

DAMS AND ENVIRONMENT

Case histories.

BARRAGES ET ENVIRONNEMENT

Exemples vécus.

Bulletin 65



1988

DAMS AND ENVIRONMENT

Case histories.

BARRAGES ET ENVIRONNEMENT

Exemples vécus.

Commission Internationale des Grands Barrages
151, bd Haussmann, 75008 Paris - Tél. : 47 64 67 33 - Télex : 641320 F (ICOLD)

AVERTISSEMENT – EXONERATION DE RESPONSABILITE:

Les informations, analyses et conclusions auxquelles cet ouvrage renvoie sont sous la seule responsabilité de leur(s) auteur(s) respectif(s) cité(s).

Les informations, analyses et conclusions contenues dans cet ouvrage n'ont pas force de Loi et ne doivent pas être considérées comme un substitut aux réglementations officielles imposées par la Loi. Elles sont uniquement destinées à un public de Professionnels Avertis, seuls aptes à en apprécier et à en déterminer la valeur et la portée et à en appliquer avec précision les recommandations à chaque cas particulier.

Malgré tout le soin apporté à la rédaction de cet ouvrage, compte tenu de l'évolution des techniques et de la science, nous ne pouvons en garantir l'exhaustivité.

Nous déclinons expressément toute responsabilité quant à l'interprétation et l'application éventuelles (y compris les dommages éventuels en résultant ou liés) du contenu de cet ouvrage.

En poursuivant la lecture de cet ouvrage, vous acceptez de façon expresse cette condition.

NOTICE – DISCLAIMER :

The information, analyses and conclusions referred to herein are the sole responsibility of the author(s) thereof.

The information, analyses and conclusions in this document have no legal force and must not be considered as substituting for legally-enforceable official regulations. They are intended for the use of experienced professionals who are alone equipped to judge their pertinence and applicability and to apply accurately the recommendations to any particular case.

This document has been drafted with the greatest care but, in view of the pace of change in science and technology, we cannot guarantee that it covers all aspects of the topics discussed.

We decline all responsibility whatsoever for how the information herein is interpreted and used and will accept no liability for any loss or damage arising therefrom.

Do not read on unless you accept this disclaimer without reservation.

COMMITTEE ON THE ENVIRONMENT
COMITÉ DE L'ENVIRONNEMENT (*)
(1985-1991)

| | |
|--------------------------------------|------------------------|
| Chairman/Président | |
| Great Britain/Grande-Bretagne | E.T. HAWS |
| Members/Membres | |
| Brazil/Brésil | J.A. BANDEIRA DE MELLO |
| Canada | G. GUERTIN |
| China/Chine | ZHANG ZEZHEN |
| Finland/Finlande | T. KOVANEN |
| France | P. SAVEY |
| Indonesia/Indonésie | M. UMAR |
| Italy/Italie | C. LOTTI |
| Japan/Japon | T. KANEYASHIKI |
| Malaysia/Malaisie | DATO' MOHD JALALUDDIN |
| Netherlands/Pays-Bas | H. ENGEL |
| New Zealand/Nlle-Zélande | E. HEINE |
| Portugal | A. GONÇALVES |
| Spain/Espagne | E. R. PARADINAS |
| Sri Lanka | W.M.S.C. PIYADASA |
| Sweden/Suède | Bo. STEN |
| Switzerland/Suisse | N. SCHNITTER |
| USA/États-Unis | J. W. MORRIS |
| USSR/URSS | L. P. MIKHAILOV |
| Co-opted member/Membre coopté | L. O. TIMBLIN |

(*) Composition en avril 1988.
Membership in April 1988.

SOMMAIRE

- INTRODUCTION
- GÉNÉRALITÉS
- RÉSUMÉS
1. USINES HYDROÉLECTRIQUES SUR LE DANUBE ET L'INN (Autriche)
 2. LES RETENUES DE LOKKA ET DE PORTTIPAHTA (Finlande)
 3. LE BARRAGE DE SUORVA (Suède)
 4. LE BARRAGE DE SELINGUÉ (Mali)
 5. L'AMÉNAGEMENT DE SANTEE COOPER (États-Unis)

CONTENTS

- INTRODUCTION
- GENERAL
- SUMMARIES
1. POWER STATIONS ON THE DANUBE AND INN RIVERS (Austria)
 2. THE LOKKA AND PORTTIPAHTA RESERVOIRS (Finland)
 3. THE SUORVA DAM (Sweden)
 4. THE SELINGUÉ DAM (Mali)
 5. THE SANTEE COOPER PROJECT (USA)

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|--|-------|
| INTRODUCTION | 8/9 |
| GÉNÉRALITÉS | 10/11 |
| RÉSUMÉS | 14/15 |
| 1. USINES HYDROÉLECTRIQUES SUR LE DANUBE ET L'INN (Autriche) | 18/19 |
| 1. Introduction | 18/19 |
| 2. Description des aménagements | 20/21 |
| 2.1. Sur l'Inn | 20/21 |
| 2.2. Sur le Danube | 20/21 |
| 2.3. Les principaux buts des aménagements | 22/23 |
| 3. Effets sur l'environnement | 24/25 |
| 3.1. Retenues de l'Inn | 26/27 |
| 3.2. Aménagement de Giessgang-Greifenstein sur le Danube | 28/29 |
| Références | 28/29 |
| 5 figures — 2 photos couleur | 31 |
| 2. LES RETENUES DE LOKKA ET DE PORTTIPAHTA (Finlande) | 36/37 |
| 1. Description des aménagements | 36/37 |
| 2. Productibilités | 38/39 |
| 3. Conséquences économiques et sociales | 40/41 |
| 4. Effets des retenues sur l'environnement | 42/43 |
| 5. Importance des effets sur l'environnement | 46/47 |
| Résumé | 48/49 |
| Références | 50/51 |
| 6 figures — 5 photos | 52 |

TABLE OF CONTENTS

| | |
|--|-------|
| INTRODUCTION | 8/9 |
| GENERAL | 10/11 |
| SUMMARIES | 14/15 |
| 1. POWER STATIONS ON THE DANUBE AND INN RIVERS (Austria) | 18/19 |
| 1. Introduction | 18/19 |
| 2. Description of schemes | 20/21 |
| 2.1. On the Inn river | 20/21 |
| 2.2. On the Danube river | 20/21 |
| 2.3. The main purposes of the projects | 22/23 |
| 3. Impact on the environment | 24/25 |
| 3.1. The Inn reservoirs | 26/27 |
| 3.2. Giessgang-Greifenstein power scheme on the Danube | 28/29 |
| References | 28/29 |
| 5 figures — 2 colour photos | 31 |
| 2. THE LOKKA AND PORTTIPAHTA RESERVOIRS (Finland) | 36/37 |
| 1. Description of the project | 36/37 |
| 2. Project outputs | 38/39 |
| 3. Significance to the economy and sociology | 40/41 |
| 4. Environmental impacts of reservoirs | 42/43 |
| 5. Significance of environmental impacts | 46/47 |
| Summary | 48/49 |
| References | 50/51 |
| 6 figures — 5 photos | 52 |

