Rives naturelles du Lac de Neuchâtel
Groupe d'étude et de gestion

EROSION DE LA RIVE SUD DU LAC DE NEUCHATEL

Résumé de l'étude du Laboratoire de recherches hydrauliques de l'EPFZ

Rapport sur la situation actuelle

---

1. Etudes préliminaires Ouvrages d'essai

étude — Dans le cadre du Plan de protection de la rive sud-est du lac de Neuchâtel, un groupe ad hoc de la LSPN (actuellement le groupe d'étude et de gestion) a fait une étude préliminaire de l'érosion en 1980. On y estime que le phénomène d'érosion est actif dans tous les secteurs dépourvus de roselière lacustre ou de protection, soit sur une longueur cumulée de 13 km, principalement entre Yverdon et Estavayer.

mesures — Dès 1982, environ 30 profils ont été implantés et mesurés régulièrement par le groupe d'étude et de gestion (GEG). On a ainsi mis en évidence que la progression de l'érosion se fait par à coups à la cadence moyenne de 2 m/an.

ouvrages — 5 séries d'ouvrages ont été réalisés à titre d'essai avec pour objectif de mettre au point des techniques utilisant si possible les matériaux disponibles sur place et la main d'oeuvre bon marché (bénévoles et militaires). L'intention était de disposer, au moment où le phénomène d'érosion serait assez bien cerné, de techniques éprouvées, directement applicables à plus grande échelle.

Les ouvrages suivants furent réalisés :

Châbles E	140 m fascines longitudinales (école de recrues) construit en 1986, démoli en 1987 reconstruit en 1987, endommagé sérieusement réparé en 1989 démoli en fév. 1990
Châbles W	130 m fascines longitudinales (école de recrues) construit en 1986 démoli en 1987
Yvonand	5 épis transversaux (service des eaux) construit en 1985 sérieusement réparé en 1989 (service civil international)
Champ-Pittet E	10 épis transversaux (entreprise, troupes de génie) 160 m fascines longitudinales (service civil international) commencé en 1989 réparé et terminé en 1990
Champ-Pittet W	8 épis transversaux (troupes de génie, entreprise) commencé en 1989 terminé en 1990

Ces essais n'apportent pour l'instant qu'une certitude : les ouvrages longitudinaux sont inappropriés.

2. Résumé de l'étude 956/1 du Laboratoire de recherches hydrauliques, hydrologiques et glaciologiques (VAW) de l'EPFZ :

"Erosion de la rive sud du Lac de Neuchâtel" Zürich 1989. MM. A. Huber et A. Chervet

mandat

A fin 1987, le GEG a donné mandat à la VAW de répondre aux questions suivantes, en priorité pour le secteur Yverdon-Estavayer :

- où et comment se déroule le processus d'érosion ?
- une situation d'équilibre peut-elle s'installer naturellement dans un avenir prévisible ?
- quel est le rôle joué par la régularisation du niveau ?

théorie des vagues

Dans une première partie, l'auteur applique au secteur considéré la théorie des vagues. On peut ressortir de ce développement les éléments principaux suivants :

hauteur des vagues

- Le développement des vagues (que l'on peut mesurer à leur hauteur) est influencé par la vitesse du vent, la durée du vent et le fetch (distance sur laquelle les vagues peuvent librement se développer).

  La rive sud étant rectiligne et orientée selon les vents dominants, le fetch pour le secteur considéré est de 23 à 37 km (bise).

  la théorie permet de calculer les **exemples** suivants pour la région de Champ-pittet (fetch = 35 km) :

  - une bise de 4 h de force 7 (54 km/h) provoque des vagues de 2 m de hauteur
  - après 5 h de bise de force 4 (27 km/h) la hauteur atteint 0,9 m.

action sur le fond

- L'énergie d'une vague agit d'autant plus que sa hauteur est grande. Un mouvement horizontal a lieu au niveau du fond, dont on peut calculer des **exemples** :

  - vague de hauteur 2 m :

    à 8 m de profondeur vitesse horizontale 0,7 m/sec
    à 16 m de profondeur vitesse horizontale 0,2 m/sec

  - vague de hauteur 0,9 m :

    à 2 m de profondeur vitesse horizontale 0,7 m/sec
    à 6 m de profondeur vitesse horizontale 0,2 m/sec

étendue de l'action

- Or le sable de toute la rive provient de la molasse désagrégée, il a une granulométrie uniforme située entre 0,25 et 0,75 mm. Pour déplacer des grains de cette taille, il suffit d'une vitesse horizontale de 0,1 à 0,2 m/sec. C'est-à-dire par exemple que des vagues de 0,9 m destabilisent tout le fond jusqu'à 6 m de profondeur.

  La beine (zone d'eau peu profonde) de la rive sud est très étendue et sa profondeur n'excède guère 5 m. Il est donc établi que, quel que soit le niveau du lac, toute la beine est soumise à l'érosion, même avec des vagues modestes. Ce phénomène est confirmé par la simple observation du lac un jour de forte bise : l'eau verte et blanche sur le lac est ocre sur la beine.

dépôt des matériaux érodés

- On ne connaît que très peu de secteurs de rivage en phase d'atterrissement; on en conclut que les matériaux ainsi mis en suspension sont entraînés hors de la beine et vont élargir le mont en se déposant en profondeur.

premières conclusions

Les conclusions de cette première partie de l'étude peuvent se résumer ainsi :

- **compte tenu de la finesse des matériaux, l'énergie des vagues provoquées par un vent moyen est suffisante pour destabiliser le fond sur toute la surface de la beine**
- **la profondeur d'action des vagues est telle que le niveau du lac au moment de leur développement est sans effet réel; la régularisation du niveau est donc hors de cause**
- **l'érosion va se poursuivre jusqu'à ce que l'énergie des vagues se détruise sur un obstacle dur : construction, affleurement de molasse, falaise.**

Histoire de l'érosion

Dans la seconde partie du rapport, l'auteur étudie le déplacement de la ligne de rive sur la base des cartes topographiques dès 1890 (1ère correction des eaux du Jura) et des photos aériennes dès 1937 (1ères photos). Le recul de la rive est mesuré dans des profils pour 4 périodes caractéristiques. On constate qu'il a eu lieu de façon irrégulière mais qu'il atteint au total plusieurs centaines de mètres. Il a fallu, pour en arriver là, que des millions de m3 aient été déblayés. Il est intéressant de constater que par une toute autre approche, l'étude de la VAW confirme la vitesse moyenne du recul mesurée par le GEG soit environ 2 m/an.

secondes conclusions

les conclusions découlant de cette étude de l'histoire de la rive sont que :

- **l'érosion a commencé dès la première correction des eaux du Jura et s'est déroulée depuis de façon continue**
- **la moitié de la surface mise à jour par l'abaissement du niveau en 1880 a déjà été engloutie, il s'agit de plusieurs km2**

- **le phénomène se poursuivra jusqu'à ce que la seconde moitié ait disparu, ce qui peut prendre à nouveau un siècle. Localement des obstacles peuvent arrêter le phénomène**

Protections

Le mandat de la VAW ne comportait pas l'étude d'ouvrages de protection. Néanmoins, le rapport contient l'esquisse de quelques ouvrages possibles.

3. Suite des études

Le rapport de la VAW apporte des certitudes. Il donne des éléments décisifs mais généraux, pour le secteur Yverdon - Estavayer.

Avant de passer au projet d'éventuels ouvrages de protection, les études suivantes sont entreprises :

- relevé topographique de toute la beine; une offre sera prochainement transmise aux services des eaux

- étude générale de l'érosion sur le secteur Estavayer - Broye; la VAW prépare un programme

- étude plus détaillée (que le rapport VAW résumé plus haut) et incorporant des données supplémentaires telles que topographie du fond, profils mesurés par le GEG, connaissances des courants et de la sédimentologie; la VAW prépare un programme.

Avant une phase de projet, une analyse d'une autre catégorie est indispensable; il s'agit de répondre à la question : est-il souhaitable de construire des ouvrages de protection pour des zones naturelles ? et dans l'affirmative peut-on définir des priorités ?

Le GEG travaille actuellement cet aspect, avec le programme suivant :

mai-juin 1990	mise au point (sur le secteur Yverdon-Estavayer) avec la sous-commission scientifique puis la commission de gestion, d'une procédure de décision : scénarios d'évolution de la rive (avec /sans protection), évaluation des scénarios et définition d'objectifs.
nov-déc. 1990	application à l'ensemble de la rive de la méthode mise au point, et proposition finale.
1991	début d'un éventuel projet d'ouvrage de protection, adaptation du plan de gestion de la Grande Cariçaie.

RO/lb
Champ-Pittet le 24.04.1990
GEG

M. Rollier

1 EXPOSE DE LA PROBLEMATIQUE

L'érosion de la Rive sud est un phénomène connu de longue date. Son ampleur, estimée dans les années 80, a été précisée dans les années 90 par comparaison de la ligne de rive relevée dans les éditions successives de cartes topographiques de 1880 à 1979 (EAWAG, 1993). Selon ce rapport, la rive sud du Lac de Neuchâtel enregistre un recul moyen annuel de 1,6 m entre Yverdon et Estavayer-le-Lac et de 1,4 m entre Estavayer-le-Lac et le canal de la Broye. Une analyse plus fine révèle un recul variable dans le temps et le secteur de rive considérés, recul qui peut localement se voir compenser par une extension de la roselière lacustre sur le lac. A l'échelle de l'ensemble de la rive, le bilan des gains et des pertes par érosion des surfaces marécageuses reste cependant négatif.

