplification importante de la mise en oeuvre et une garan-

tie de reprise nettement accrue.

- au niveau de la Direction des Travaux, une vérification aisée des prestations appréciables.
- au niveau de l'utilisateur ou du visiteur, une perception visuelle satisfaisante motivée par l'intégration pratiquement spontanée au milieu végétal naturel environnant.

L'utilisation bien modulée de cette méthode conduit à la création de masses végétales rigoureuses, nuancées dans leur volume et leur tonalité, écologiquement équilibrées.

Par ailleurs, il est possible, à partir de cette méthode, d'établir des profils de végétation puisque l'évolution des espèces entrant dans la composition des carrés présente des phases caractéristiques, constantes et homogènes.

- phase pionnière
- phase de croissance des essences de base
- phase adulte
- phase de dégénérescence.

La composition des carrés repose sur le principe de la trame multicellulaire, celle-ci ayant pour avantage, par rapport à la trame linéaire de moins «griffer» l'espace par des lignes et de mieux abriter les végétaux par la création de cloisons.

En effet, chaque carré est ainsi constitué :

- 1 - sur le pourtour, les essences pionnières
- 2 - à l'intérieur, l'essence de base en plants ou en baliveaux
- 3 - au centre, un végétal de force moyenne.

Chacune de ces trois catégories de végétaux assure un rôle spécifique dans la vie de la cellule que constitue le carré type :

- les essences pionnières sont là pour coloniser le sol. Choies dans la gamme de la végétation existante, spontanée ou parfaitement acclimatée, ces essences sont peu exigeantes et, le plus souvent de croissance rapide. Elles permettent, d'une part, d'abriter l'essence de base, de croissance plus lente et d'autre part, assurent un effet visuel satisfaisant dans un délai relativement court.

- l'essence de base constitue la trame future de la plantation. Plantées en jeunes plants ou en baliveaux, ces essences évoluent plus lentement dans le temps et finissent par éliminer les essences pionnières parvenues à leur stade de dégénérescence.

- les sujets plantés en tige sont là pour donner à l'ensemble de la plantation un caractère adulte et un aspect plus animé en volume. Ils n'ont qu'un rôle accessoire dans l'équilibre proprement dit de la cellule et peuvent, éventuellement, être remplacés par un sujet (plant ou baliveau) de la catégorie précédente.

6-2-4 - Accueil du public
(ZWEERES et BOURNE, 1976 -
WIEDEMEYER, 1972).

La question de savoir si l'on doit admettre le public dans une réserve fait l'objet d'une controverse assez générale. Dans le cas d'Armbouts-Cappel, le problème est posé de façon aiguë car hommes et oiseaux sont -déjà- des habitués du site mais ne le demeureront qu'à condition que l'on maintienne un certain *modus-vivendi* entre eux.

La première règle sera de maintenir la disjonction saisonnière entre les deux modes de fréquentation. C'est ainsi que l'accès à la réserve sera découragé en été car elle ne constituera pas le but premier des visiteurs qui risquent de plus d'être déçus par la très faible fréquentation estivale.

C'est, par contre, la meilleure période pour développer l'éducation mésologique du public : dans un centre scientifique, les visiteurs trouveraient des indications et informations sur la réserve, sa faune et sa flore, son organisation fonctionnelle etc..., sous forme de brochures ou d'expositions (PAULIEN, 1970). (cf. Le Relais Nature mis en place à la ferme Nord de Zuydcoote. BLLN/F.M.).

L'accès à la réserve ne serait pas interdit (méthode en réalité très incitatrice) mais découragé par la nature des sentiers laissés peu praticables (sol boueux, roncier, etc...) sans orientation. De plus, le passage obligé par l'accès au parcours de pêche allonge le cheminement et le rend rébarbatif. Les plus persévérants aboutiraient alors à un poste d'observation sur la butte.

A l'opposé, la saison hivernale sera la plus intéressante pour les observateurs. Le choix du déplacement, l'acceptation de conditions climatiques assez rigoureuses limitent la fréquentation aux personnes réellement intéressées, disposées à se réjouir du spectacle d'une nature «sauvage» au prix d'un effort physique qui -pour d'autres- serait dissuasif.

Dans ces conditions, l'accès serait libre (mais surveillée) et quelque peu facilité (taille automatique des ronciers, mise en place de «planchers» provisoires sur les sentiers, etc...).

Dans le cas de visites de scolaires, un guide bénévole, faisant partie du centre pourrait accompagner les groupes. Néanmoins, ses principes devront être confrontés à l'usage réel du site et à la nature des espèces qui y séjourneront (critères de rareté ou de fragilité).

Dans l'ensemble, la réserve serait dite «à interventions dirigées» voire «expérimentale» vis-à-vis du milieu et dite «à pénétration dirigée» vis-à-vis du public (CTGREF, 1975). Elle serait le complément hivernal du sentier botanique des dunes de Flandre, à Zuydcoote (NAVE, 1979) et de la Réserve Naturelle de la Dune Marchand (NAVE, 1978).

L'ensemble de la réserve sera clos :

a) par des fils barbelés vers le secteur Ouest dans le style des prairies et pâtures traditionnelles.

b) par des ronces et épineux au Nord et à l'Est éventuellement doublés d'une grille noyée dans la végétation pour l'isoler du parcours de pêche.

c) par un fossé dans la partie Sud (le long de la voie rapide) qui sera très peu planté pour conserver la vision sur l'étang depuis la chaussée.

Le cas échéant, cette bordure de l'étang pourrait recevoir un maillage immergé de fil barbelé (maille de 5m) dans le *Scirpo-Phragmitetum* pour lutter contre un éventuel braconnage (MOLAIRE, 1973).

6-3 - Le parcours de pêche.

Si l'examen des ressources locales en collection d'eau met en évidence l'énorme disponibilité de la région en matière de pêche aux poissons blancs (pour peu que la qualité des eaux s'y prête), il montre aussi le manque de ressources en matière de pêche sportive aux poissons nobles. Ceci est vrai au même niveau du département du Nord (HOESTLANDT, 1964). Il semble cependant difficile, au vu des conditions hydrologiques locales, de favoriser cette possibilité sur le site étudié, d'autant que d'autres populations intéressantes se rencontrent dans le lac (Perches, Brochets, Carpes, Tanches, etc...).

Le parcours proposé à Armbouts-Cappel s'inscrit dans le secteur limité au Nord par le Jardin Nautique et les «méandres» du watergang, à l'Ouest par le centre scientifique, et au Sud par la réserve totale.

La surface ainsi dégagée représente 3ha (extension maximale de 320 m environ). Sur ce domaine, on peut réaliser un étang de pêche (d'approximativement 2ha) particulièrement aménagé pour favoriser le développement des Carpes... et leur pêche.