| | | |
|---|--------------|---|
| 3. LE BARRAGE DE SUORVA (Suède) | 60/61 | 3. THE SUORVA DAM (Sweden) |
| 1. L'aménagement et son importance | 60/61 | 1. The project and its significance |
| 1.1. Situation | 60/61 | 1.1. Location |
| 1.2. Étapes de construction | 60/61 | 1.2. Construction phases |
| 1.3. Problèmes survenus pendant la construction et conditions d'accès | 64/65 | 1.3. Problems during construction and transport conditions. |
| 1.4. Importance du barrage de Suorva | 64/65 | 1.4. The importance of the Suorva Dam |
| ENCART DE PHOTOS COULEUR POUR LES CHAPITRES 1, 3, 4 | | INSET OF COLOUR PHOTOS FOR CHAPTERS 1, 3, 4 |
| 2. Effets sur l'environnement | 64/65 | 2. Environmental impact |
| 2.1. Généralités | 64/65 | 2.1. General |
| 2.2. Le barrage de Suorva et l'élevage des rennes | 68/69 | 2.2. The Suorva Dam and reindeer husbandry |
| 2.3. Le barrage de Suorva et la pêche | 70/71 | 2.3. The Suorva Dam and fishing |
| 2.4. Le barrage de Suorva et le tourisme | 74/75 | 2.4. The Suorva Dam and tourism |
| Références | 76/77 | References |
| 5 figures — 4 photos couleur | 78 | 5 figures — 4 colour photos |
| | | |
| 4. LE BARRAGE DE SELINGUÉ (Mali) | 84/85 | 4. THE SELINGUÉ DAM (Mali) |
| 1. Caractéristiques du barrage | 84/85 | 1. Characteristics of the dam |
| 2. Problèmes d'environnement | 84/85 | 2. Environmental issues |
| 3. Situation après la construction du barrage | 86/87 | 3. The situation after the dam construction |
| 3.1. Transfert de population | 86/87 | 3.1. Population transfer |
| 3.2. Énergie | 88/89 | 3.2. Energy |
| 3.3. Agriculture | 88/89 | 3.3. Agriculture |
| 3.4. Pisciculture | 90/91 | 3.4. Pisciculture |
| 3.5. Santé | 90/91 | 3.5. Health |
| 3.6. Éducation | 92/93 | 3.6. Education |
| 4. Conclusions | 92/93 | 4. Conclusions |
| 2 photos couleur | | 2 colour photos |
| | | |
| 5. L'AMÉNAGEMENT DE SANTEE COOPER (États-Unis) | 96/97 | 5. THE SANTEE COOPER PROJECT (USA) |
| 1. Introduction | 96/97 | 1. Introduction |
| 2. Cadre et historique de l'aménagement | 96/97 | 2. Setting and early history |
| 3. Description | 98/99 | 3. Description |

| | | |
|---|----------------|---|
| 4. Environnement I - Réponse aux premiers besoins | 98/99 | 4. Environment I - Meeting the original needs |
| 4.1. Emplois | 100/101 | 4.1. Jobs |
| 4.2. Énergie hydroélectrique | 100/101 | 4.2. Hydroelectric power |
| 4.3. Santé publique | 102/103 | 4.3. Public health |
| 4.4. Maîtrise des crues | 102/103 | 4.4. Flood control |
| 4.5. Navigation | 104/105 | 4.5. Navigation |
| 5. Environnement II - Les surprises | 104/105 | 5. Environment II - The surprises |
| 5.1. Loisirs | 104/105 | 5.1. Recreation |
| 5.2. Pêche | 104/105 | 5.2. Fishery |
| 5.3. Fourniture d'eau industrielle | 106/107 | 5.3. Industrial water supply |
| 5.4. Envasement et projet de nouvelle dérivation | 106/107 | 5.4. Siltation and the re-diversion project |
| 1 figure — 5 photos | 108 | 1 figure — 5 photos |

INTRODUCTION

Le Comité de l'Environnement de la Commission Internationale des Grands Barrages (CIGB) a déjà publié trois Bulletins : n° 35, 37 et 50. Le premier est en grande partie technique; le second, par contre, est destiné à l'information du grand public. Le troisième analyse les expériences d'ingénieurs confrontés aux problèmes d'impact des barrages sur l'environnement dans les grandes régions climatiques du monde, à savoir les régions tempérées, tropicales, subtropicales et arides, et à hivers rigoureux.

Le présent Bulletin, quatrième de la série, décrit cinq exemples vécus. S'agissant de barrages et de retenues en général anciens, on connaît bien pour chacun d'eux dans quelle mesure les objectifs ont été atteints et quels ont été les effets sur l'environnement. Puisse le lecteur, à travers ces exposés, estimer l'impact complet de chaque aménagement, considéré dans son ensemble, et apprécier le degré du succès de ces réalisations. Par contre, leur ancienneté fait qu'elles ne reflètent probablement pas les idées les plus récentes en matière de protection de l'environnement. Néanmoins, les enseignements dégagés ont permis d'accroître nos connaissances et d'améliorer nos approches.

Les exemples cités ont été fournis par les Comités Nationaux d'Autriche, de Finlande, de Suède, d'Italie (pour le barrage de Selingué au Mali) et des États-Unis; qu'ils en soient vivement remerciés.

D'autres exemples seront publiés dans un prochain Bulletin.

E. T. Haws
Président,
Comité de l'Environnement

Si l'on veut disposer d'un aide-mémoire et d'une approche méthodologique pour les études d'impact sur l'environnement, il est recommandé d'utiliser la matrice contenue dans le Bulletin 35; cette matrice peut être obtenue sans le bulletin par 25 exemplaires.

INTRODUCTION

The Committee on the Environment of the International Commission on Large Dams (ICOLD) has previously published three Bulletins (35, 37 and 50). The first was largely of a technical nature, and the second for the better information of the general public. The third distilled the experiences of engineers involved with dam projects located in broadly defined climatic regions of the world, the regions chosen being designated as temperate, tropical, sub-tropical and arid; and severe winter.

This Bulletin, the fourth of the series presents a number of case histories. They are dams and reservoirs generally of a significant age. Thus a realistic picture is now available of the performance of each scheme related both to achievement of the main project purpose and to the various environmental impacts involved. It is intended that the reader should be able, through these descriptions, to assess the overall impact of each project in its totality on the communities and countries involved. He can thence make his own judgement of the overall degree of success of the project. It must be emphasised that since projects of significant age have been selected, for reasons given above, the cases probably do not indicate the most modern practice in dealing with environmental matters. Indeed in several instances lessons learned are recorded which all add to the current state of the art and best practice.

Cases have been contributed herein from the National Committees of Austria, Finland, Sweden, Italy (for Selingué Dam, Mali) and USA and acknowledgement is made to the authors.

It is hoped to add to the list of case histories in a future bulletin.

E. T. Haws
Chairman
Committee on the Environment

For a comprehensive aide memoire and methodology approach for environmental impact studies, the matrix of Bulletin 35 is recommended, and it may be noted that the matrix is available in batches as a separate set.

GÉNÉRALITÉS

Lorsqu'on parle de modifications de l'environnement, il convient de distinguer clairement deux termes utilisés souvent, à tort, comme synonymes alors qu'ils ont, en fait, des significations distinctes : préservation et conservation. « Préservation » signifie que l'on garde quelque chose — en l'occurrence, l'environnement — en son état d'origine, à l'abri de toute atteinte et modification, alors que « conservation » admet, dans ce contexte, une certaine évolution vers un équilibre nouveau, mais équivalent ou amélioré, qui doit être maintenu.

L'homme dépend de plus en plus de l'aménagement et de l'exploitation des ressources naturelles. La nature ne peut donc être préservée partout de toute altération. D'autre part, il est de la plus haute importance d'assurer la conservation de la nature et de ses ressources et de protéger l'environnement physique contre les nuisances et les perturbations qui peuvent être évitées.

Autrefois, les réalisations des hommes étaient généralement bien accueillies et on fondait de grands espoirs sur les progrès dans les nouveaux domaines de développement. L'opinion publique penche aujourd'hui pour la conservation et il est clair que les aménageurs doivent désormais porter la plus extrême attention aux problèmes écologiques et à tout ce qui peut apparaître comme une atteinte à l'environnement. Il doit être possible de tirer parti des ressources naturelles sans faire subir des dégâts à la nature. Ce souci doit se manifester avant et pendant les travaux, et durant toute la période d'exploitation des ouvrages.