L'utilisation de photographies aériennes permet depuis peu une investigation systématique et suivie de la ligne de rive. Outre sa précision supérieure à celle des cartes topographiques classiques au 1 :25'000, elle offre l'avantage d'apporter des résultats complémentaires qualitatifs sur la nature des surfaces érodées : roselières lacustres, prairies à grandes laiches ou dunes boisées.

Le présent document présente les résultats de l'analyse photogrammétrique de trois vols réalisés par l'office fédérale de la topographie respectivement en 1979, 1992/1994 et 2001. Il rappelle au préalable les données acquises pour la période 1880 à 1979 et les mesures de lutte anti-érosion qui lui ont succédé.

Il décrit pour chaque commune, d'Yverdon à Cudrefin, la modification naturelle de la ligne de rive intervenue entre 1979 et 2001 et la compare aux résultats obtenus pour la période 1880-1979. Il définit les priorités d'intervention sur la base de critères quantitatifs (bilan des gains et des pertes respectives) et qualitatifs (nature des surfaces perdues, présence de sites archéologiques). Il conclut au chapitre 4 sur le suivi et les actions à entreprendre dans les années à venir.

2 ETAT DES CONNAISSANCES

2.1 Les études et suivi réalisés

Plusieurs études préliminaires ont été réalisées dans les années 1980. En 1987, le groupe d'étude et de gestion a mandaté le Laboratoire de Recherches Hydrauliques, Hydrologiques et Glaciologique de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Zürich pour réaliser une analyse détaillée des causes de l'érosion sur le Lac de Neuchâtel, de l'évolution de la rive de 1880 à 1979, des conséquences prévisibles en cas de non interventions, enfin des mesures techniques de protection de la rive.

Le GEG a mandaté le laboratoire de recherches hydrauliques, hydrologiques et glaciologique de l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich (VAW) afin de réaliser une cartographie chronologique de la ligne de rive et définir l'évolution future de la Grande Cariçaie et les mesures adéquates à prendre pour lutter contre le phénomène de l'érosion. Complémentairement, une carte bathymétrique de la beine a été établie par le bureau Pierre Martin SA à Thierrens en 1993. Parallèlement, le GEG a réalisé une cartographie chronologique des roselières lacustres

de la rive: le présent rapport constitue le compte rendu de ce travail.

Les résultats clés de cette étude sont brièvement rappelés dans les chapitres suivants.

L'utilisation des cartes topographiques au 1:25'000 ne permet toutefois pas de quantifier et de localiser précisément dans des intervalles de courte durée le recul ou l'avance de la rive. D'une part, l'échelle de ces cartes est trop grossière et leur mise à jour irrégulière, d'autre part les dates de leurs relevés ne sont pas nécessairement celles de la publication des cartes révisées.

2.2 Les facteurs à l'origine du phénomène

La Rive sud du Lac de Neuchâtel est exposée à la bise soufflant du nord-est et au vent du sud-ouest. Ces deux vents jouent un rôle prépondérant à l'origine de vagues d'énergie varaiablejouent un rôle prépondérant dans l'érosion de la rive

de direction et d'intensité variable qui la balaie soumise à au cours du temps depuis la première modification de la correction des eaux du Jura (18...) des modifie sous l'action se modifie n proie depuis son origine est un phénomène connu de longue date.

2.3 L'érosion sur la Rive sud

2.3.1 De 1880 à 1979

Le recul de la rive de 1880 à 1979 a été analysé sur la base de cartes topographiques anciennes

2.3.2 De 1979 à 1992/1994

Les résultats de cette cartographie chronologique, mettent en évidence un clivage de la rive Sud du lac de Neuchâtel en deux zones que les bilans de répartition et du dynamisme des roselières lacustres opposent:

- la rive joignant Yverdon à Estavayer n'abrite des surfaces de roselière lacustre que sur moins d'un sixième de sa longueur; elles se présentent sous la forme de petits massifs au large ou accolés à une ligne de rive bien marquée et souvent boisée, mais rarement en contact avec la végétation palustre riveraine; le bilan dynamique y est largement défavorable;

- la rive joignant Estavayer à Cudrefin abrite des surfaces de roselière lacustre sur plus de la moitié de sa longueur; les massifs y sont plus grands et nombre d'entre eux sont en contact avec la végétation palustre riveraine; le bilan dynamique y est globalement défavorable avec cependant un bilan positif pour le secteur 6.

De 1992 à 2001

1987

1991

ETUDES PRELIMINAIRES
1980 – 1982

CONNAISSANCE DU PHÉNOMÈNE

- constat de l'évolution des profils courts
- relevé de profils longs, pente du terrain
- exploitation des données des profils
- acquisition d'autres données (vent, vagues etc)
- rôle des différents facteurs (niveau, orientation de la rive, vent, présence de roseaux)
- explication du mécanisme général (où s'amorce le processus? où dérive le limon?).

- vitesse de l'avancement
- programme d'acquisition de données suppl.

base d'étude :
- profils
- photo aérienne
- données météo

PREVISIONS DE L'EVOLUTION

- profil d'équilibre
- durée jusqu'à équil.
- ligne de rive finale, secteurs
- abaissement général du niveau ?
- situation définitive (au p. ex. dans 20 ans)

MOYENS DE LUTTE

- typologie
- év. scénarios
- évaluation (pt. de vue écologique, temporel, technique, financier

ABOUTISSEMENT:
peut-on faire quelque chose ?

non → **REVISION FONDAMENTALE DU PROGRAMME DE GESTION**

oui → **PROGRAMME D'INTERVENTION**

ACQUISITION DE DONNEES
(Profils dès 1982)

programme à mettre au point
- relevés de profils courts
- " " " longs
- points fixes (photos aér.)
- donnée météo ?

OUVRAGES D'ESSAI
(Maladaire 1985
Châbles 1986/1987)

programme à mettre au point
- type d'ouvrage
- localisation
- analyse des défauts
etc