On peut ainsi réaliser un étang de plaine, plat, d'une profondeur moyenne de 1,5m. Notons, avec ARRIGNON (1976) que les étangs profonds ne sont pas les meilleurs pour les poissons, auxquels 1 m à 1,50 m d'eau suffisent largement ; aussi est-il opportun de prévoir certaines zones de faible profondeur.

Il est même très souhaitable de prévoir au milieu du plan d'eau des plateaux sous 0,50 m d'eau : ils constitueront des frayères pour les poissons, frayères qui seront à l'écart et à l'abri des pêcheurs.

L'alimentation de l'étang peut être assurée par la nappe et par le watergang placé en dérivation.

Si l'on a en vue l'avenir productif du site, on doit se préoccuper de la manière dont il faudra conduire l'exploitation de matériaux pour que le gisement devienne à terme échu une ressource récréative de qualité.

Pour qu'une fouille devienne un bon étang de pêche :

- le piquetage de la fouille doit imposer une certaine configuration,
- le creusement doit être exécuté suivant un certain relief,
- le réemploi des terres de découverte doit être prévu.

1 - La configuration

La configuration doit apporter le plus grand développement possible des berges dites «péchantes» pour plusieurs raisons :

. A superficie égale, un étang qui a le développement de berges le plus long est le plus productif : les berges sont des abris pour le poisson et le support de sa nourriture vivante : insectes, mollusques, etc...

. A superficie égale, un étang qui a le développement de berges le plus long peut accueillir le plus grand nombre de pêcheurs, dont la prospection s'applique à une plus grande surface et peut toucher une part plus grande de la production annuelle en poissons.

. Une configuration très contournée rompt l'uniformité du paysage et en accroît l'agrément.

Elle doit prévoir des zones protégées des vents, certaines ensoleillées, d'autres ombragées (si des plantations y sont exécutées), favorables aux poissons, aux pêcheurs.

2 - Le creusement

Le creusement peut donc être exécuté en deux phases :

a) On commence par pousser à l'extérieur de l'emprise d'extraction la terre végétale, en un tas plus ou moins régulier, ensuite les matériaux sont extraits.

A ce stade, les berges sont en général abruptes et la fouille profonde. Le fond de l'étang constitué par un sol stérile, est peu favorable au poisson. La surélévation et la pente des berges sont également peu favorables au pêcheur, voire même dangereuses.

b) On peut remédier partiellement à ces inconvénients en repoussant vers les berges de l'étang la terre arable. En croulant vers le fond, la terre adoucit la pente. Avec le temps, une végétation aquatique de bordure s'installera d'autant plus aisément et rapidement que la terre végétale sera féconde. Le passage répété des pêcheurs tracera un marchepied plus sûrement en terre meuble que sur un caillebotis.

L'aménagement des abords sera succinct : voirie de service, moine et déversoir, sentier périphérique, quelques palplanches et «le contrôle» de l'accès sont les seuls travaux nécessaires. Des «moines» à porte grillagée limiteront la fuite des poissons.

3 - Les plantations

Les plantations font partie des interventions paysagères, mais elles doivent être prévues en tant que composantes du paysage et du milieu aquatiques.

Il est recommandé de ne planter sur les rives que des essences à petites feuilles caduques, (Aulnes et Saules) pour éviter en automne des apports organiques trop importants, voire de phénols toxiques (peupliers).

A plus de cinq mètres peuvent être plantées d'autres essences à feuilles caduques telles que Peupliers, Frênes, etc...

La plantation des herbiers aquatiques dans les zones les moins profondes fera appel aux espèces existant dans les milieux voisins et qui sont reconnues utiles dans un milieu piscicole (Myriophylles, Potamots, favorables à la ponte des Cyprinidés, Callitriches, Renoncules, génératrices d'oxygène).

On procède par bouturage direct ou par immersion de plantes ou de boutures insérées dans une motte de gazon lestée.

Les conditions du milieu étant voisines de celles de la réserve naturelle, la flore de l'étang sera comparable à ce que l'on peut espérer sur la zone voisine.

Mais, en raison de l'optique halieutique, cet étang fera l'objet d'entretien plus important et plus régulier : entretien des abords, faucardage, voire aspiro-dragage.

Le contrôle de la végétation aquatique est opéré par l'emploi de bateaux faucardeurs plutôt que par des désherbants aquatiques, dont la nuisance à long terme peut être notable là précisément où le transit de l'eau est faible ou même nul et où les phénomènes d'accumulation des micropolluants dans l'eau et dans les vases sont à craindre.

D'autres interventions se feront sur le milieu biologique, en fonction de l'«effort de pêche» appliqué à l'étang et qui sera contrôlé. Il en résultera des directives d'exploitation, visant en particulier à compenser la surexploitation de certaines espèces ou certaines classes d'âge, soit par des déversements de compensation soit par prélèvement (au filet ou à la nasse par exemple) des espèces compétitives sous-exploitées. Plusieurs modes de pêches (au lancer, à soutenir voire en barques) pourront être autorisés pour compenser l'impossibilité de vidanger cet étang de fouille.

On suivra l'avis de B. MOLLAIRE (1973) préconisant, pour un étang de plaisance, un empoissonnement de base composé de Carpes et de Tanches et un empoissonnement de complément.

La Tanche et la Carpe vivent bien en concurrence avec les autres espèces mais se reproduisent assez mal si elles ne sont pas seules, c'est pourquoi il convient de les introduire en assez grande quantité.

L'empoissonnement de base sera constitué, bien entendu, de Carpes et de Tanches.

L'empoissonnement complémentaire comportera des gardons blancs ou des rotengles et quelques brochets (VIBERT et LAGLER, 1961).

L'ouverture à la pêche ne sera autorisée que 12 mois après l'empoissonnement initial de base. Ce dernier comprendra environ 500 Carpes et 500 Tanches par ha.

Volontairement, l'empoissonnement de base a été augmenté pour compenser les pertes souvent constatées juste après le déversement du poisson et celles causées par la première saison de pêche, toujours meilleure que les suivantes (MOLLAIRE, 1973).

Simultanément, on réalisera une «réserve» de quelques 150 m² avec des reproducteurs et il sera possible de prélever quelques alevins dans les autres plans d'eau, pour limiter les frais d'achat en pisciculture.



VII - CONCLUSIONS -

«L'eau est un symbole en ce qu'elle est la manifestation tangible de représentations psychiques qui empruntent sa matérialité pour s'exprimer ; elle leur prête l'ambiguïté de son reflet dans l'espace incertain de l'identité à l'idéalité où miroite le beau. Seule, l'eau ouvre tout le champ du symbolisé, quoique lui-même limité : elle parle de corps, de parenté, de naissance, de mort, de nudité et aussi de sexualité. Cependant, l'eau, dans une de ses formes isolées, n'accepte pas simultanément l'ambivalence des sentiments ; le moindre défaut -impureté, odeur, trouble- interdit toute poésie ; l'eau ne peut être que pure...».