Les descriptions figurant dans le présent bulletin concernent des aménagements spécifiques de mise en valeur des ressources en eau et traitent de leurs effets complets, dans les domaines de l'économie et de l'environnement. Cependant, le lecteur devra porter aussi son attention sur la comparaison approfondie entre un tel aménagement et une autre solution qui réaliserait les mêmes objectifs principaux. Ainsi, dans le cas d'un aménagement hydroélectrique, la variante peut être une centrale thermique au fuel ou au charbon, ou une centrale nucléaire, avec tous les problèmes d'environnement associés. Il faut également attirer l'attention sur le fait que l'aménagement hydroélectrique utilise une source d'énergie renouvelable, alors que la centrale thermique au fuel consomme une matière épuisable.

L'expérience a montré que la négligence à l'égard des questions d'environnement liées à la construction des grands barrages et retenues pouvait conduire à des problèmes écologiques. Cependant, on reconnaît maintenant la nécessité d'associer la technologie moderne aux sciences écologiques et sociales; ainsi, ensemble, elles se sont avérées capables de planifier, concevoir, construire et exploiter des barrages en ne donnant lieu qu'à un minimum d'effets imprévus ou inacceptables sur l'environnement, comme les exemples présentés dans le bulletin le montrent. Il importe de mettre en balance les effets et impacts sur l'environnement et les bienfaits attendus d'un barrage.

Une telle évaluation prend nécessairement en compte les besoins physiques et la situation économique du pays en question. Ainsi, par exemple, une nation manquant d'énergie et ne disposant, pour en produire, que de ressources hydrauliques aura-t-elle davantage tendance à modifier l'environnement d'une espèce

GENERAL

When dealing with environmental alteration, it is necessary to clearly distinguish between two terms which are often and erroneously being used as synonyms while, in fact, they have a distinct meaning; preservation and conservation. " Preservation " means to keep something — in this case the environment — free from injury and alteration in its original state, whilst " Conservation " admits, in this context, some adaptation to a new though equivalent or improved equilibrium that is to be maintained.

Mankind depends more and more on the development and exploitation of natural resources. Consequently, nature cannot be preserved everywhere in an unaltered condition. On the other hand, it is of utmost importance to conserve nature and its resources and to protect the physical environment from avoidable harm and disturbances.

Formerly, man's achievements were welcomed, and great hopes were held for continuing the advance into new areas of development. Recent public awareness has leaned towards conservation and developers must now clearly pay the greatest attention to ecological problems, and to any aspect of a scheme which may appear as a threat to the environment. It must be possible to take advantage of natural resources without damaging nature. This concern must be manifest both before and during the implementation of works, and during the entire operating life of the structures.

The descriptions in this bulletin describe specific water resource projects and their overall effects, both economic and environmental. However, the reader should also have in mind the wider comparison between the water resource project and a substitute scheme which could achieve the same main objective. Thus in the case of a hydroelectric power project the alternative might be a thermal station fuelled by oil, coal or uranium with all the associated environmental implications. Also, the hydroelectric scheme utilises a renewable energy source, whilst burning fuel for a thermal station represents disposing of a natural resource which has finite limit.

Experience has shown that neglect of environmental aspects linked to the construction of large dams and reservoirs can lead to ecological problems. However, the need is now recognised for modern engineering science to be used in conjunction with the ecological and social sciences and in combination they now provide the proven capability to plan, design, build and operate dam projects with minimum unexpected or unacceptable environmental effects, as may be observed in the descriptions of the projects presented in this bulletin. An essential assessment is the balance between effects and impacts on the environment and the benefits expected from a dam.

Such an assessment necessarily takes into account the physical needs and economic situation of the country concerned. A nation starving for energy with water power as the only available source, for instance, is certainly more inclined to change the environment of a particular species than another which has the choice between

particulière qu'une autre nation ayant le choix entre différentes sources énergétiques. Néanmoins, les aménagements hydrauliques nécessaires devront toujours être conçus pour s'intégrer au mieux dans l'environnement.

Il importe d'utiliser, de façon optimale, l'ensemble des ressources naturelles dont le monde dispose en quantité limitée; dans le cas de l'eau, cela exige de tirer le meilleur avantage possible d'une retenue en l'utilisant à autant de fins qu'on peut raisonnablement envisager. Même lorsqu'un barrage est construit au départ pour un seul usage, les responsables de la gestion de la retenue doivent évaluer les conditions d'exploitation tenant compte d'autres usages futurs.

Dans les exemples qui suivent (Chapitres 1 à 5), le lecteur pourra remarquer les effets de quelques-uns de ces facteurs. Les cinq exemples traitent de projets dans des régions très diverses : arctique, alpine, tempérée, tropicale. La variété des différents aspects traités est énorme. Néanmoins, les responsables ont fait preuve de beaucoup de souplesse et d'imagination pour augmenter les effets positifs et réduire les effets nuisibles. Dans l'ensemble, les objectifs de chaque projet ont été pleinement atteints, et dans tous les exemples cités, il est reconnu que l'impact des aménagements est très bénéfique pour les populations et les régions concernées.

several viable power alternatives. Nevertheless necessary dam projects should always be engineered to fit into the environment in an optimum way.

There is a need to make the best overall use of the world's finite natural resources, and in the case of water this requires that the best possible advantage be taken of a reservoir by using the dammed waters for as many purposes as reasonably feasible. Even when a dam is built initially for a single purpose, those who have the responsibility for the management of the water retained in the reservoir, should evaluate the operating conditions taking into account other future uses of the dam.

The reader may observe the effect of some of these influences in the project descriptions which follow (chapters 1 to 5). The five case histories deal with projects in Arctic, Alpine, temperate and tropical regions. The range of environmental aspects involved is enormous. Nevertheless the responsible engineers and developers have showed great flexibility and imagination in maximising benefits and minimising or mitigating problems. The original project aims have all been substantially achieved and in every case the overall effect is recognised as highly beneficial to the populations and countries involved.

RÉSUMÉ DES EXEMPLES PRÉSENTÉS

1. Les aménagements du Danube et de l'Inn (Autriche) sont du type à grand débit et à basse chute. Le parti initial ne comportait qu'un petit nombre d'ouvrages, mais on a vite préféré une chaîne continue d'usines du double point de vue de la production d'énergie et de la morphologie du cours des rivières.

Quels que soient les avantages économiques, la création d'une chaîne continue d'ouvrages hydroélectriques modifie profondément l'ensemble du bassin fluvial. En fait, l'aménagement hydroélectrique de l'Inn et du Danube avait déjà été précédé d'importants travaux de régularisation du lit qui avaient modifié l'équilibre naturel des fleuves. Les deux exemples présentés montrent comment il a été possible d'atténuer, voire de réparer, les effets néfastes provoqués par les travaux antérieurs. Il est intéressant de noter la création d'un dispositif d'irrigation des basses terres riveraines, destiné à optimiser les conditions dans les terrains boisés des rives.

2. Les retenues de Lokka et de Porttipahta (Finlande), au bord du cercle polaire, produisent plus de 400 GWh d'électricité par an.

Avant le début des travaux, on chercha à prévoir par une étude d'impact complète les effets des retenues sur l'environnement (flore, faune, forêts, agriculture, sociologie, qualité de l'eau, etc.). Les problèmes les plus préoccupants concernaient les effets néfastes éventuels sur la qualité de l'eau à l'aval des retenues et la remontée de tourbes à la surface des retenues. En effet, ces retenues submergent essentiellement des zones de marécages. Cependant, les observations ont permis de conclure à une amélioration progressive de la qualité de l'eau dans les deux retenues après les premières années d'exploitation.