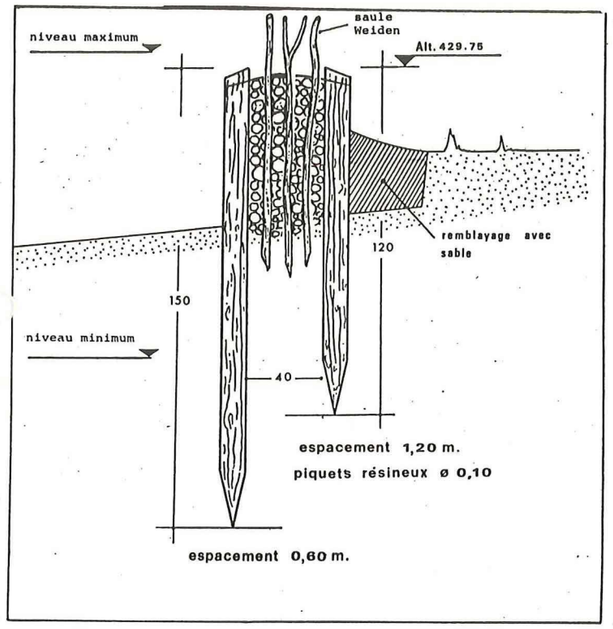
REALISATION DES MESURES

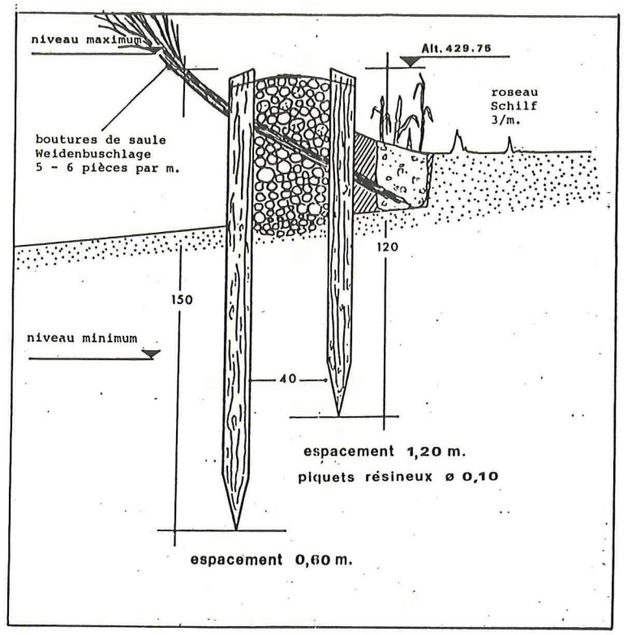
4.11.1987

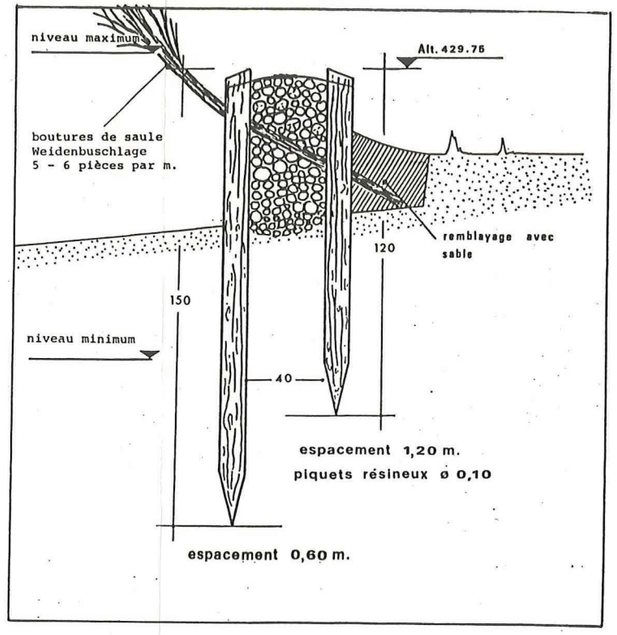
OUVRAGE DE PROTECTION CONTRE L'EROSION

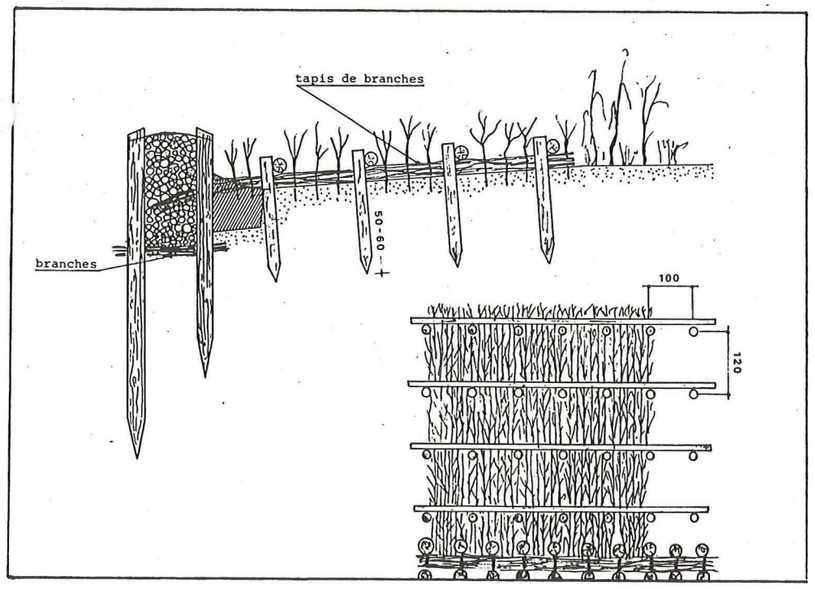
Commune de Chables

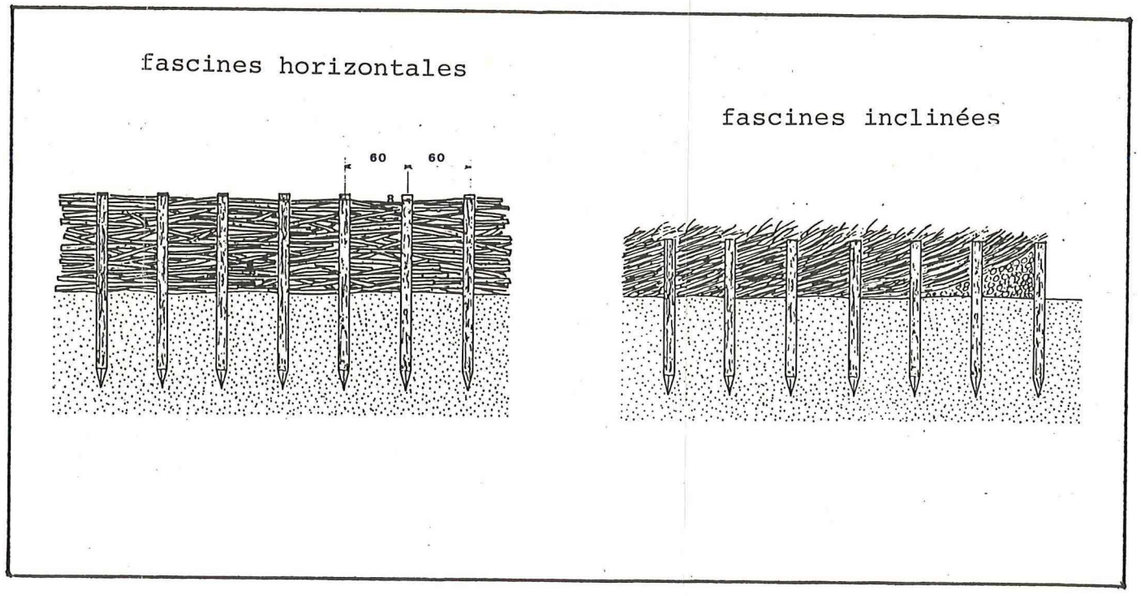
Pro Natura Helvetica
Champ-Pittet
1400 Cheseaux-Noréaz
Tél. 024 23 13 41