T. LAGRANGE, 1976

L'eau ne peut être que pure, ou du moins en donner l'apparence. Or, cette proposition ne répond pas aux exigences du vivant, de la nature. La qualité d'un milieu comme le lac d'Armbouts-Cappel ne s'apprécie pas de visu. Elle doit faire appel aux techniques complexes et complémentaires de la science hydrobiologique.

Et les résultats de ceux-ci ne valent que par référence à l'usage humain, compris dans son cadre immédiat comme dans le contexte écologique général : la «nature» s'accommodant aussi bien d'un désert de pierres que d'un lisier de porcherie.

Revoyons quelle est la situation du lac en 1979 ? :

1 - Le lac d'Armbouts-Cappel est un plan d'eau de petite dimension (15ha) de faible profondeur (moyenne 4,5 m ; maximum 9 m) très compact ($k = 1,07$) essentiellement alimenté par la nappe des sables poldériens et les eaux de ruissellement d'un bassin versant très réduit (1,8 fois la surface du lac). Le taux de renouvellement des eaux est très faible (2,3% par an) ce qui revient à dire qu'il faut une quarantaine d'années pour qu'il soit -théoriquement- entièrement renouvelé. On voit par là sa grande inertie et sa fragilité.

2 - Les eaux du lac sont basiques ($\text{pH} \approx 8$) mais bien oxygénées en raison de l'abondance du plancton végétal (micro-algues). Celui-ci se développe grâce à une charge suffisante en matières organiques notamment en phosphore abondant dans les vases du fond d'où il peut migrer dans l'eau libre. A cause de ce plancton (et de l'agitation permanente des des eaux), le lac est très trouble (visibilité inférieure à 2 m). Le volume des vases croît aussi corrélativement (≈ 4 cm/an).

3 - Le phosphore est apparemment l'élément-clé du système écologique du lac. Il provient du drainage des sols agricoles par la nappe, des rejets organiques des visiteurs et baigneurs, de la pollution atmosphérique et des embruns marins ainsi que des fèces des oiseaux (guano).

D'une façon générale, un équilibre est encore à peu près obtenu entre le taux de phosphore dissous et celui fixé dans les vases. Cet élément présente, de façon saisonnière et/ou accidentelle, des pics de pollution (surcharge par excès de fréquentation ou lessivage de cuves à engrais) entraînant des proliférations d'algues appelées Cyanophycées (fleurs d'eau) extrêmement préjudiciables au milieu et à son utilisation pour les loisirs.

On peut donc dire que le lac subit un vieillissement accéléré par POLLUTION NUTRITIONNELLE (excès de phosphore) d'autant plus sensible que, en dix ans, la végétation des rives n'a pas pu mettre en service les mécanismes de compensation habituels.

4 - En conséquence, le lac n'offre pas les meilleures conditions par rapport aux normes indispensables -aujourd'hui- à une bonne pratique des milieux aquatiques. Il se situe en classe 2 des normes néerlandaises de la *Commissie Zwemwater* qui préconise, dans ce cas, un effort préalable d'amélioration de la qualité du plan d'eau. (DE JONG, 1977 et 1978).

5 - Dans son état actuel, le lac ne présente pas les caractéristiques attendues d'un plan d'eau, ni pour la baignade (mais elle y est interdite en théorie par la municipalité d'Armbouts-Cappel, responsable de la police sur le site) ni même pour la pêche, alors qu'un parcours y a été développé.

Cette situation délicate risque de tourner à la catastrophe si un plan d'aménagement rationnel n'est pas prévu pour faire face à la pression touristique déjà perceptible (3000 personnes à terme en fréquentation instantanée de pointe).

Rappelons comment se répartit cette demande :

Activités	%	Demande de pointe	Demande quotidienne	Demande dominicale	Capacité
Promenades et Jeux	63	1 890	38	567	851
Baignade	18	540	11	162	243
Pêche	12	360	7	108	162
Canotage	2	60	1	18	27
Voile	2	60	1	18	27
Divers	3	90	2	27	40
TOTAL	100	3 000	60	900	1 360

Le lac n'est pas à même de supporter cette charge.

Il est donc impératif

- d'une part, d'entreprendre la restauration du plan d'eau

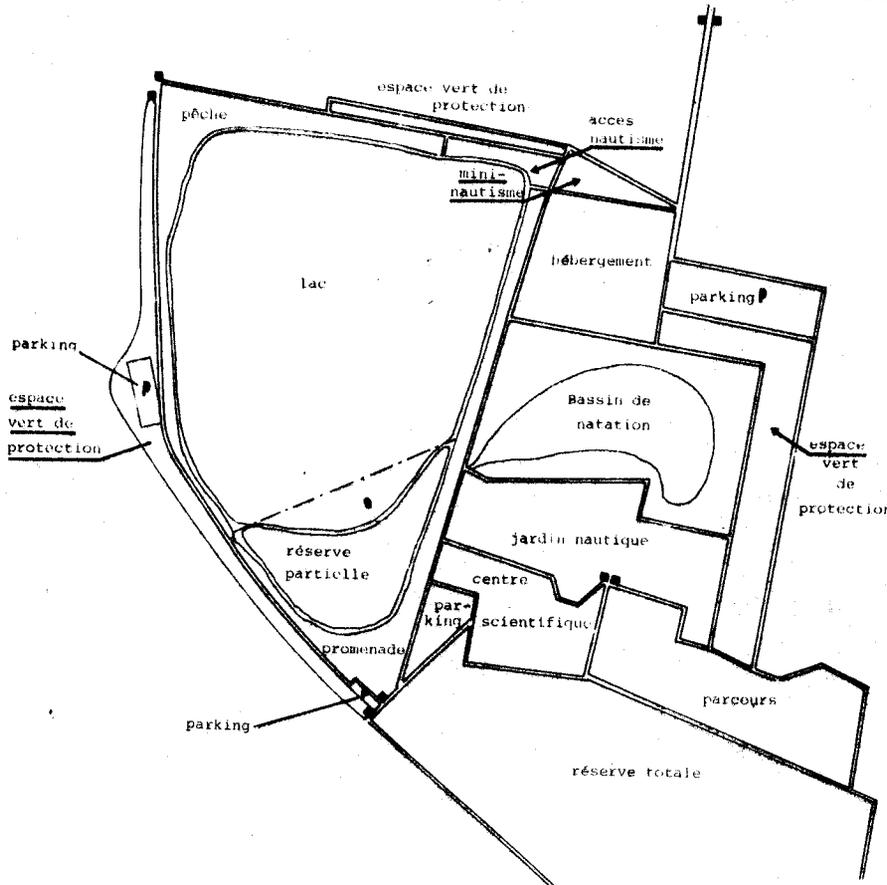
- d'autre part, de réaliser, à proximité immédiate du site existant, les infrastructures de loisirs correspondant à cette pression, en liaison avec une politique générale des lacs dans la région de Dunkerque.