La création de ces retenues a provoqué de nombreuses modifications dans la structure de la population, de la municipalité et dans ses moyens de subsistance. Elle a entravé les activités traditionnelles (exploitation de troupeaux de rennes, agriculture, sylviculture). Par contre, les activités liées à la construction des ouvrages eurent un effet favorable sur l'emploi, et la relance de l'économie locale fut remarquable. Par la suite, l'augmentation considérable de la pêche a provoqué un fort développement des loisirs et du tourisme.

3. La retenue de Suorva (Suède) est également située au-delà du cercle polaire. Le barrage-réservoir régularise la rivière Lule; ainsi, les usines hydroélectriques implantées sur la Lule produisent 25 % de l'ensemble de la production hydroélectrique suédoise. Les prix de vente de l'électricité en Suède sont parmi les plus faibles du monde et la retenue de Suorva a permis à l'industrie nationale de mieux lutter sur les marchés internationaux.

La création du barrage, les submersions et l'amplitude importante du marnage ont profondément modifié le paysage et noyé une chute d'eau naturelle d'une grande beauté. Mais pendant la saison touristique, en été, la retenue est normalement pleine. Les Lapons sont les seuls habitants de cette région déserte; ceux-ci, grâce à un certain nombre de mesures de soutien des activités locales (rennes, pêche) et à la construction d'une route d'accès, ont de bons espoirs de pouvoir poursuivre leur

SUMMARIES OF CASES

1. The Danube and Inn developments, in Austria, are large flow, low head developments. Although only a few power schemes were originally planned, it was soon realised that a continuous cascade of power schemes was desirable both from the power generation and river morphology points of view.

Apart from the economic benefits, the construction of a continuous series of power schemes means a fundamental change for the whole river basin. Power development in the Inn and Danube basins was in fact preceded by extensive regulation works which had changed the natural equilibrium of the rivers. Two examples are discussed to demonstrate how it was possible to make up for or even remedy, the adverse effects of earlier structural measures. Of particular interest is the provision of irrigation to the riverine lowlands at Greifenstein to ensure optimum conditions for the humid riparian woodlands.

2. Lokka and Porttipahta lakes north of the Arctic Circle in Finland provide more than 400 GWh of electrical energy annually.

Before the construction was started, extensive environmental studies were carried out to predict the environmental impacts of the lakes including such subjects as flora and fauna, forestry and agriculture, sociology, and water quality. The main fears were possible adverse effects on the downstream water quality and the rising peat floats from the lake bottom. Bog made up the majority of the lake bottoms. Monitoring has shown that the water quality in both lakes has improved continuously after the first few years. Construction of the reservoirs initiated many changes in the population and subsistence structure of the municipality. Practising of the traditional reindeer husbandry, agriculture and forestry was impeded. However, construction was very favourable to employment and the economic stimulus was remarkable. Now the enormously increased fishing has brought about a vigorous development of recreation and tourism.

3. Suorva Reservoir in Sweden is also north of the Arctic Circle. The storage facility regulates the flow of water in the Lule River so that the hydroelectric power stations on the river answer for 25 % of Sweden's total hydroelectric power production. Electricity prices in Sweden are among the lowest in the world and the Suorva Reservoir has contributed to Swedish export industry having a better chance to compete on world markets.

The construction of the dam, the flooding and the large regulation range have meant major changes in the landscape and the loss of a beautiful waterfall. During the summer and the tourist season, however, the reservoir is generally full. The Lapps, who are the only inhabitants of this wilderness area have, thanks to a number of measures in support of reindeer husbandry and fishing and through the construction of the access road, been provided with a good basis for continuing their

mode de vie traditionnel dans la région. En effet, par rapport aux régions avoisinantes, la population de rennes, ainsi que le produit de la pêche, ont augmenté.

Le tourisme s'est développé. Ainsi, si les aménagements hydroélectriques ont eu un impact sur l'environnement, ils ont également contribué à l'essor de la vie commerciale locale.

L'aménagement du barrage de Suorva débuta dans les années 20. Les problèmes d'environnement furent résolus selon les connaissances de l'époque. De nos jours, ceux-ci seraient étudiés au premier stade des études préliminaires, et les organismes concernés par l'environnement seraient invités à discuter des solutions envisagées.

4. Le barrage de Selingué sur la rivière Sankarani (Mali) crée une retenue de 2 600 hm³. Il s'agit d'un aménagement à buts multiples : énergie hydroélectrique, irrigation, navigation, pêche.

La création de la retenue a provoqué certains problèmes d'environnement. Il a fallu reloger la population locale, et la bilharziose s'est développée.

La population locale fut relogée sans problèmes dans des nouveaux villages bien aménagés. Le nombre d'écoles fut multiplié par cinq. La pêche est abondante, mais la croissance prévue des cultures irriguées est différée par manque d'investissements.

L'extension de la bilharziose est attentivement suivie et est maîtrisée. L'intérêt de cet aménagement, qui s'est avéré vital pour l'économie, réside dans la prise en compte des aspects relatifs à l'environnement dès le début des études, et les résultats obtenus sont excellents grâce aux mesures adoptées. Pour cette raison, l'effet global de l'aménagement est jugé très positif.

5. L'aménagement de Santee Cooper (Caroline du Sud, États-Unis) répondait parfaitement aux besoins des années 1930 : création d'emplois dans une période de dépression économique; énergie électrique à faible prix destinée à ranimer le secteur agricole de l'État de Caroline du Sud, à soutenir l'industrie locale et les chantiers navals.

Par ailleurs, il fallait également être conscient des inquiétudes concernant la santé publique et des contraintes liées au relogement des populations.

Mais certains effets de l'aménagement furent inattendus. La navigation a poursuivi son déclin, mais, par contre, le réempoissonnement en bars zébrés a exercé un grand attrait halieutique. L'envasement inattendu du port de Charleston fut résolu par une nouvelle dérivation. Les poissons ont continué à éliminer les moustiques et le risque de malaria.

De tels aménagements, bien conçus au départ et restant souples pour pouvoir répondre aux changements de critères économiques peuvent ainsi donner satisfaction pendant de longues années. Des problèmes inattendus peuvent être résolus et des avantages, même fortuits, valorisés.

Pour ces raisons, Santee Cooper est apprécié par les habitants, encore plus aujourd'hui que lors de sa naissance il y a 50 ans.

traditional way of life in the area. There has been an increase both in the number of reindeer and in the catch of fish as compared with other adjacent areas. Tourism has developed. At the same time as the hydroelectric power schemes have affected the environment they have contributed to the development of local commercial life.

The Suorva Dam project began in the 1920s. Environmental problems were solved with the knowledge of that time. In a more modern approach the environmental considerations would be taken in early phases of planning and environmental groups would be invited to discuss solutions.

4. The Selingué dam in Mali on the Sankarani river creates a storage capacity of 2 600 hm³.

It is a multi-purpose scheme with the production of hydroelectricity, water for agriculture, enhanced navigation, and fishing.

The construction of the reservoir caused some environmental problems, necessitating the resettlement of the local population and resulting in an increase of bilharziasis.

The population was resettled without any problem in new villages, which were provided with adequate services. There has been a five fold increase in schools. Fishing is abundant, but the planned increase in irrigated agriculture is delayed because of lack of investment.

The growth of bilharzia has been closely monitored and is being kept under control.

The interest of this project, which has proved basic for the economy, lies in the fact that the environmental aspects were considered an integral part from the very first phases of its design, and the measures adopted are producing excellent results. For this reason, the general assessment of the project is a very positive one.

5. Santee Cooper project in South Carolina, USA, was eminently well conceived to meet the needs of the 1930s : jobs in a depressed economy, low cost power to foster regeneration of the State's agricultural community and to support existing industry and the naval establishment. There was also a need to recognize the associated public health concerns and the strains of relocation and resettlement.