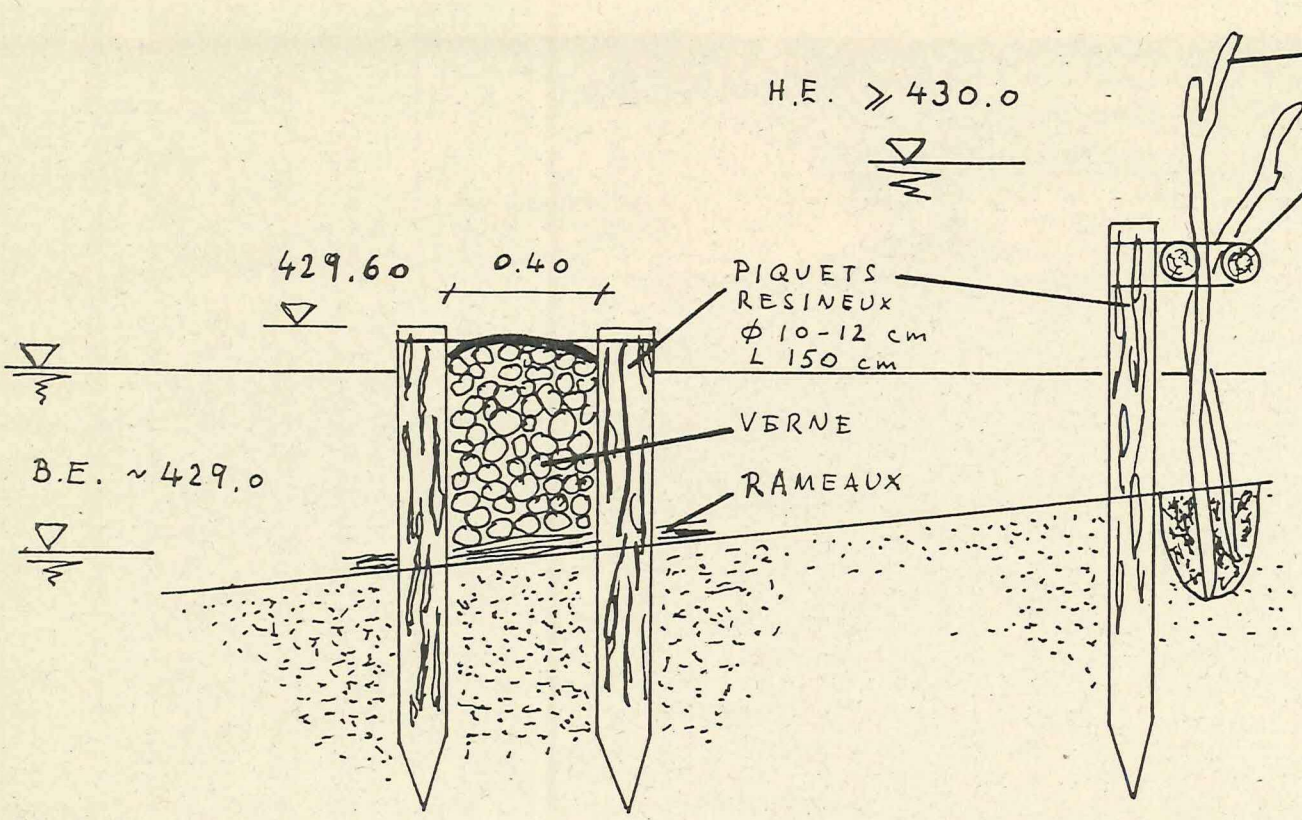


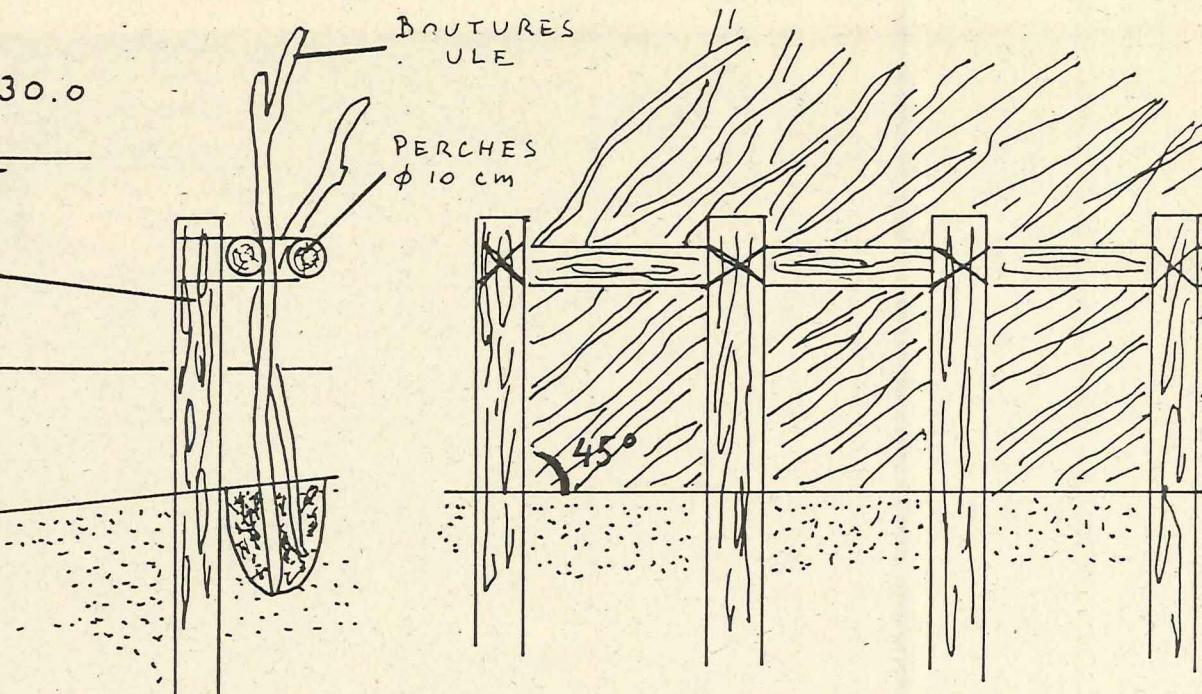


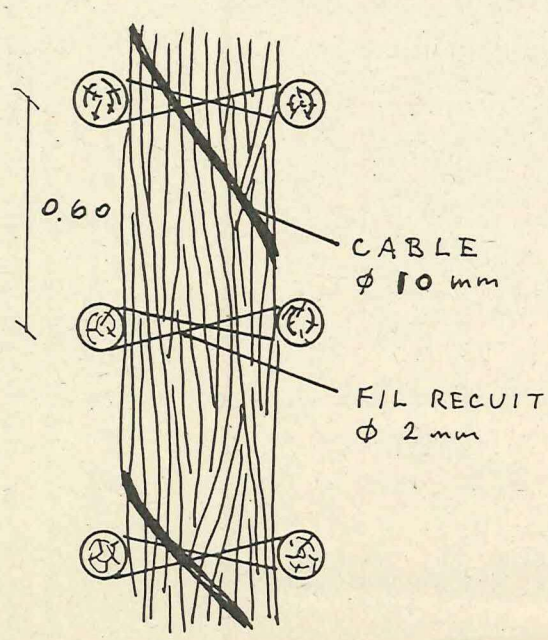


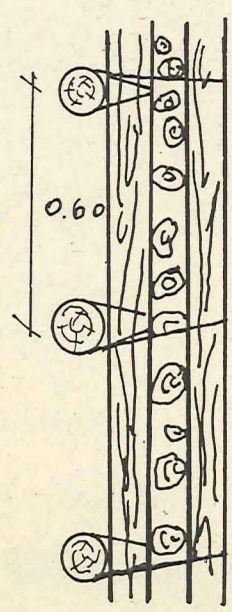


JcB - 9·10·86









OUVRAGES DE PROTECTION
CONTRE L'EROSION

[redacted] FASCINES

1:20 12.8.1988

3.3.3

Grande Cariçaie
Groupe d'étude et de gestion
Champ - Pittet
1400 Cheseaux - Noréaz

Ro

Gemeinde Bondallaud
Erlenzer
Ch. du Pont 3
3900 Glis

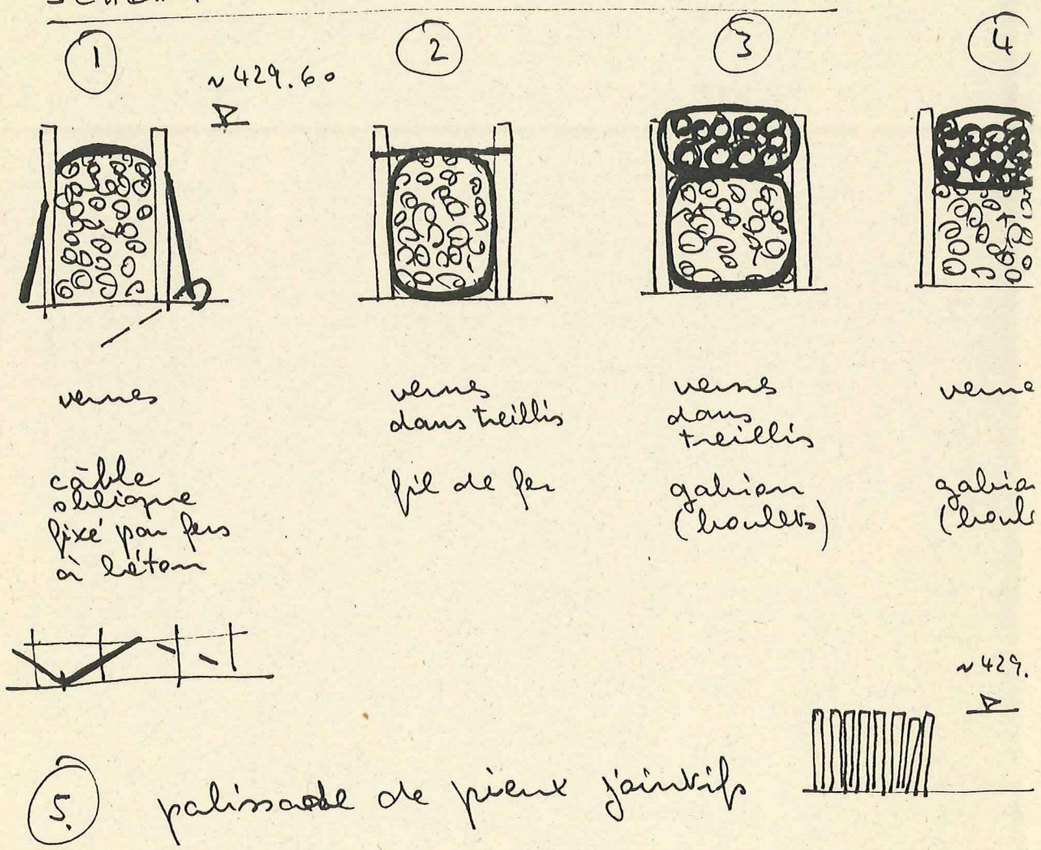
OUVRAGES DE PROTECTION CONTRE L'EROSION

CHANTIER ER PA 276

PREPARATIFS

No 20.8.87

SCHEMA REPARATION ANCIEN OUVRAGE (mécanique

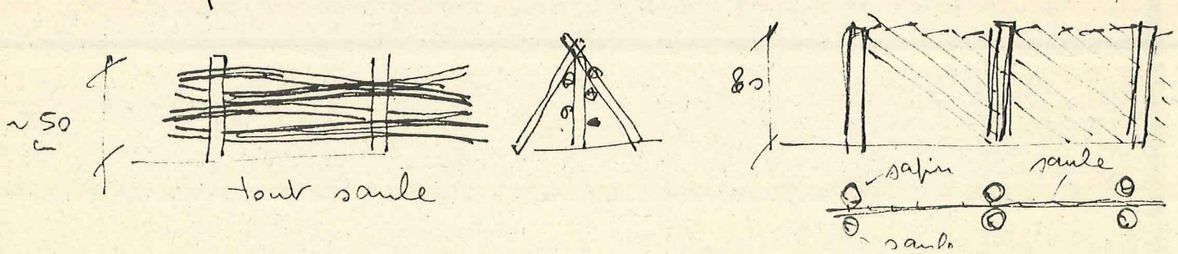


5. palissade de pieux jointifs

SCHEMA NOUVEL OUVRAGE (vivant)