On s'aperçoit alors que l'espace disponible grâce à l'acquisition des terres dans le cadre du Programme d'Action Foncière permet aussi d'envisager la réalisation d'une réserve ornithologique, plus-value spécifique du lac et affectation (écologiquement) primitive des lieux.

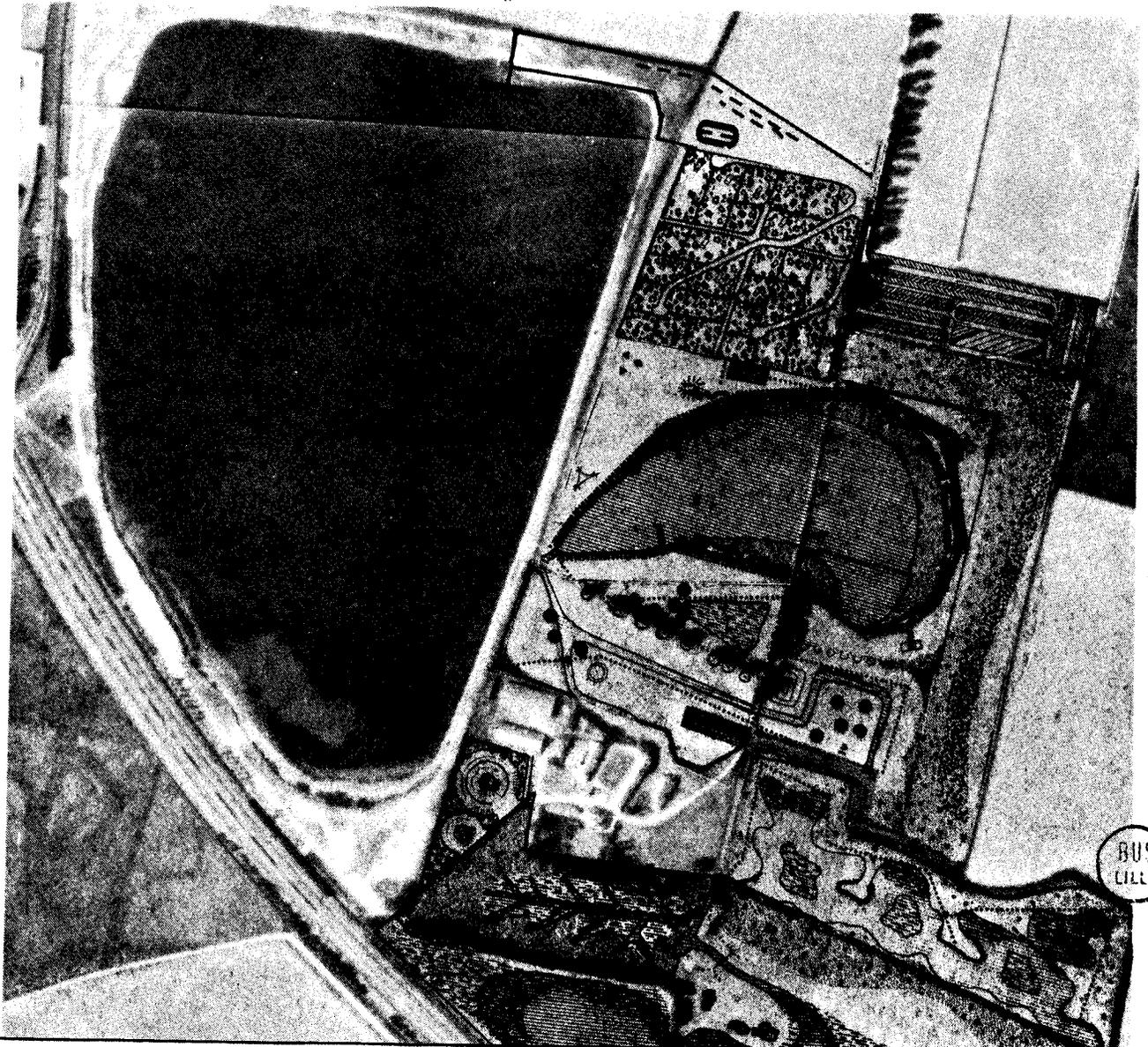
Alors aboutira-t-on à un ensemble simple mais diversifié offrant une large gamme de satisfactions et de plaisirs, compatibles entre eux, comme à l'Ojendorfer Park d'Hamburg.

Et n'est-ce-pas cette finalité là qui devrait commander toute action sur l'espace, tout aménagement pour les loisirs ?

Fig. 34 - EPANNELAGE APPROXIMATIF DES AMENAGEMENTS PROPOSES.



- parcours 3,90 ha
 - accès nautisme 0,30 ha
 - mini nautisme 0,25 ha
 - hébergement 3,75 ha
 - pêche 1,50 ha
 - promenade 1,00 ha
 - espace vert de protection 2,20 ha
 - réserve totale 13,00 ha
 - réserve partielle 2,00 ha
 - centre scientifique 1,50 ha
 - bassin de natation 5,00 ha
dont 2,50 ha en eau
 - jardin nautique 3,00 ha
 - lac 15,00 ha
 - parkings 1,70 ha
- accès
■ périmètre du site



VIII - BIBLIOGRAPHIE -

- ABRASSART F., BERTHON D. et DAMEZ-FONTAINE B. - 1976
 Aménagement et milieu naturel
BETURE - Documents, 1976, (7), 31 p.
- ADAMS WP. et coll. - 1979
 Snow and ice in the phosphorus budget of a lake in South Central Ontario
Water Research, 1979, 13, pp. 213 - 215
- ANGELI N. - 1976
 Influence de la pollution des eaux sur les éléments du plancton. pp. 97 - 133, in P. PESSON.
La pollution des eaux continentales. Gauthier-Villars, 1976, 285 p.
- ARRIGNON J. - 1976
Aménagement écologique et piscicole des eaux douces
 Gauthier-Villars, 1976, 320 p.
- BAJARD Y. - 1971
Etude préliminaire géotechnique et hydrogéologique
 Rapport SOGREAH R. 10.710, 19 p.
- BALLAND P. - 1978
 La protection des lacs naturels
L'Eau Pure, 1978, 51, pp. 13 - 17
- BARROIN G. - 1976a
 La lutte contre l'eutrophisation
Aménagement et Nature, 1976, 44, pp. 21 - 23
- BARROIN G. - 1976b
 La régénération des lacs : ne pourrait-on pas « traiter » les sédiments
XIV^e J. Soc. Hydrotech. F., 1976, III, 11: 6 p.
- BARROIN G. - 1978a
 Restauration des milieux aquatiques dégradés - Techniques d'amélioration
Cycle «Ecologie et Conservation des plans d'eau»
 ENSH/ENSP, 17-19 mai 1978
- BARROIN G. - 1978b
 Techniques d'amélioration de la qualité des plans d'eau
Colloque sur les lacs naturels
 Ass. Franç. Limnol. Chambéry - 18 - 21 Sept. 1978
- BASSIN - CARLIER C. - 1977
 Paysage - Ecologie
Bull. Inst. Ecol. Appl. 1977, (1) - pp. 3 - 20
- BAUER G. - 1973
 Die Bedeutung künstlicher Wasserflächen für den Naturschutz
Natur u. Landschaft, 1973, 48, (10), pp. 280 - 284