But not all the effects of the project were as anticipated. Navigation did not revive, but a major striped bass fishery has made the area a great sportsman's attraction. Unexpected siltation of the Charleston harbor has been solved by a redirection project. The fish also helped by removing the mosquitoes and the malaria threat they carried.

Well planned projects such as this one remaining flexible in response to a changing set of cost and benefit criteria, can be successful over a long life. Unexpected problems can be corrected, and benefits, including unplanned ones, can be enhanced and enjoyed even more. Thus, Santee Cooper means even more to its people today than when it was undertaken 50 years ago.

1. USINES HYDROÉLECTRIQUES SUR LE DANUBE ET L'INN (Autriche) (*)

1. INTRODUCTION

Le régime favorable et la pente relativement forte permettent une exploitation avantageuse des potentiels hydroélectriques du Danube et de l'Inn. Depuis l'usine de Nussdorf près de la frontière austro-allemande jusqu'au confluent avec le Danube, l'Inn est équipé d'une chaîne continue d'usines hydroélectriques. De plus, le cours autrichien du Danube est équipé, jusqu'à 75 %, d'une chaîne continue d'usines. Ces deux cours d'eau avaient été l'objet d'importants travaux de régularisation avant leur utilisation pour la production d'énergie électrique, compte tenu de la forte densité de la population riveraine. Il serait faux de croire à la réalisation d'une chaîne d'usines sur des cours d'eau vierges, à l'état naturel, puisque le Danube a toujours été une des voies de communications les plus fréquentées d'Europe. Aujourd'hui même, la navigation sur le Danube occupe une place importante.

La réalisation de la première usine hydroélectrique sur l'Inn a débuté dès 1919. En 1954, fut entrepris le chantier de la première usine sur le Danube autrichien à Ybbs-Persenbeug. L'usine la plus récente a été mise en service en 1985 à Greifenstein.

Ainsi, pendant plus de 30 ans, la construction d'usines s'est poursuivie sur le Danube. On a pu ainsi recueillir, et appliquer un grand nombre d'expériences dans le domaine des techniques de construction et des mesures de protection de la nature et du paysage. Parmi les différentes mesures adoptées à l'amont des usines, on peut citer : la pisciculture; la rénovation et la création de réseaux d'assainissement; la construction de nouveaux réseaux de drainage et de pompage; les travaux d'étanchement pour maîtriser le niveau de la nappe phréatique; les débits réservés destinés à renforcer l'irrigation et à favoriser le reboisement; la construction de pistes cyclables et de routes. Lors de l'étude de l'usine de Greifenstein sur le Danube, on a introduit un nouveau concept destiné à garantir les conditions optimales de la nappe phréatique pour les zones forestières riveraines après achèvement de l'usine. Avant la construction, cette zone était menacée de dessèchement par suite de l'érosion du lit du Danube. Les mesures écologiques et les ouvrages adoptés ont permis de sauvegarder, en grande partie, la forêt riveraine à l'amont de l'usine.

A la différence du « modèle Giessgang » de Greifenstein, où l'on créa, au moyen de mesures soigneusement étudiées, les conditions nécessaires au développement d'écosystèmes et de biotopes aquatiques, on ne fit aucun effort particulier de planification des zones à l'amont de deux usines construites sur l'Inn pendant la guerre (1939-1941).

Aujourd'hui, cette région compte un biotope aquatique et une réserve d'oiseaux unique en Europe centrale; elle a été convertie, en partie, en parcs nationaux.

(*) Par Dr. Ing. Robert Fenz et Dipl. Ing. Otto Pirker.

1. POWER STATIONS ON THE DANUBE AND INN RIVERS (Austria) (*)

1. INTRODUCTION

Favourable flow regimes and a comparatively high gradient allow for a profitable exploitation of the hydro-potential of the Danube and Inn rivers. From the Nussdorf power station in the vicinity of the Austro-German border up to its entry into the Danube, the Inn is utilized for electricity production in a continuous chain of power stations. The Austrian stretch of the Danube is also utilized up to 75 % by a continuous chain of power stations. Common in both river stretches is the fact that extensive river training measures had been taken before utilizing the rivers for electricity production as there was a high population density along both rivers. The assumption that the chains of power stations were constructed along an untouched, original watercourse is incorrect as the Danube has always been one of the main traffic routes in Central Europe. Even today navigation on the Danube plays an important role.

The construction of the first Inn power station was started as early as 1919. In 1954 construction works commenced for the first Austrian Danube power station at Ybbs-Persenbeug. The youngest power station started operation in 1985 at Greifenstein. For more than 30 years continuous power station construction works had been carried out on the river Danube. In this period a lot of experience could be gathered and applied both in the field of construction techniques and with regard to nature and landscape protection measures. The various measures taken in the power station backwaters include extensive fish cultures, restoration and construction of sewage installations, new drain channels and pumping stations, sealing works to secure the ground water level, compensation water outlet works for additional irrigation as well as for afforestation programmes and the construction of biking paths and traffic routes. When planning the Danube power station at Greifenstein, a new concept guaranteeing optimum ground water conditions for the neighboring riparian forest after the power station construction was introduced. Before construction of the power station this area had been threatened with drying-up due to the bed erosion of the Danube. The ecological measures and planning works make it possible to save large parts of the riparian forest in the backwater area.

As opposed to the "Giessgang model" at Greifenstein where the necessary conditions for the development of ecosystems and wet biotopes were created through well-planned measures, no particular planning effort went into the backwater areas of two Inn power stations constructed during the war (1939-1941). Today this region hosts a wet biotope and bird sanctuary that is unique in Central Europe and has been partially transformed to national parks.

(*) By Dr. Ing. Robert Fenz and Dipl. Ing. Otto Pirker.

Ces deux exemples démontrent que la préservation et la création d'écosystèmes peuvent aller de pair avec le développement hydroélectrique.

2. DESCRIPTION DES AMÉNAGEMENTS

2.1. Sur l'Inn

L'Inn est de loin le plus grand affluent du Danube sur son cours supérieur. Le tronçon bavarois de l'Inn, de même que le tronçon suivant constituant la frontière entre l'Autriche et la Bavière jusqu'au confluent avec le Danube, sont équipés d'une chaîne continue d'usines hydroélectriques (Fig. 1).

Dès 1919, les travaux de construction de l'aménagement de Töging commencèrent. Il s'agit d'un aménagement du type « dérivation », comprenant un canal d'amenée de 20 km de longueur. Avec un débit équipé de 340 m³/s et une hauteur de chute moyenne de 30,45 m, cet aménagement hydroélectrique était parmi les plus importants d'Europe. L'étude et la construction d'usines sur l'Inn ne furent pas poursuivies jusqu'en 1935. A la différence de Töging, l'étude des nouveaux aménagements reflétait les progrès technologiques consistant à les concevoir comme des aménagements au fil de l'eau avec l'usine et l'évacuateur de crue formant un bloc unique situé dans le lit de la rivière. L'usine la plus récente et la plus moderne a été mise en service en 1980 à Nussdorf. L'Inn est maintenant équipé, pour la production d'électricité, par une chaîne continue de quinze aménagements s'étendant sur une longueur de près de 220 km. La production annuelle moyenne d'énergie est de 4 477 GWh.

2.2. Sur le Danube

Avec sa longueur de 2 850 km entre sa source dans le Schwarzwald (République Fédérale d'Allemagne) et son embouchure dans la Mer Noire, le Danube est le deuxième fleuve d'Europe après la Volga et présente le plus fort volume d'écoulement en Europe Centrale. La partie autrichienne du Danube, entre la frontière avec la RFA et celle avec la Tchécoslovaquie, a une longueur de 350 km environ et est caractérisée, non seulement par un régime hydrologique favorable, mais surtout par une forte pente. L'existence de ce potentiel énergétique a conduit aux premières études de projet dès 1910. En 1924, une première étude fut préparée pour une usine à Ybbs-Persenbeug. Toutefois, la réalisation de cet aménagement fut victime de la récession. Dans la période 1938-1944, les travaux préparatoires et l'excavation d'une fouille furent entrepris pour la réalisation d'un projet Ybbs-Persenbeug modifié. En 1944, avant le début du bétonnage, les travaux de construction furent discontinus en raison de la guerre. Les travaux ne furent repris que 10 ans plus tard. Après une période de 3 ans seulement, les deux premiers groupes étaient mis en service. Deux ans plus tard, en 1959, la première usine hydroélectrique sur le Danube autrichien, avec ses six groupes, était en totalité disponible pour la production d'énergie.