par M. Zuffi

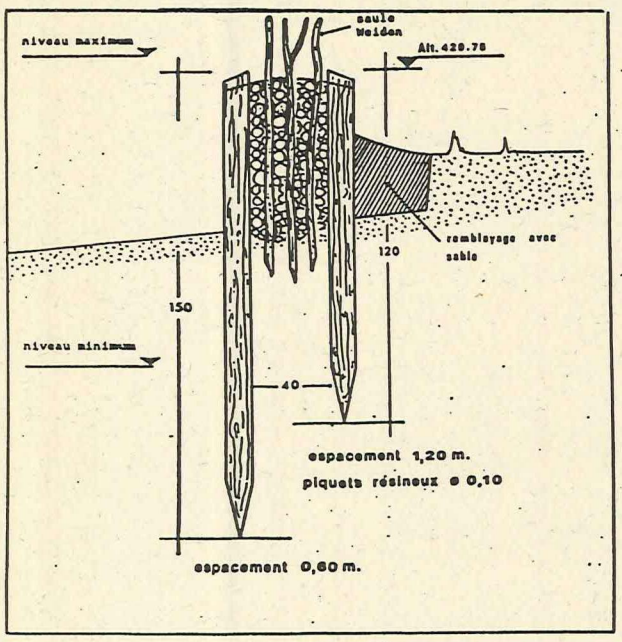
No

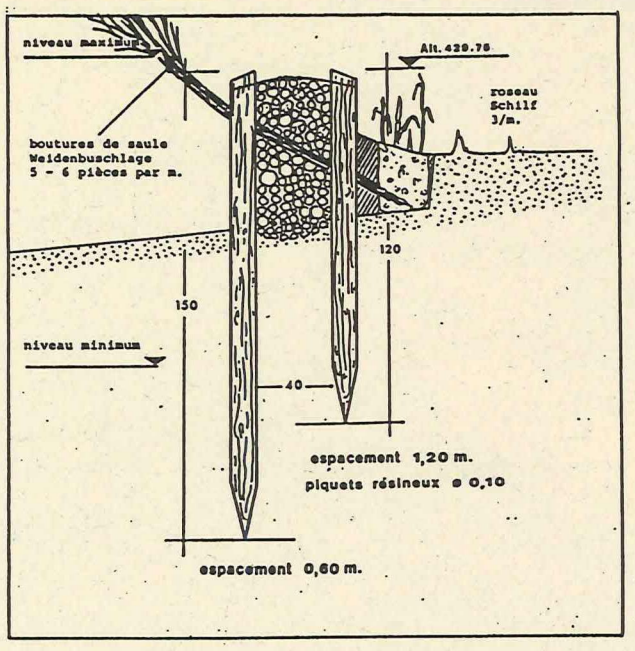


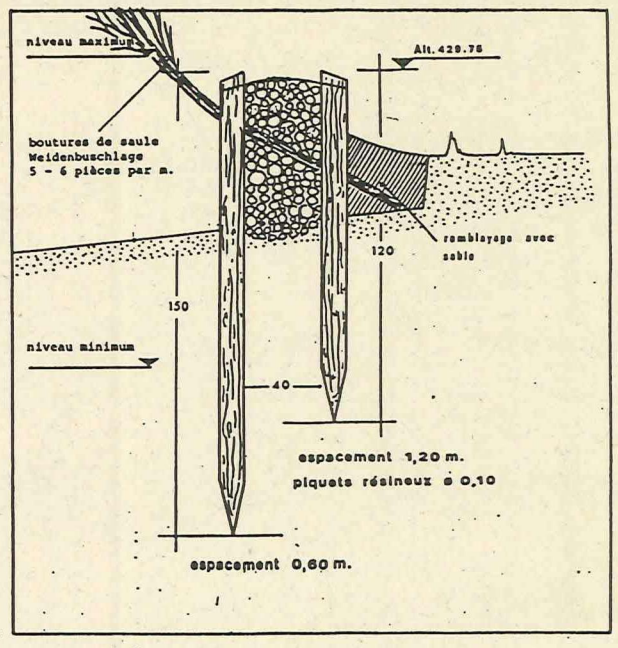
OUVRAGE DE PROTECTION CONTRE L'EROSION

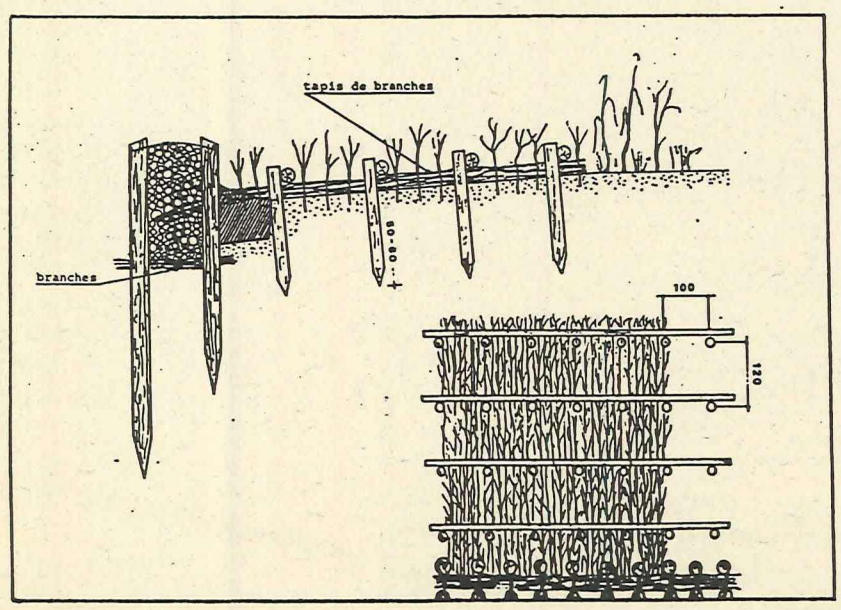
Commune de Chables

Pro Natura Helvetica
Champ-Pittet
1400 Cheseaux-Noréaz
Tél. 024 23 13 41

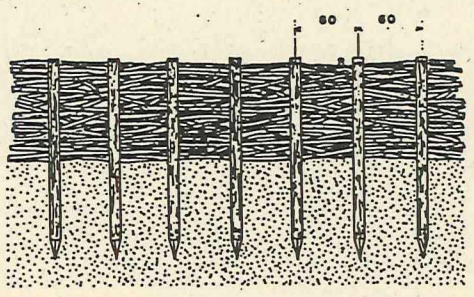




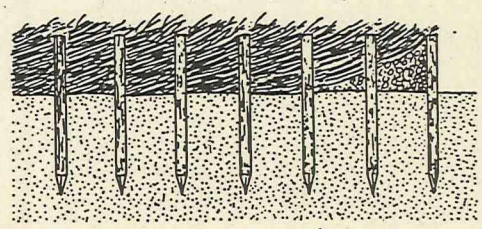




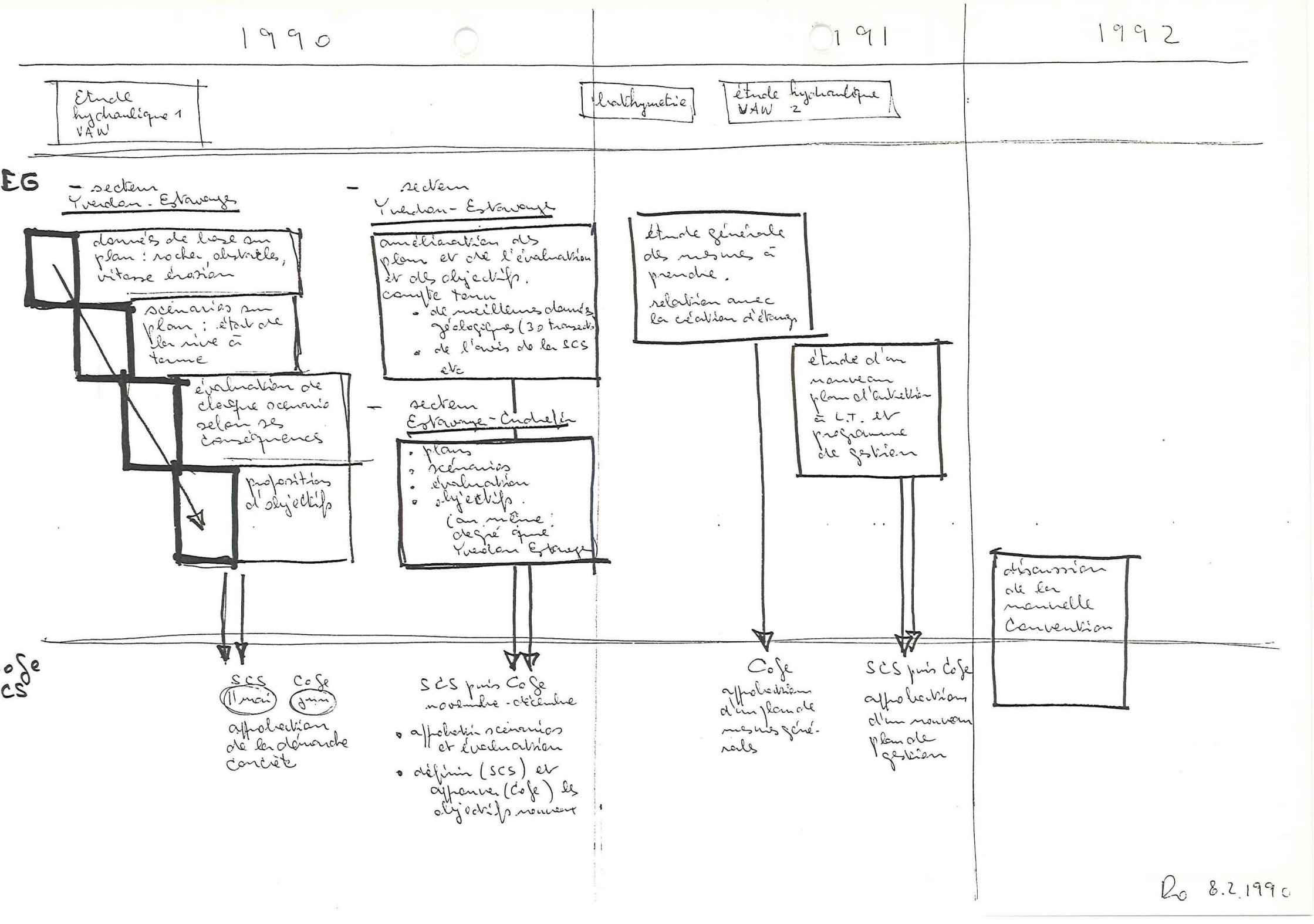
fascines horizontales



fascines inclinées

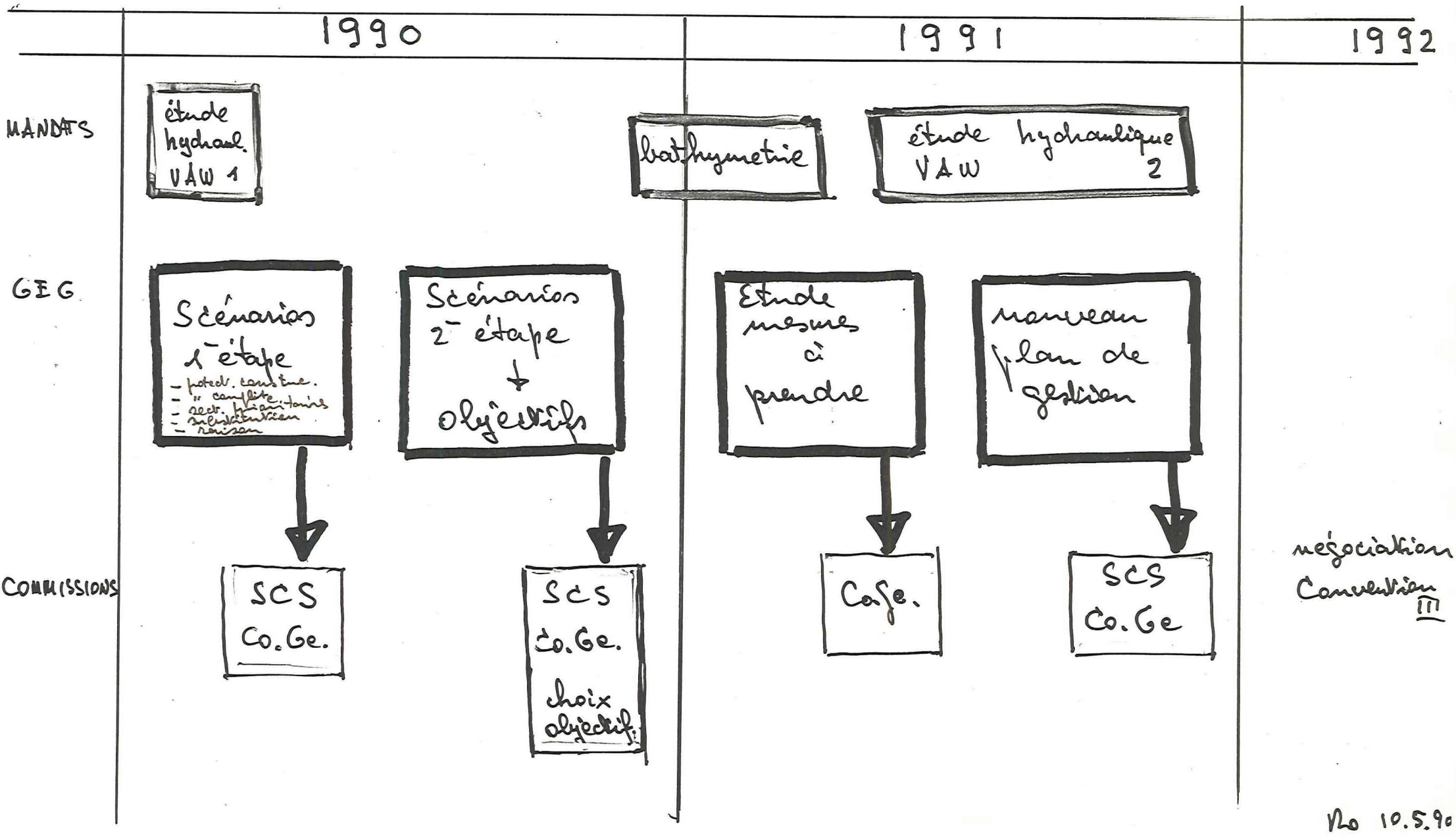


JcB - 9.10.86

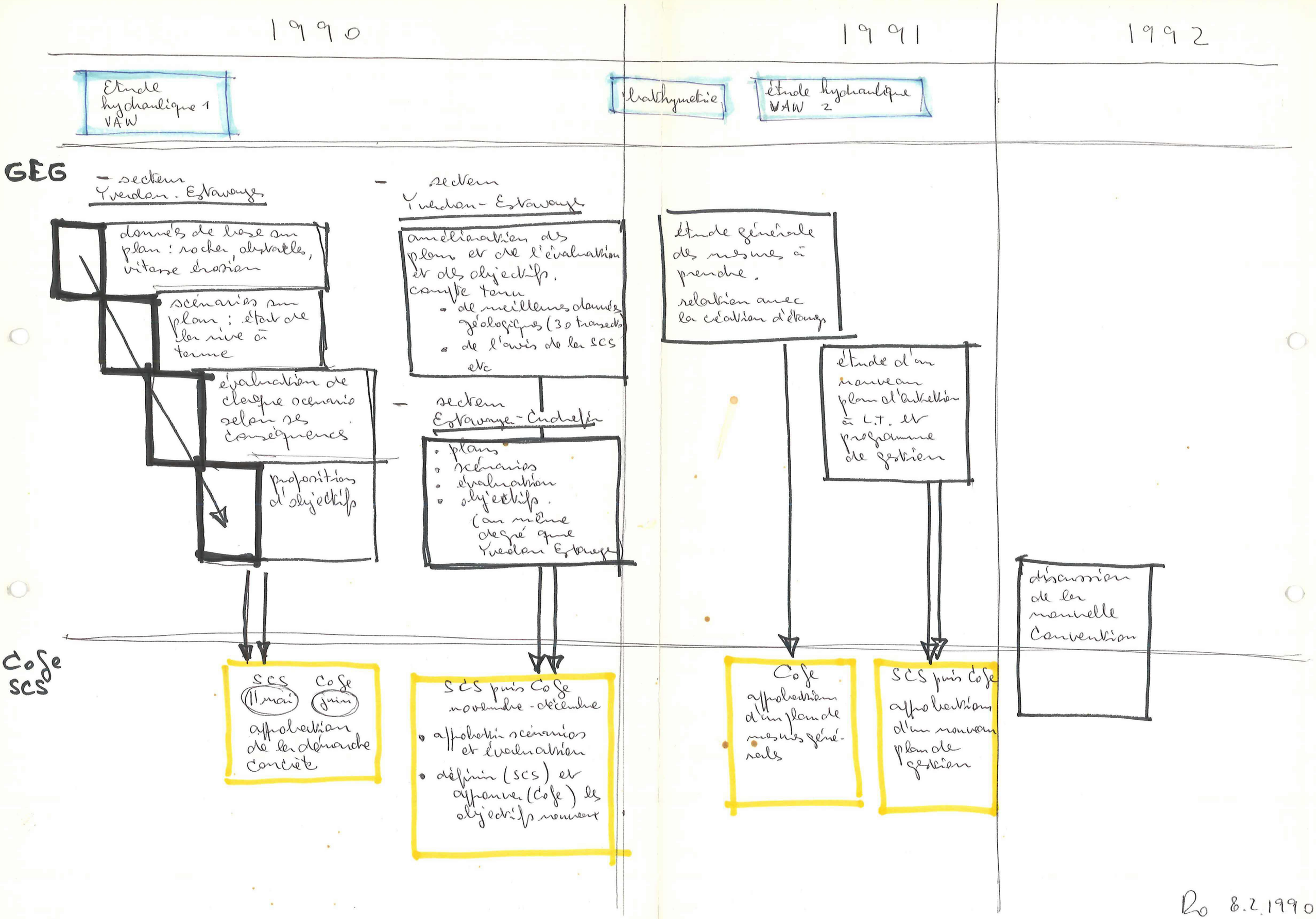

1990
1991
1992
Etude hydraulique 1 VAW
bathymetrie
étude hydraulique VAW 2
EG
- secteur Yverdon - Estavayer
données de base sur plan : rocher, obstacles, vitesse érosion
scénarios sur plan : état de la rive à terme
évaluation de chaque scénario selon ses conséquences
propositions d'objectifs
- secteur Yverdon - Estavayer
amélioration du plan et de l'évaluation et des objectifs. compte tenu
• de meilleures données géologiques (3 transects)
• de l'avis de la SCS
etc
- secteur Estavayer - Cudrefin
• plans
• scénarios
• évaluation
• objectifs.
(au même degré que Yverdon Estavayer)
étude générale des mesures à prendre.
relation avec la création d'étangs
étude d'un nouveau plan d'activités à L.T. et programme de gestion
discussion de la nouvelle Convention
Cofe
SCS
SCS Cofe
11 mai
juin
approbation de la démarche concrète
SCS puis Cofe
novembre - décembre
• approbation scénarios et évaluation
• définir (SCS) et approuver (Cofe) les objectifs nouveaux
Cofe
approbation d'un plan de mesures générales
SCS puis Cofe