- BAUER H.J. - 1973
Die ökologische Wertanalyse
Natur u. Landschaft, 1973, 48 (11), pp. 306 - 311
- BAUER M.J. - 1977
Les zones humides artificielles
Courrier de la nature, 1977, 48, pp.75 - 80
- B.E.T.U.R.E. - 1977
Evaluation de la clientèle potentielle du futur centre routier de transport.
Beture. Nord/C.C.I.D. vol. 1, 137 p. 1977
- BEUFFE H. - 1978
Les grands lacs aquitains : présentation et perspectives d'évolution.
Colloque sur les lacs naturels
Ass. Franç. Limnol. 1, Chambéry - 18 - 21 Sept 1978 - 10 p.
- BLANDIN P., BARBAULT R. et LECORDIER C. - 1976
Réflexions sur la notion d'écosystème : le concept de stratégie cénotique.
Bull. Ecol., 1976, 7, (4), p. 391 - 410
- BLONDEL J. - 1958
Quelques aperçus de l'avifaune des Iles Frisonnes de Vlieland et Terschelling
L'oiseau R.F.O., 1958, 5, (28), pp. 233 - 253
- BLONDEL J. - 1971
Paysages et avifaunes en Provence. Analyse de la diversité.
Bull. Soc. Etude Sci. Nat. Nimes, 1971, n° 51, pp.79 - 96
- BLONDEL J. et FROCHOT B. - 1972
Pourquoi les oiseaux migrent
La Recherche, 1972, n° 3, (25), pp. 621 - 629
- BLONDEL J., FERRY C. et FROCHOT B. - 1973
Avifaune et végétation
Essai d'analyse de la diversité
Alauda, 1973, 41, (1/2), pp. 63 - 84
- BOHN A. et FALLIS B.W. - 1978
Metal Concentrations (As, Cd, Cu, Pb and Zn) in Shorthorn Sculpins, Myoxocephalus scorpius L., and arctic char, Salvelinus alpinus L. from the vicinity of Strathoona Sound, Northwest Territories
Water Research, 1978, 12, pp. 659 - 663
- BOLE J.B. et ALLAN J.R. - 1978
Uptake of Phosphorus from sediment by aquatic plants,
Myriophyllum spicatum and Hydrilla verticillata
Water Research, 1978, 12, pp. 353 - 358.
- BONNET M. - 1968
Etude du drainage des environs de Mardyck
1 - Etude hydrogéologique et hydrologique du site
GEOHYDRAULIQUE, n° 157, 51 p. 1968

BONNET M. et LALLEMAND - BARRES A - 1970 -

Mesure de la vitesse d'écoulement en milieu saturé par les méthodes de traçage. Etude documentaire.
BRGM, 70 SGN 365 HYD., 24 p.

BOTTGER M. - 1978

Böschungsschäden und ihre Verhinderung in Kiesgruben
Garten + Landschaft, 1978 3. pp. 160 - 166

BRUNEEL J.C. - 1978

La dune du Clipon
Ecologie et Protection
D.E.A. Lille II, n.p.

BURGEAP - 1969

Etude hydrogéologique des Waeteringues
R. 477, Mars 1969
R. 480, Nov. 1969

CAVELIER C. - 1978

Traitement d'une retenue d'eau eutrophe par la craie pulvérulente
Colloque sur les Lacs Naturels
Ass. Franç. Limnol. Chambéry 18 - 21 Sept 1978

C.E.R.A.F.E.R. - 1972

Résolution de problèmes d'hydraulique par la Simulation
Modèle d'écoulement à la mer dans la zone des wateringues
C.T.G.R.E.F. Info. Techn. Cahier 7, n° 3, 1972, 4p.

CHAHUNEAU F., des CLERS S. et MEYER S.A. - 1978

Simulation du cycle du phosphore dans le lac de Nantua
Colloque sur les Lacs Naturels
Ass. Franç. Limnol. Chambéry 18 - 21 Sept 1978

CHASSAING B. - 1978

Première estimation des flux de phosphore à l'interface
Eau-Sédiment dans le lac Léman
Colloque sur les Lacs Naturels
Ass. Franç. Limnol. Chambéry - 18 - 21 Sept. 1978

CHEMIN J.L. - 1976

Savoir préserver l'environnement
La Recherche, 1976, 7, (63), p. 83 - 85

COQUE - DELHUILLE B. - 1972

Recherches sur les formations quaternaires et le modelé de la
Flandre Maritime dunkerquoise
Cahiers Géog. Physique - Lille, 1972, n° 1, pp. 45 - 63

COSTE M. - 1976

Contribution à l'écologie des Diatomés benthiques et périphytiques de la Seine :
distribution longitudinale et influence des pollutions.
XIVè J. Soc. Hydrotech. F. 1976, III, 9, 7 p.

COUDERC J.M. - 1970

Limnologie. Cours professé à l'Institut d'Etudes Supérieures de l'Aménagement.
Tours, 1970.

Tours Inst. Aménag. 1970, 59 p.

COULON C. - 1978

La protection des berges

Le Moniteur - 11.9.78 - pp. 81-85

18.9.78 - pp. 97-100

25.9.78 - pp. 83-89

C.T.G.R.E.F. - Grenoble - 1975

Le public et les réserves naturelles

Div. Protection de la nature, n° 84, 76 p. 1975

DAGET J., LEMASSON J., et VIBERT R. - 1968

Aménagement des pêches continentales lacs et rivières

B.T.I. n° 228, 1968, pp. 311 - 322

DAJOZ R. - 1971

Précis d'Ecologie

Dunod, Paris, 1971, 434 p.

DARCHEN J. - 1967

Eléments de Climatologie concernant les côtes de France métropolitaine

Météo Nat. Monogr. n°59, 1967, 139 p.

DE JONG S. - 1977

De kwaliteit van het water op swemplaatsen in en rondom Oostelijk en Zuidelijk
Flevoland in de jaren 1972 t/m 1976

Rijksdienst voor de Ijsselmeer polders 37 ABw, 25 p.

DE JONG J., KOK T. et KORIDON A.H. - 1977

The purification of sewage with the aid of ponds containing bulrushes or reeds
in the Netherlands

R.I.J.P. Rapport En. NL., 7, 21 p.

DE JONG S. - 1978

De waterkwaliteit in 1977 op de zwenplaatsen in en rondom Oostelijk en Zuidelijk
Flevoland

Rijksdienst voor Ijsselmeer polders 17. Abw, 14 p.