L'équipement ultérieur du tronçon autrichien du Danube s'est poursuivi suivant un projet d'ensemble prévoyant une chaîne continue d'usines (Fig. 2). Terminée, cette chaîne comprendra onze usines, à l'exclusion de l'aménagement de Jochenstein situé à la frontière, mis en eau en 1956. Selon ce projet d'ensemble, les aménagements ont été conçus et réalisés comme installations à buts multiples. Le Danube

These two examples may serve to demonstrate how the preservation and creation of ecosystems can go hand in hand with hydroelectric development.

2. DESCRIPTION OF SCHEMES

2.1. On the Inn river

The Inn is by far the largest tributary of the Danube over its upper course. The Bavarian reach of the Inn as well as the following boundary reach between Austria and Bavaria down to its junction with the Danube are utilised by a continuous series of power stations (Fig. 1).

As early as 1919 construction work was commenced on the Töging power scheme. This was designed as a diversion-type power station with a 20 km long headrace. With a rated discharge of 340 m³/s and an average head of 30.45 m, this project was once among the largest hydro schemes in Europe. The design and construction of power stations on the Inn was not resumed until 1935. Unlike Töging, the design of these new projects reflected the progress of technology in being designed as run-of-river plants with the powerhouse and spillway forming a structural unit located in the river bed. The newest and most modern power station was commissioned in 1980 at Nussdorf. The Inn is now utilised for electricity production in a continuous chain of fifteen power schemes extending over a reach of almost 220 km. The total annual energy is 4 477 GWh p.a. on average.

2.2. On the Danube river

With its length of 2 850 km between its source in the Schwarzwald (Federal Republic of Germany) and its mouth in the Black Sea, the Danube ranks second in size after the Volga in Europe and exhibits the greatest abundance in water in Central Europe. The Austrian reach of the Danube, between the border with the Federal Republic of Germany and that with Czechoslovakia, is about 350 km long and is characterised not only by a favourable flow regime, but above all by a high gradient. The existence of this energy potential led to first project studies as early as 1910. In 1924, a first project design was prepared for a power station at Ybbs-Persenbeug. However, the implementation of this project fell a victim to the recession. In the period between 1938 and 1944, preparatory work and the excavation and installation of a building pit were started for the construction of a modified Ybbs-Persenbeug project. In 1944, before concreting was commenced, construction operations were discontinued due to the war. It was 10 years later that work was resumed. Then, however, after a period of only 3 years, the first two power units were placed into operation. Two years later, in 1959, the first power station on the Austrian Danube with its six power units was fully available for power generation.

Further development of the Austrian reach of the Danube proceeded according to a master plan (Fig. 2), which provides for a continuous chain of power stations. When complete, the series will comprise eleven power stations, not including the Jochenstein border scheme, which went on stream in 1956. According to this master plan, the power schemes were designed and constructed as future-oriented multi-

présente de l'intérêt, au point de vue non seulement de la production d'électricité, mais aussi de la navigation et, plus spécialement encore, lorsque sera terminée la Voie d'eau Européenne (Fig. 3). Afin de répondre à ces futurs besoins, le projet doit prévoir des écluses de grand gabarit et des biefs bien calés en niveau. Cela a conduit aux dispositions générales d'ouvrages indiquées ci-après :

Tous les aménagements autrichiens sur le Danube comportent une usine, un évacuateur de crue et une écluse (photo couleur A). L'usine (excepté Ybbs-Persenbeug qui a deux usines séparées par l'évacuateur de crue) abrite toutes les installations de production électrique. Celles-ci comprennent les groupes principaux, les groupes auxiliaires éventuels, les locaux annexes et, dans les usines équipées de groupes à axe horizontal, la salle des tableaux également. A Aschach, Wallsee et Ybbs, cette salle est située dans les bâtiments d'exploitation.

L'évacuateur de crue est contigu à l'usine. Il comprend cinq ou six passes de 24 m de largeur chacune, sauf à Ybbs-Persenbeug où cette largeur est de 30 m. L'écluse comporte deux sas, de 24 m de largeur et 230 m de longueur chacun, fermés, à l'amont, par des portes levantes verticales et, à l'aval, par des portes busquées. Il est prévu d'équiper les aménagements de Vienne et de Hainburg d'écluses plus grandes pour assurer l'accès des bateaux à la Mer Noire, depuis Vienne et depuis le chantier naval de Korneuburg, situé à quelques kilomètres à l'amont.

A ce jour, huit des onze barrages prévus sont achevés (Fig. 2). La poursuite de l'aménagement rapide du Danube fut arrêtée en 1984 par des associations de défense de la nature. Leurs actions étaient principalement dirigées contre l'aménagement prévu à Hainburg.

Cette usine devait être construite à sec, sur la rive gauche du lit majeur, près de Hainburg. Les autorisations étaient déjà accordées. Peu avant le début des travaux de déboisement du chantier, celui-ci fut occupé par les associations de défense de la nature qui voulaient empêcher la réalisation de l'usine afin de préserver l'intégralité de la forêt riveraine.

Il est reconnu que le lit du fleuve dans cette zone, s'est érodé progressivement avec, pour résultat, un abaissement de la nappe phréatique et une détérioration croissante de la situation écologique. Comme dans le cas de l'usine de Greifenstein, on prévoyait de résoudre ce problème par la création d'un « Giessgang » (voir § 3.2.). Mais une telle solution n'est possible que par la construction d'une usine. Ce problème, ainsi que la nécessité de réaliser le projet pour garantir l'alimentation en énergie électrique en Autriche, firent l'objet de nombreuses discussions et de conférences. Actuellement, diverses variantes (projet, site) sont à l'étude dans l'espoir de trouver un large consensus. Mais les associations de défense de la nature continuent de s'opposer à tout projet sur ce bief du Danube.

2.3. Les principaux buts des aménagements

Le but principal des aménagements est la production d'électricité. En tant que source renouvelable d'énergie, l'énergie hydraulique contribue à réduire la dépendance du pays en matière d'importation d'énergie, sans soulever des problèmes de pollution. Cela est d'une importance économique vitale, spécialement pour un pays comme l'Autriche, où les sources d'énergie sont rares à l'exception de l'énergie hydraulique.

purpose installations. The Danube is of interest not only in terms of electricity production, but is at the same time one of the principal navigable rivers, and will become more important still with the completion of the European Waterway (Fig. 3). In order to answer these future requirements, high-capacity locks and appropriate level reaches must be provided in the design. This has resulted in the following general project make-up :

All the Austrian power schemes on the Danube consist of powerhouse, spillway and lock (colour photo A). The powerhouse (only the Ybbs-Persenbeug scheme has two powerhouses separated by the spillway structure) accommodate all the installations necessary for electricity generation. This includes all the main power units, station-auxiliary units where available, appurtenances and, in the horizontal-shaft stations, also the switch-room. At Aschach, Wallsee and Ybbs, the switch room is accommodated in operational buildings.

Adjacent to the powerhouse is the spillway structure. This consists of five or six weir bays 24 m in clear width each. An exception is the Ybbs-Persenbeug power scheme, where the spillway bays are 30 m wide. The lock structure consists of two lock chambers 24 m wide by 230 m long each, closed by vertical lift gates at their upstream ends and by mitre gates downstream. The Vienna and Hainburg projects are planned to be equipped with larger locks to ensure access to Black Sea navigation for Vienna, and for the Korneuburg shipyard a few kilometres further upstream.