approbation d'un nouveau plan de gestion

Ro 8.2.1990

EROSION
PROGRAMME D'ETUDE
PROCEDURE DE DECISION



Ro 10.5.90


1990
1991
1992
Etude hydraulique 1 VAW
bathymetrie
étude hydraulique VAW 2
GEG
- secteur Yverdon - Estavayer
données de base sur plan : rocher, obstacles, vitesse érosion
scénarios sur plan : état de la rive à terme
évaluation de chaque scénario selon ses conséquences
propositions d'objectifs
- secteur Yverdon - Estavayer
amélioration des plans et de l'évaluation et des objectifs. compte tenu
• de meilleures données géologiques (30 transects)
• de l'avis de la SCS
etc
- secteur Estavayer - Cudrefin
• plans
• scénarios
• évaluation
• objectifs (au même degré que Yverdon Estavayer)
étude générale des mesures à prendre. relation avec la création d'étangs
étude d'un nouveau plan d'extraction à L.T. et programme de gestion
discussion de la nouvelle Convention
Cofe
SCS
SCS Cofe
11 mai juin
approbation de la demande concrète
SCS puis Cofe
novembre - décembre
• approbation scénarios et évaluation
• définir (SCS) et approuver (Cofe) les objectifs nouveaux
Cofe
approbation d'un plan de mesures généraux
SCS puis Cofe
approbation d'un nouveau plan de gestion

Ro 8.2.1990

EROSION DE LA RIVE SUD DU LAC DE NEUCHÂTEL

Rapport VAW **février 1990**

Conclusions

- L'érosion a commencé dès la première correction des eaux du Jura. Elle s'est poursuivie irrégulièrement depuis lors.

- En un siècle, le quart de la surface exondée en 1880 a été engloutie, soit 5,3 km2.

- Compte tenu de la faible profondeur et de la finesse des matériaux, l'érosion agit sur toute la surface de la beine, même par vent moyen.