DELAINE G. - 1969

Les wateringues du Nord de la France

Landais, Dunkerque, 329 p.

DELELIS - DUSSOLIER A. - 1973

Contribution à l'étude des haies, des fourrés préforestiers, des manteaux sylvatiques
de France.

Thèse Pharmacie Lille II, 146 p.

DELELIS - DUSSOLIER A. - 1974

Les Haies ;

Utilité, richesse biocénétique

Nord Nature 1974, 2, pp. 35 - 41.

DELELIS - DUSSOLIER A. - 1976

L'épuration biologique des eaux
Nord Nature, 1976, (5), pp. 41 - 44

DELEPINE G. - 1909

Phénomènes géologiques récents du Littoral de la Flandre française.
Ann. Soc. Géol. Nord, 1909, 38, pp. 357 - 362

DELPECH R. et FRILEUX P.N. - 1978

Aperçu phytosociologique sur les prairies hygrophiles de la Brenne - P. 51 - 56 in GEHU, 1978
Colloques phytosociologiques n° 5
(La végétation des prairies inondables).

DESCROIX P. - 1975

L'influence de la pollution atmosphérique sur la pollution de l'eau en France
T.S.M. L'eau, 1975, 70, (3), pp. 127 - 129

DUBORGEL M. - 1967

La pêche et les poissons de nos rivières.
Hachette (Livre de Poche) 373 p. 1967.

DUSSART B - 1966

Limnologie
Gauthiers Villars, 1966, 677 p.

DUSSART B. - 1978

Inertie et évolution des lacs
Colloque «Protection des lacs»
T.S.M. L'Eau, 1978, n° 12 suppl., p. 31 - 33

DUTARTRE A. - 1978

Comblement des lacs sud-aquitains - 14 p.
Colloque sur les lacs naturels
Ass. Franç. Limnol., Chambéry 18-21 sept 1978.

FABRE G. - 1975

Un exemple d'étude préalable intégrée : la protection du site des gorges de Gardon
Espace géographique, 1975, (2), p. 149 - 152

FISCHER J.C. - 1976

Ecologie et aménagement du territoire
Bull. Ecol. 1976, t: 7, (2), pp. 221 - 232

FISCHER J.C. et LAPOIX F. - 1977

Typologie des impacts d'aménagement et des données nécessaires à leur évaluation
VIII Jour. Aménagement et Nature - 1977 - S/2, 15 p.

FONTVIEILLE D - 1975

Contribution à l'étude du rôle de l'agitation de l'eau sur la production primaire
phytoplantonique
Ann. Limnol. 1975, 11, (3) pp. 207 - 217

FRILEUX P.N. - 1978

Aperçu phytosociologique sur les prairies hygrophiles du pays de Bray - pp. 303 -
318 in GEHU, 1978
Colloques phytosociologiques n° 5
(La végétation des prairies inondables).

- GACHTER R. - 1971
Zu Frage der Einleitung von gereinigtem Abwasser in Seen
Schweiz. Z. Hydrol. 1971, 33, (1), pp. 73 - 84
- GEHU J.M., BON M., DELZENNE C. et ROSE F. - 1973
Essai de cartographie de la pollution atmosphérique acide dans le Nord de la France
en relation avec la toxisensibilité des lichens épiphytes.
C.R. Acad. Sciences, 1973/276 (D), pp. 729 - 732
- GEHU J.M. - 1978
La végétation des prairies inondables
Colloques phytosociologiques n° V, 1978 - J. Cramet ed. (362 p.).
- GODIN J. - 1974
Quelques réflexions sur les oiseaux des marécages.
Nord Nature, 1974, 1, pp. 20 - 26
- GODIN J. - 1975
Le Héron cendré (Ardea cinerea) dans la région de Saint-Omer. Son impact sur les
piscicultures.
Nord Nature, 1975, 2, (4), pp. 14 - 21
- GOMELLA C. - 1970
Moyens de lutte contre l'eutrophisation des lacs
SETUDE/DAFU, 63p.
- GORHAM P.R. - 1962
Toxic waterblooms of blue-green Algae, pp. 37 - 44 in
BIOLOGICAL PROBLEMS IN WATER POLLUTION.
Third Seminar of U.S. Dept. of Health, Education and Welfare (424 p.)
- GOULD D.J. et FLETCHER M.R. - 1978
Gull droppings and their effects on water quality
Water Research, 1978, 12, pp. 665 - 672
- GROLLEAU G., MONTEGUT J. et MOREAU C. - 1977
Projet d'aménagement de la réserve naturelle de la base de plein air de l'étang
de Saint-Quentin-en-Yvelines.
G.O.P./F.F.N.E. p. mult.
- GROLLEAU G. - 1977
Le problème des réserves en région parisienne
Courrier de la Nature, 1977 (50), pp. 162 - 169
- HILL T.K. et SHELL E.W. - 1975
Some effects of a sanctuary on an exploited fish population
Trans. Amer. Fish. Soc. USA 1975, 104, (3), pp. 441 - 445
- HOESTLANDT H. - 1964
Carte piscicole du département du Nord - Notice sur l'hydrologie piscicole
Imp. Allain, 35 p.
- HRBACEK J. - 1962
Relations of Planktonic Crustacea to different aspects of pollution
pp. 53 - 57 in BIOLOGICAL PROBLEMS IN WATER POLLUTION -
Third Seminar of U.S. Dept of Health (424 p.)

HUFF F.A. - 1976

Relation between atmospheric pollution, precipitation and stream-water quality near a large urban-industrial complex.
Water Research, 1976, 10, pp. 945 - 953

IMPENS R. et DEROANNE - BAUVIN J. - 1975

Pollution de l'air et du milieu à proximité des autoroutes, p. 43 - 59 in Autoroute et Environnement.
Colloque de Louvain, Mars 1975, 167 p.

JACQUES J.C. - 1977

Les impacts écologiques permanents des autoroutes
VIII Jour - Aménagement et Nature - 1977- 0/8 - 16p.

JACQUES J.C. - 1978

Incidence de l'autoroute A.6 sur la qualité des eaux superficielles stagnantes
Colloque sur les Lacs Naturels
Ass. Franç. Limnol. Chambéry, 18 - 21 Sept. 1978.

KALAORA B. - 1977

Méthodologie des enquêtes sociologiques sur la forêt-loisir
INRA - DERST, 20 p.