So far, eight of the planned barrages have been completed (see Fig. 2). Continuation of the speedy development of the Danube was stopped in 1984 by groups of conservationists. Their actions were mainly directed against the planned power station at Hainburg.

The power station was supposed to be constructed in the dry in the left-bank flood plain near Hainburg. All licencing procedures had already been completed. When the stubbing works were about to start, the construction site was occupied by conservationists who wanted to prevent the construction of the power station in order to preserve the riparian forest in its entirety. It is a fact that the river bed in this area has been gradually eroded which resulted in a lowering of the ground water level and an increasing deterioration of the ecological situation. Similar to the case of the Greifenstein power station it was planned to solve this problem by creating a " Giessgang " (see subsection 3.2). Yet such a solution is only feasible in the course of a power station construction. This problem and the need to construct this power station to guarantee electricity supply in Austria were the topics of numerous discussions and lectures. Presently various alternative versions and sites are being examined with the objective of finding a consensus on a broad basis. Yet the conservationists are still opposing every project in this Danube reach.

2.3. The main purposes of the projects

The main purpose of the power schemes under consideration is electricity production. As a renewable source of energy, water power stands for a reduction in the country's dependence on power imports, without involving pollution problems. It is particularly important for a country like Austria, where sources of energy are rare except for hydro power, that this is of vital economic importance.

Une entreprise de grande envergure et à long terme, comme la construction d'une chaîne d'usines au fil de l'eau, exige des moyens considérables (personnel d'étude et de projet, entrepreneurs, constructeurs de matériels mécaniques et électriques). Si la mise en œuvre de ces moyens conduit à des bénéfices économiques élevés, l'aménagement de la rivière sera continu. En ce qui concerne l'aménagement du Danube autrichien, cette continuité a été assurée de façon exemplaire et a eu un effet de stabilité sur l'économie du pays.

Les aménagements sur l'Inn et sur le Danube sont à buts multiples. Un facteur de grand intérêt pour la population locale est l'amélioration de la maîtrise des crues. Les ouvrages préexistants de contrôle des crues n'avaient pu empêcher les fortes crues de se manifester périodiquement, ce qui causait parfois de graves dégâts. Ce risque fut, pour une grande part, éliminé grâce à la chaîne d'aménagements hydrauliques.

De plus, tout au long de la construction des aménagements, on régla de nombreux problèmes régionaux qui, autrement, n'auraient pas été réglés du tout ou l'auraient été bien plus tard. Cela concerne la restauration de réseaux d'alimentation en eau potable et de réseaux d'égouts, la préservation ou l'amélioration de la nappe phréatique, la récupération et l'amélioration de terres agricoles, l'amélioration du trafic routier local, de même que la mise à disposition d'installations de loisirs (photo couleur B).

Le fait que le Danube est l'une des principales voies d'eau en Europe s'ajoute à l'importance de ses aménagements hydroélectriques. La construction des barrages améliore considérablement la navigation. Compte tenu à la fois de la navigation montante et de la navigation descendante, la réduction de la vitesse d'écoulement permet des économies de l'ordre de 25 % des charges d'exploitation, et des réductions de temps entre 8 et 10 % malgré les arrêts dans les écluses. De plus, on peut mieux utiliser le tonnage des bateaux en raison des profondeurs d'eau garanties dans le canal même pendant les périodes d'étiage. Pour un pays de l'intérieur comme l'Autriche, la mise en valeur de cette importante voie d'eau est d'un grand intérêt économique. Après l'achèvement de la Voie d'eau Européenne actuellement en cours de réalisation (Fig. 3), qui permettra une liaison directe entre la Mer du Nord et la Mer Noire, on s'attend à une forte augmentation du trafic sur le Danube.

3. EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT

La construction d'aménagements hydroélectriques sur une rivière conduit à de nombreuses modifications de son régime. Les effets concernent principalement :

- le débit de crue;
- la vitesse d'écoulement;
- la profondeur et la largeur du lit;
- les variations du niveau d'eau;
- les transports solides (charriage de fond, transports solides par suspension, corps flottants);
- la nappe phréatique;
- la flore;
- la faune;

A large-scale and long-term undertaking as e.g. the construction of a series of run-of-river stations calls for extensive staff machinery (planning and design staff, building contractors, industrial skills in mechanical and electrical engineering). If maximum benefit and economy are to be derived from this machinery, the development of the river should be continuous. In the development of the Austrian Danube, this continuity was ensured in an exemplary manner, and had a stabilising effect on the nation's economy.

The power schemes on both the Inn and the Danube can be characterised as multi-purpose installations. A factor of great interest for the local population is improved flood control. Pre-existing flood control works had not been capable of preventing occasional large floods, which had sometimes caused severe damage. It was due to the series of power schemes that this risk was largely eliminated.

Furthermore, along with the construction of the power schemes many regional problems were dealt with which otherwise could not have been solved at all or would have had to remain unsolved till some day in the distant future. This refers above all to the renewal of drinking water facilities and sewerage systems, the preservation or improvement of ground water conditions, the reclamation and improvement of agricultural land, the improvement of local traffic routes as well as the provision of recreation facilities (colour photo B).

The fact that the Danube is one of Europe's principal waterways adds to the importance of its power schemes. The construction of barrages substantially improves navigation. With allowance being made for both ascending and descending navigation, the reduced flow velocity allows savings in operating expenses in the region of 25 percent, and savings of time between 8 and 10 percent in spite of the stops in the locks. In addition, much better use can be made of ship tonnage owing to guaranteed channel depths even during low flow periods. For an inland country like Austria, the development of this important waterway is of great economic importance. After completion of the European Waterway now under construction (Fig. 3), which will afford a direct link between the North Sea and the Black Sea, the transport volume on the Danube is expected to rise substantially.

3. IMPACT ON THE ENVIRONMENT

The construction of power schemes in a river brings about a multitude of changes in its regime. These effects mainly refer to :

- flood discharge;
- flow velocity;
- channel depth and width;
- water level variations;
- solids transport (bed load, suspended load, floating debris);

- ground water conditions;
- vegetation;
- fauna;

- le micro-climat;
- le paysage;
- la qualité de l'eau;
- la pêche.

Comme c'est toujours le cas, les effets précités peuvent être aussi bien favorables que défavorables. Cependant, l'évaluation des changements occasionnés par la construction des aménagements hydroélectriques sur l'Inn et le Danube doit prendre en compte également le fait que le paysage en bordure de ces deux fleuves a été modelé par l'homme avant leur mise en valeur pour la production d'électricité. Vers la fin du siècle dernier, d'importants travaux de régularisation ont été réalisés, principalement dans le but de se protéger contre les crues et d'améliorer les conditions de navigation et d'hygiène.

Dans les études d'une usine, la qualité de l'eau est un paramètre important. Le barrage réduit la vitesse de l'écoulement, ce qui réduit le pouvoir d'autopurification. Une grande attention fut accordée à ce problème dans l'étude des usines sur le Danube et l'Inn. Grâce à la réalisation simultanée de nombreuses stations d'épuration des eaux usées, on a pu réduire la prolifération des polluants à tel point, qu'à l'achèvement de l'usine, la qualité de l'eau, loin d'être détériorée, était parfois même améliorée. Afin de maintenir et d'améliorer l'équilibre écologique du cours d'eau, on favorisa le réempoissonnement. Ainsi, la pêche ne subit aucune conséquence défavorable bien que la pêche professionnelle eût déjà perdu pratiquement toute son importance économique.