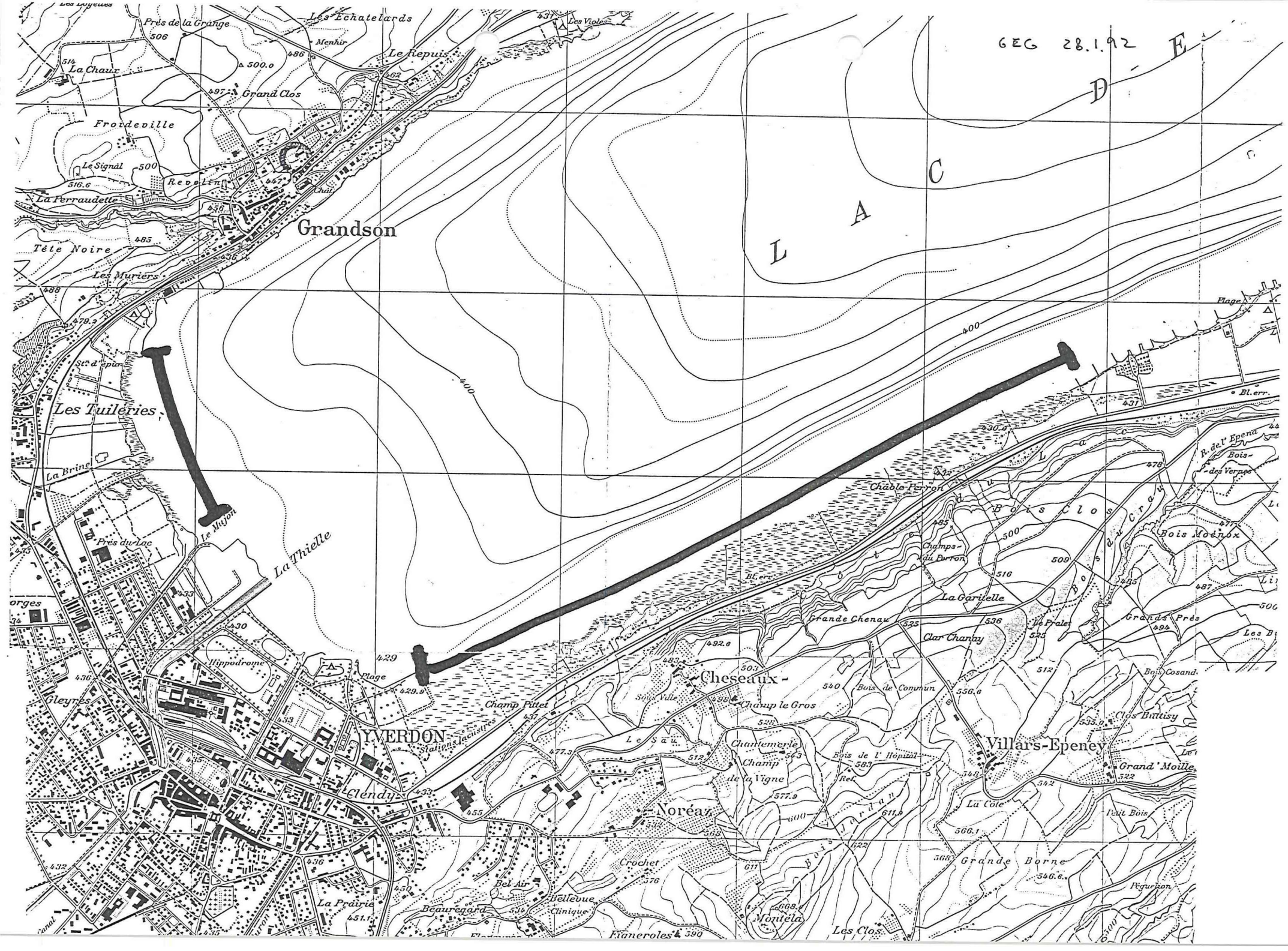
- L'érosion va se poursuivre jusqu'à ce que l'énergie des vagues se détruise sur un obstacle dur : affleurement de molasse, enrochements, falaise.

- A la vitesse observée jusqu'ici, il faudra encore un siècle pour que le lac reprenne appro-ximativement son contour d'avant 1880, après avoir fait disparaître l'essentiel de la zone riveraine.

LA
Estavayer-le-Lac
Font
Châtillon (FR)
Lully (FR)
Châbles (FR)
Frasses
Bollion
Seiry
Granges de Vesin
Montet (Broye)
Cheyres
Le Moulin
Vers l'Eglise
Vers le Lac
Fussy
Mont-Vully
Plage
Sur les Roches
Grattalau
Sur le Gros Terrau
Toutvent
Pra du Bou
Pra Lagn
Chap. St Eloi
Croix de Pierre
Champ de Lune
Vers le Moulin
Bel Air
Ferrage
Prés de Ban
Les Corbes
Le Bugnonet
Moulin au Roy
La Maladaire
Les Deléses
La Tuilerie
La Condémine
Le Bochat
En du Mont
Fin des Coulayes
Les Fontanalles
Champs de la Croix
Le Dadiet
Léchérola
Boroton
Le Moulin
Champ de la Pierre
La Faye
Pra des Vernes
Grand Rilet
Le Paquier
La Verchère
Bois de Mussillens
Les Maupas
Chèvrefu
Mussillens
Sous Mussillens
Le Marais
Le Grassy
Mombettan
Pra Gounet
Grand Bois
Le Desalay
La Bochalet
Le Verney
Champ Vesin
Les Faoresses
Chaney
La Croix
Fin du Bou Bigier
La Lobataire
Pierra d'Avonand
Les Mas
La Rochette
La Losanna
Les Granges
Champ Riondet
Le Pechar
La Léchère
Roche Murist
Rochejoran
Bourg Noir
Le Paquis
Tierde
La Bigleyre
Chonny
Béthanie
Vautarbel
Bonne Fontaine
Les Vaux
Les Grez
Pra Bosset
Planta Marion
Faucemagne
Les Saus
Mouga
Grande Guille
Les Moillets
Longeraie
Prila
Chât.
Les Ruches

GEG 28.1.92

D E N E U C
Cheyres
Yvonand
Mordagne
Arrissoules
La Plage
Les Grèves
Les Goilles
Grand Jenoud
Sur les Fours
Le Marais
Le Rebut
En Brit
Coppet
La Condemine
Le Moulin
La Rochette
Vers le Laviau
Fossau
Les Rapes
La Baume
Les Biolettes
Le Maréchal
La Bassire
Sur la Vela
La Golax
La Vignette
Bubler
L'Orjalet
Corbet
Frexin
Le Russelet
Le Passau
Chaple Bou
La Croix
La Rochette
Crevel
Les Grèves
Versenay
Segrange
Crenau
Le Biou
Binnes
La Cue
Bois Moénox
Limassieu
Frouyes
Les Vursis
Les Biblettes
Grands Prés
Le Pralet
Bois Clos
Bois du Crau
Bois-des Verpes
R. de l'Epena
Champs-de la Plaine
Champ-Genin
Prés de-la Verne
Bl. err.
Plage
186
185
184
183
182
544
545
546
547
548
549
550
50'
46°
48'


GEG 28.1.92
LAC DE
Grandson
Les Tuileries
YVERDON
Cheseaux
Noréaz
Villars-Epeney
Clendy
Gleyres
Hippodrome
Plage
Les Echatelards
Le Repuis
Grand Clos
Froideville
Le Signal
Revelin
La Perraudette
Tête Noire
Les Muriers
La Chaux
Près de la Grange
Menhir
Les Violes
La Brine
Le Mujon
Près du Lac
La Thielle
Champ Pittet
Stations lacustres
Le Sau
Champ le Gros
Bois de Commun
Bois Sous Ville
Chanlemerle
Champ de la Vigne
Bois de l'Hôpital
Bois Jordan
Crochet
Bel Air
Bellevue
Clinique
Beauregard
La Prairie
Fianeroles
Montela
Les Clos
Grande Borne
Figurion
La Côte
Vaut Bois
Grand'Moille
Clos Buttisy
Bois Cosand
Grandes Prés
Le Pralet
Clar Chanay
Grande Chenau
La Garitelle
Champs du Perron
Chable Perron
Bois Clos
Bois Moénox
R. de l'Epena
Bois des Vernes
Bl. err.
Les Bolles
Les Bolles
Les Bolles

EROSION DE LA RIVE SUD DU LAC DE NEUCHATEL

Résumé de l'étude du Laboratoire de recherches hydrauliques de l'EPFZ

Rapport sur la situation actuelle

---

1. Etudes préliminaires
Ouvrages d'essai

étude — Dans le cadre du Plan de protection de la rive sud-est du lac de Neuchâtel, un groupe ad hoc de la LSPN (actuellement le groupe d'étude et de gestion) a fait une étude préliminaire de l'érosion en 1980. On y estime que le phénomène d'érosion est actif dans tous les secteurs dépourvus de roselière lacustre ou de protection, soit sur une longueur cumulée de 13 km, principalement entre Yverdon et Estavayer.

mesures — Dès 1982, environ 30 profils ont été implantés et mesurés régulièrement par le groupe d'étude et de gestion (GEG). On y ainsi mis en évidence que la progression de l'érosion se fait par à coups à la cadence moyenne de 2 m/an.

ouvrages — 5 séries d'ouvrages ont été réalisés à titre d'essai avec pour objectif de mettre au point des techniques utilisant si possible les matériaux disponibles sur place et la main d'oeuvre bon marché (bénévoles et militaires). L'intention était de disposer, au moment où le phénomène d'érosion serait assez bien cerné, de techniques éprouvées, directement applicables à plus grande échelle.