KERAUTRET L. - 1973

Coup d'oeil sur le statut du Fuligule morillon en France et dans le Nord de la France
Le Héron (G.O.N.) 1973, n° 2, pp. 23 - 27

KIEFER W. - 1967

Erstes Flechtbinsenklärwerk in Wittlingen in Betrieb
Städte Hygiène, 1967, 3, pp. 61 - 63

KIENER A - 1978

Aspects biologiques et économiques de biotopes généralement peu évoqués : les eaux saumâtres.
Cahiers I.N.A., 1978, n° 327, p. 15

KU W.C. et coll. - 1978

Factors affecting phosphate adsorption equilibria in lake sediments
Water Research, 1978, 12, pp. 1069 - 1074

LABEYRIE J. - 1978

Les Aérosols
La Recherche 1978, 9, (87) pp. 209 - 218

LACHAVANNE J.B. - 1978

Influence de l'eutrophisation des eaux du Léman sur l'évolution de sa végétation macrophytique.
Colloque sur les Lacs Naturels
Ass. Franç. Limnol. Chambéry, 18 - 21 Sept. 1978

LACOSTE A. et SALANON R. - 1969

Eléments de biogéographie
Fernand Nathan. ed. 1969

LAGRANGE T. - 1976

Le symbolisme de l'eau
Aménagement et Nature, 1976 n° 44, pp. 1 - 2

LAMOTTE M.M. et BEAUGRAND J. - 1973

L'orientation des oiseaux
La Recherche, 1973, 4, (30), pp. 15 -23

LANSIART M. et TAVOILLOT S. - 1976

Conséquences écologiques du franchissement des Mauves (Loiret) par l'Autoroute A.10 -
II. Pollution de l'eau
Bull. Inst. Ecol. app., 1976, n°3, pp. 161 - 168

LASCOMBE C. - 1978

Le Lac de Paladru : Etat de la qualité des eaux et perspectives d'évolution.
Colloque sur les Lacs Naturels.
Ass. Franç. Limnol. Chambéry - 18 - 21 Sept 1978

LAURENT P.J. - 1971

L'eutrophisation des lacs
Technique de l'eau, 1971, 300, pp. 53 - 62

LAURENT P. - 1976

L'eutrophisation des lacs détection et remèdes -
pp.89 - 96 in P. PESSON. La pollution des eaux continentales - 1976
Gauthier Villars - 286 p.

LEMOINE R. et BAJARD Y. - 1972

L'étude préliminaire géotechnique et hydrogéologique des zones à urbaniser.
Expl. du SDAU de Dunkerque.
Construction 1972, (2), p. 37 - 45

LEYNAUD G., TRUCHOT C., COIN L., et LABONDE J. - 1970

Qualité des eaux et activités de loisirs (9p) in XIè Jour. Hydraulique
Soc. Hydrotechnique France (Paris 1970)

LEYNAUD G. - 1971

Dispositif pour la pêche électrique en eaux profondes
CERAFER/D.Q.P.P. 7 p.

MARKS R. - 1975

Zur Landschaftsbewertung für die Erholung
Natur u. Landschaft, 1975, 50, (8/9), pp. 222 - 227

MERIAUX J.L. - 1978 (a)

Les groupements à Epilobium hirsutum L. et à Eupatorium cannabinum L. dans le
Nord de la France, pp. 339 - 352
in GEHU, 1978
Colloques phytosociologiques n° 5 (La végétation des prairies inondables).

MERIAUX J.L. - 1978 (b)

Etude analytique et comparative de la végétation aquatique d'étangs et de marais
du Nord de la France.
Doc. Phytosocio, N.S., 1978, III, pp. 1 - 244

MEYBECK M. - 1978

La pollution des lacs
La Recherche, 1978, 9, (94), pp. 965 - 973

MOLAIRE B. - 1973

L'étang d'agrément
Flammarion 208 p. + 38

MUSS B.J. et DAHLSTROM P. - 1968

Guide des poissons d'eau douce
Delachaux/Niestlé, 243 p.

NAVE F. - 1978

La réserve naturelle de la Dune Marchand
AGUR/BLFM - 71 p.

NAVE F. - 1979

Le sentier botanique des dunes de Flandre
AGUR/BLNFM - 33 p.

NISBET M. - 1968

L'EAU : Critères de qualité pour la vie piscicole
Evolution de cette qualité
Bull. Tech. Info. 1968, 228, pp. 231 - 244

NISBET M. et VERNEAUX J. - 1970

Composantes chimiques des eaux courantes
Ann. Limno. 1970, 6, (2), pp. 161 - 190

ODUM E.P. - 1976

ÉCOLOGIE
Douin, 254 p.

O'SHÉA T.A. et NANCY K.H. - 1978

The effect of pH and hardness metal ions on the competitive interaction between
trace metal ions and inorganic and organic complexing agents found in natural waters.
Water Research, 1978, 12, pp. 703 - 740

PALMER L.J., ROBINSON M.E., THOMAS R.W. - 1977

The countryside image : an investigation of structure and meaning
Environment and Planning 1977, 9, pp. 739 - 749

PARSY C. et MAETZ R. - 1970

Le delta littoral nord et son environnement (eau potable-eaux industrielles)
Techniques de l'eau, 1970, 287, p.25 - 38

PATRICK F.M. et LOUTIT N.W. - 1978

Passage of metals to freshwater fish from their food
Water Research, 1978, 12, pp. 395 - 398

PAULIEN C. - 1970

Vogelschutzgebiet Hardewiese im Oldenburger Bruch
J. für Heimatkunde Oldenburg/Holstein - 20 p.

PEAUDECERF P. - 1975

Effets des gravières sur le comportement hydrodynamique des nappes d'eau
souterraines
La Houille Blanche, 1975, 213, pp. 133 - 140

PETIT G. et SCHACHTER D. - 1950

Le problème des eaux saumâtres

Coll. Int. CNRS «L'ÉCOLOGIE» 20 - 25/02/50 pp. 301 - 311

PIERRE J.F. - 1976

Les algues et la qualité des eaux : bioindicateurs et biotests.

T.S.M. - L'Eau, 1976, 2, pp. 83 - 87

POINSOT C. - 1973 (a)

Pollution des milieux aquatiques

Région de Dunkerque

AGUR, 113 p. annexes

POINSOT C. - 1973 (b)

Le Roselac - (Lac d'Armbouts-Cappel)

A.G.U.R.

POINSOT C. - 1978 (a)

Le problème des eaux «saumâtres» dans le delta poldérien flamand du point de vue de la biologie

Note AGUR, 6p.

POINSOT C. - 1978 (b)

Éléments pour une politique des plans d'eau dans la C.U.D.

1 - Fréquentation et vocations des lacs.

AGUR, 25 p.

POINSOT C. - 1979 (a)

Le Jardin Nautique d'Armbouts-Cappel

Dossier justificatif d'aménagement

AGUR, 191 p.

POINSOT C. - 1979 (b)

Étude du Lac d'Armbouts-Cappel

Résumé du dossier justificatif

AGUR, 27 p.

RAMADE F. - 1974

Éléments d'écologie appliquée

Ediscience/MC. Graw. Hill - 522 p

REICHHOLF J. - 1973

Wasservogelschutz auf ökologischer Grundlage

Natur u. Landschaft, 1973, 48, (10), pp. 274 - 279

REMENIERAS G. - 1965

L'hydrologie de l'Ingénieur

Eyrolles, 456 p.