Les ouvrages suivants furent réalisés :

Châbles E	140 m fascines longitudinales (école de recrues) construit en 1986, démoli en 1987 reconstruit en 1987, endommagé sérieusement réparé en 1989 démoli en fév. 1990
Châbles W	130 m fascines longitudinales (école de recrues) construit en 1986 démoli en 1987
Yvonand	5 épis transversaux (service des eaux) construit en 1985 sérieusement réparé en 1989 (service civil international)
Champ-Pittet E	10 épis transversaux (entreprise, troupes de génie) 160 m fascines longitudinales (service civil international) commencé en 1989 réparé et terminé en 1990
Champ-Pittet W	8 épis transversaux (troupes de génie, entreprise) commencé en 1989 terminé en 1990

Ces essais n'apportent pour l'instant qu'une certitude : les ouvrages longitudinaux sont inappropriés.

2. Résumé de l'étude 956/1 du Laboratoire de recherches hydrauliques, hydrologiques et glaciologiques (VAW) de l'EPFZ :

"Erosion de la rive sud du Lac de Neuchâtel" Zürich 1989. MM. A. Huber et A. Chervet

mandat

A fin 1987, le GEG a donné mandat à la VAW de répondre aux questions suivantes, en priorité pour le secteur Yverdon-Estavayer :

- où et comment se déroule le processus d'érosion ?
- une situation d'équilibre peut-elle s'installer naturellement dans un avenir prévisible ?
- quel est le rôle joué par la régularisation du niveau ?

théorie des vagues

Dans une première partie, l'auteur applique au secteur considéré la théorie des vagues. On peut ressortir de ce développement les éléments principaux suivants :

hauteur des vagues

- Le développement des vagues (que l'on peut mesurer à leur hauteur) est influencé par la vitesse du vent, la durée du vent et le fetch (distance sur laquelle les vagues peuvent librement se développer).

  La rive sud étant rectiligne et orientée selon les vents dominants, le fetch pour le secteur considéré est de 23 à 37 km (bise).

  la théorie permet de calculer les **exemples** suivants pour la région de Champ-pittet (fetch = 35 km) :

  - une bise de 4 h de force 7 (54 km/h) provoque des vagues de 2 m de hauteur
  - après 5 h de bise de force 4 (27 km/h) la hauteur atteint 0,9 m.

action sur le fond

- L'énergie d'une vague agit d'autant plus que sa hauteur est grande. Un mouvement horizontal a lieu au niveau du fond, dont on peut calculer des **exemples** :

  - vague de hauteur 2 m :

    à 8 m de profondeur vitesse horizontale 0,7 m/sec
    à 16 m de profondeur vitesse horizontale 0,2 m/sec

  - vague de hauteur 0,9 m :

    à 2 m de profondeur vitesse horizontale 0,7 m/sec
    à 6 m de profondeur vitesse horizontale 0,2 m/sec

étendue de l'action

- Or le sable de toute la rive provient de la molasse désagrégée, il a une granulométrie uniforme située entre 0,25 et 0,75 mm. Pour déplacer des grains de cette taille, il suffit d'une vitesse horizontale de 0,1 à 0,2 m/sec. C'est-à-dire par exemple que des vagues de 0,9 m destabilisent tout le fond jusqu'à 6 m de profondeur.

  La beine (zone d'eau peu profonde) de la rive sud est très étendue et sa profondeur n'excède guère 5 m. Il est donc établi que, quel que soit le niveau du lac, toute la beine est soumise à l'érosion, même avec des vagues modestes. Ce phénomène est confirmé par la simple observation du lac un jour de forte bise : l'eau verte et blanche sur le lac est ocre sur la beine.

dépôt des matériaux érodés

- On ne connaît que très peu de secteurs de rivage en pha- d'atterrissement; on en conclut que les matériaux ainsi mis en suspension sont entraînés hors de la beine et vont élargir le mont en se déposant en profondeur.

premières conclusions

Les conclusions de cette première partie de l'étude peuvent se résumer ainsi :

- **compte tenu de la finesse des matériaux, l'énergie des vagues provoquées par un vent moyen est suffisante pour destabiliser le fond sur toute la surface de la beine**
- **la profondeur d'action des vagues est telle que le niveau du lac au moment de leur développement est sans effet réel; la régularisation du niveau est donc hors de cause**
- **l'érosion va se poursuivre jusqu'à ce que l'énergie des vagues se détruise sur un obstacle dur : construction, affleurement de molasse, falaise.**

Histoire de l'érosion

Dans la seconde partie du rapport, l'auteur étudie le déplacement de la ligne de rive sur la base des cartes topographiques dès 1890 (1ère correction des eaux du Jura) et des photos aériennes dès 1937 (1ères photos). Le recul de la rive est mesuré dans des profils pour 4 périodes caractéristiques. On constate qu'il a eu lieu de façon irrégulière mais qu'il atteint au total plusieurs centaines de mètres. Il a fallu, pour en arriver là, que des millions de m3 aient été déblayés. Il est intéressant de constater que par une toute autre approche, l'étude de la VAW confirme la vitesse moyenne du recul mesurée par le GEG soit environ 2 m/an.

secondes conclusions

les conclusions découlant de cette étude de l'histoire de la rive sont que :

- **l'érosion a commencé dès la première correction des eaux du Jura et s'est déroulée depuis de façon continue**
- **la moitié de la surface mise à jour par l'abaissement du niveau en 1880 a déjà été engloutie, il s'agit de plusieurs km2**

- **le phénomène se poursuivra jusqu'à ce que la seconde moitié ait disparu, ce qui peut prendre à nouveau un siècle. Localement des obstacles peuvent arrêter le phénomène**

Protections

Le mandat de la VAW ne comportait pas l'étude d'ouvrages de protection. Néanmoins, le rapport contient l'esquisse de quelques ouvrages possibles.

3. Suite des études

Le rapport de la VAW apporte des certitudes. Il donne des éléments décisifs mais généraux, pour le secteur Yverdon - Estavayer.

Avant de passer au projet d'éventuels ouvrages de protection, les études suivantes sont entreprises :

- relevé topographique de toute la beine; une offre sera prochainement transmise aux services des eaux

- étude générale de l'érosion sur le secteur Estavayer - Broye; la VAW prépare un programme

- étude plus détaillée (que le rapport VAW résumé plus haut) et incorporant des données supplémentaires telles que topographie du fond, profils mesurés par le GEG, connaissances des courants et de la sédimentologie; la VAW prépare un programme.

Avant une phase de projet, une analyse d'une autre catégorie est indispensable; il s'agit de répondre à la question : est-il souhaitable de construire des ouvrages de protection pour des zones naturelles ? et dans l'affirmative peut-on définir des priorités ?

Le GEG travaille actuellement cet aspect, avec le programme suivant :

mai-juin 1990	mise au point (sur le secteur Yverdon-Estavayer) avec la sous-commission scientifique puis la commission de gestion, d'une procédure de décision : scénarios d'évolution de la rive (avec /sans protection), évaluation des scénarios et définition d'objectifs.
nov-déc. 1990	application à l'ensemble de la rive de la méthode mise au point, et proposition finale.
1991	début d'un éventuel projet d'ouvrage de protection, adaptation du plan de gestion de la Grande Cariçaie.

RO/lb
Champ-Pittet le 24.04.1990
GEG

M. Rollier

Groupe d'étude "EROSION"

Proposition de modification du P.V. du 13.2.1992

---

4. INFORMATION SUR LA CARTOGRAPHIE DES ROSELIERES LACUSTRES

M. Clerc expose les principales observations faites à fin 1991 sur le dynamisme des roselières lacustres. Si les cartes de 1954 et 1968 ont posé des problèmes de lisibilité, celles de 1979 et 1987 sont directement utiles à l'étude.

Cette étude montre que le secteur Yverdon - Yvonand présente une absence quasi complète de roselières lacustres. C'est le secteur où l'érosion a eu le plus d'effet.

Le secteur Estavayer-Cudrefin renferme, sur la moitié de la longueur totale, le 80% de la surface des roselières cartographiées.

Les secteurs Cheyres - Estavayer et Portalban - Cudrefin présente la plus forte proportion de roselières en phase de régression.

Cette étude confirme les observations principales de l'étude de l'érosion VAW, mais il est encore trop tôt pour apprécier les relations de cause à effet et faire une évaluation chiffrée de la dynamique.

La période d'observation est aussi trop courte. L'observation des grandes "plaques de rhizomes" érodées montre que celles-ci sont minées par en-dessous. On assiste à une érosion de l'ensemble de la beine.

Le VAW informe que des phénomènes semblables ont été observés sur le lac de Constance, mais il s'agissait là de l'influence de la qualité de l'eau et de l'érosion par des éléments flottants.

Les mesures de protection par treillis se sont révélées adéquates. Ces mesures ne sont malheureusement pas valables pour le lac de Neuchâtel, le problème fondamental n'étant pas le même.

M. Rollier
12 mars 1992

Groupe d'étude érosion

Définition d'un secteur à protéger
Critères de choix (proposition)

1. Critères relatifs à la localisation

Situation géographique	- dimension (largeur) de la zone riveraine à protégéer - disponibilité de données (plans, photos etc)
Valeur écologique	- valeur de la zone à protéger - valeur de la beine adjacente
Autres valeurs	- sites archéologiques dans la zone riveraine - sites archéologiques dans la beine
Intensité de l'érosion	- fetch - érosion constatée, disponibilité de profils
Conditions administratives	- territoire cantonal - propriétaires de la zone riveraine - restriction de navigation existante - restriction de navigation future éventuelle
Conditions techniques	- nature du sol - topographie, profondeur

2. Critères relatifs à la localisation et au type d'ouvrage

Atteintes prévisibles	- atteinte à des milieux naturels (destruction, coupure) - atteinte à des sites archéologiques - atteinte à la pêche
Valeur écologique de milieux créés	- dimension - valeur du type de milieu

Champ-Pittet, le 28 janvier 1992
M. Rollier/lb