RHO J. et GUNNER H.B. - 1978

Microfloral response to aquatic weed decomposition

Water Research, 1978, 12, pp. 165 - 170

RICHARD J.F. - 1975

Paysages, écosystèmes, environnement : une approche géographique.

Espace géographique, 1975, (2), pp. 81 - 92

RIZET M. - 1976

Observations sur l'auto-epuration en milieu naturel.
Essais de contrôle de l'évolution de la qualité par traitement de l'eau introduite.
XIVè J. Soc. Hydrotech. F. 1976, III, 4, 8p.

RIZET M., CAUHAPE N. et BERONS M. - 1976

Etude comparative des eaux de la Seine, de la Marne et de l'Oise et de quelques plans
d'eau situés sur leurs rives.
T.S.M. L'Eau, 1976, n° 2, pp. 77 - 82

RIZET M. et CAUHAPE N. - 1978

Les barrages-réservoirs sont-ils sources de nuisances organoleptiques pour les eaux des
rivières qu'ils régularisent ?
Colloque sur les lacs naturels
Ass. Franç. Limnol. Chambéry 18 - 21 Sept. 1978.

SCHNEIDER R. - 1976

Erfahrungen bei der rekultivierung von Kiesgruben
Natur u. Landschaft, 51, 1976, (4), pp. 100 - 105

Service des Mines Nord-Pas-de-Calais - 1977

Implantation du réseau automatique centralisé de mesure de la pollution atmosphérique.
Note Subd : Littoral - 13 p.

SOLTNER D. - 1978

Planter des haies, brise-vent, bandes boisées.
Courrier de la nature, 1978, 57, pp. 13 - 17

SOMME J. - 1969

La plaine maritime
Bull. Soc. Géo. Nord, 1969, pp. 117 - 126

STAKE E. - 1968

Higher vegetation and phosphorus in a small stream in Central Sweden
Schweiz. Zeit. Hydrob. 1968, 30, (2), pp. 353 - 373

SUDO R., OHTAKE H. et AIBA S. - 1978

Some ecological observation on the decomposition of periphytic algae and aquatic plants
Water Research, 1978, (12), pp. 179 - 184

TAMISIER A. - 1970

Signification du grégarisme diurne et de l'alimentation nocturne des Sarcelles d'hiver
Anas crecca crecca L.
Terre et Vie, 1970, 4, pp. 511 - 561

TARLET J. - 1977

Milieu naturel et aménagement
Les méthodes de planification écologique
Ann. Géographie, 1977, 474, pp. 164 - 200

THEIS T.L. et Mc CABE J.P. - 1978

Phosphorus dynamics in hypereutrophic lake sediments
Water Research, 1978, 12, pp. 677 - 685

THOMAS E.A. - 1962

The eutrophication of lakes and rivers, cause and prevention
pp. 299 - 305 in Biological problems in water pollution
Public Health Service, 999 - WP 25 - (424p.)

TRICART J. - 1973

La géomorphologie dans les études intégrées d'aménagement du milieu naturel.
Ann. Géographie, 1973, 452, pp. 421 - 453

TUFFERY G. - 1968

Le poisson dans la chaîne alimentaire
B.T.I. n° 228 - 20 p. 1968

TUFFERY G. - 1976

Incidences écologiques de la pollution des eaux courantes.
Révélateurs biologiques de la pollution.
pp. 183 - 219 in P. PESSON, 1976
La pollution des eaux continentales
Gauthier Villars, 285 p.

VERDEVOYE P. - 1974

Pollution du lac d'Armbouts-Cappel
SRAE/CTGREF n°2816 - CER/PP, 8p.

VERDEVOYE P. - 1979

Etude de la qualité des Eaux du Lac d'Armbouts-Cappel
SRAE/AGUR, 34 p.

VERNEAUX J. - 1968

Le milieu aquatique et les peuplements aquatiques.
Relations
B.T.I., 1968, n° 228 - 16p.

VERNEAUX J. - 1976

Fondements biologiques et écologiques de l'étude de la qualité des eaux continentales
pp. 231 - 285, in P. PESSON. La pollution des eaux continentales, 1976
Gauthier Villars, 286 p.

VIBERT R. et LAGLER K.F. - 1961

Pêches continentales
Dunod, 720 p

VIVIER P. - 1962

La pisciculture
PUF. Que sais-je ? n° 617, 127 p.

VIVIER P. et LAURENT M. - 1967

Interréactions vase-eau
B.T.I., 1967, 224, pp. 775 - 781

VIVIER P. - 1967

L'eutrophisation des lacs
B.T.I., 1967, 224 - pp. 783 - 792

VIVIER P. - 1968

L'importance particulière du milieu dans la vie piscicole
B.T.I., 1968, 228 - pp. 221 - 230

VIVIER P. - 1976

L'eutrophisation des lacs (structure, fonctionnement et évolution des lacs)
pp. 67 - 87 in P. PESSON, 1976
La pollution des eaux continentales
Gauthier Villars - 286 p

VOLLENWEIDER R.A. - 1971

Les bases scientifiques de l'eutrophisation des lacs et des eaux courantes sous l'aspect
particulier du phosphore et de l'azote comme facteurs d'eutrophisation.
Technique de l'eau, 1971, n° 292 à 298, p. m.

VOLLENWEIDER R.A. - 1975

Input - Output models (with special reference to the phosphorus loading concept in
limnology)
Schweiz Z. Hydrol . 1975, 37, (1), pp. 53 - 84

WAUTHIER J. - 1974

Toxicité d'un complexe algal sur la faune aquatique.
Comm. à la réunion de l'Ass. Franç. Limnol. LES EYZIES in Ann. Hydrobiol, 1974,
5, (2), pp. 137

WIEDEMEYER M. - 1972

Die Vogelkoje Kampen
Kurzeitung Sylt, (Juin) 3 p.

WIELGOLASKI F.E. - 1975

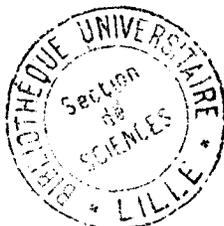
Biological indicators on pollution
Urban Ecol., 1975, 1, pp. 63 - 79

WURTZ-ARLET J. - 1968

La gestion des étangs
B.T.I., 1968, 228, pp. 299 - 310

ZWEERES J.J. et BOURNE A. - 1976

Parcs nationaux, réserves naturelles et le public
Naturopa, 1976, 21, pp. 18 - 22



1968

1. 1968 - 1970 - 1971

1971

2. 1971 - 1972 - 1973

1972

3. 1972 - 1973 - 1974

1973

4. 1973 - 1974 - 1975

1974

5. 1974 - 1975 - 1976

1975

6. 1975 - 1976 - 1977

1976

7. 1976 - 1977 - 1978

1977

8. 1977 - 1978 - 1979

1978

9. 1978 - 1979 - 1980