Les paragraphes suivants présentent deux exemples (retenue de l'Inn et Giessgang près de Greifenstein), montrant comment des écosystèmes satisfaisants peuvent être préservés ou créés, malgré la forte intrusion des aménagements hydroélectriques dans le milieu naturel. Il y a une différence fondamentale entre les deux exemples : en ce qui concerne les zones intéressées par le remous à l'amont des ouvrages, sur l'Inn les aménagements décrits ci-après ne furent pas projetés dès le début, tandis que des mesures particulières furent prévues et leurs effets étudiés au préalable dans l'étape du projet de Giessgang.

3.1. Retenues de l'Inn

Afin de fournir de l'électricité à une usine d'aluminium dont la construction était prévue près de Braunau-sur-Inn (par la suite l'usine de Ranshofen), la construction de deux aménagements hydroélectriques fut entreprise sur l'Inn inférieur : l'un à Ering-Frauenstein, en 1939, l'autre à Egglfing-Obernberg, en 1941. Les années de guerre ont conduit à une construction rapide et économique de ces deux aménagements. En tirant parti des fortes dénivellations du lit de la rivière, il était possible de faire de substantielles économies sur la durée et le coût de la construction. Les barrages créaient des zones de remous ayant jusqu'à 3 km de largeur. Les plans d'eau ainsi formés étaient très vastes comparativement à ceux d'aménagements semblables. La faible vitesse du courant entraînait une sédimentation. Au cours des 10 années suivant la mise en eau, les retenues, qui avaient une capacité maximale de 36 hm³, se remplissaient de sable et de vase et un nouvel équilibre hydrodynamique était atteint, correspondant à peu près aux conditions existant avant la régularisation. Les grandes retenues, conçues pour utiliser toute la largeur de la vallée, contiennent maintenant différents archipels avec les bras typiques de rivière, des

- microclimate;
- landscape;
- water quality;
- fishing.

As is the case with any interference, the above effects may have unfavourable as well as favourable consequences. However, appraisal of the changes brought about by the construction of power schemes in the Inn and Danube should also consider the fact that the riverine landscape had in both cases been shaped by man prior to the development of these rivers for electricity production. Around the turn of the century extensive regulation works were provided, mainly with the aim of affording protection from floods and improving navigation and hygienic conditions.

When planning a power station, the quality of the water plays an important role. The damming-up results in a lower flow velocity which reduces the self-purification properties. Much importance was attributed to this problem in the design of the power stations along Danube and Inn. Through simultaneous construction of numerous waste water treatment plants, the proliferation of pollutants could be reduced to such an extent that upon completion of the power station construction the water quality had not deteriorated and in some cases even improved. In order to maintain and improve the ecological equilibrium in the river, extensive fish breeding measures were carried out. Thus fishery did not suffer any negative consequences even though fishery as a trade has by now lost practically all of its economic importance.

In the following paragraphs two examples (Inn reservoir and Giessgang near Greifenstein) will be discussed to demonstrate how well-functioning ecosystems may be preserved or newly created despite the substantial interference with nature that results from the hydroelectric development of a river. There is one fundamental difference between these two examples, in that in the case of the backwater reaches in the Inn the development described below was not planned from the outset, whereas particular measures were planned and their effects studied beforehand in the design stage of the Giessgang model.

3.1. The Inn reservoirs

To ensure electricity supply to an aluminium works planned to be constructed near Braunau am Inn, the subsequent Ranshofen works, construction was commenced on two hydropower projects in the lower Inn, at Ering-Frauenstein and Egglfing-Obernberg, in 1939 and 1941, respectively. The years of war then called for the speedy and low-cost completion of these two projects. By taking advantage of natural sharp drops in the river bed, it was possible to make substantial economies in construction time and cost. The dams created backwater areas up to 3 km wide. The water surfaces so formed were large as compared with those of similar projects. The low flow velocity soon led to sedimentation. In the following 10 years, the reservoirs, having a maximum capacity of 36 hm³, were filled with sand and mud to such an extent that a new hydrodynamic equilibrium was reached, which roughly corresponded to the conditions prior to the regulation. The large reservoirs, designed to make use of the full valley width, now contain distinct archipelagoes with the typical river branches, dead branches, bays and nearshore zones (Fig. 4). Meanwhile, large parts of this region have been made national parks, and the Inn reservoirs have

bras morts, des anses et des rives rapprochées (Fig. 4). Dans l'intervalle, de vastes zones de cette région ont été transformées en parcs nationaux, et les retenues de l'Inn ont acquis un renom international pour leurs oiseaux aquatiques. Il y a environ 100 espèces d'oiseaux qui vivent dans cette région ou tirent profit de l'abondance de nourriture pendant une certaine période de l'année. Une population d'oiseaux, d'une grande variété, s'est développée sur les retenues de l'Inn et se place parmi les plus importantes d'Europe Centrale. Au moins un quart de million d'oiseaux aquatiques viennent sur les retenues chaque année.

3.2. Aménagement de Giessgang-Greifenstein sur le Danube

La nécessité d'assurer une bonne étanchéité dans les rives du fleuve et de constituer des digues le long de la zone de remous créé par le barrage avait des effets sur la nappe phréatique dans les basses plaines près des rives. De plus, depuis la régularisation du Danube vers la fin du siècle dernier, le lit du fleuve s'est approfondi de plus en plus et les niveaux d'eau, qui règlent la nappe phréatique, ont baissé. Un abaissement du niveau de la nappe phréatique altère gravement la croissance de la végétation dans les terrains boisés, humides, le long des rives.

Le projet de l'aménagement de Greifenstein (Fig. 2) comprenait des dispositifs pour assurer l'irrigation optimale des terrains boisés riverains après l'achèvement de l'aménagement.

Le système d'irrigation utilise des bras morts du fleuve et des canaux latéraux, qui sont reliés entre eux en construisant des ponceaux et en approfondissant le lit à certains endroits, de façon à constituer un canal continu sur 40 km environ de longueur, appelé canal de Giessgang (Fig. 5). Lors de l'implantation des ponceaux, on prit soin d'éviter des formes géométriques et des alignements et de reconstituer un paysage aussi naturel que possible. Le canal de Giessgang comporte vingt-cinq ouvrages de contrôle, constitués chacun d'une digue transversale, avec ponceau et gué. Les crêtes des digues furent calées de façon à permettre une inondation uniforme des terrains boisés riverains. En mettant en place ou en relevant des batardeaux dans le pertuis du ponceau, on peut établir le niveau d'eau moyen dans le Giessgang, qui correspond à la nappe phréatique optimale pour le biotope dans les terrains boisés. Des ouvrages d'alimentation en eau (Fig. 5) interviennent, en particulier, pour améliorer le régime hydraulique au cours des périodes sèches.

De l'eau est fournie par de petits affluents et par infiltration, de même qu'à partir du Danube au moyen de trois ouvrages de prise. Une section déversante permet aux crues de continuer à inonder les terrains boisés riverains.

Le système garantit une irrigation convenable des basses plaines le long des rives, permettant de préserver les zones boisées malgré l'aménagement hydroélectrique de la rivière principale. Les effets nuisibles résultant de la régularisation du fleuve vers l'année 1900 ont été atténués. Grâce à la souplesse du système, on peut réaliser un ajustement optimal aux conditions souhaitées pour la nappe phréatique. L'alimentation des bras morts en eau provenant du Danube et en eau de nappe et d'infiltration améliore la qualité de l'eau dans cette zone.

acquired an international reputation for their waterfowl. There are about 100 bird species on the average which live in this area or take advantage of the abundance of food during a certain period of the year. On the Inn reservoirs a bird society of great variety has developed, which is among the most interesting in Central Europe. At least a quarter of a million water birds come to the reservoirs each winter.

3.2. Giessgang - Greifenstein power scheme on the Danube

The necessity to ensure a large measure of imperviousness in the river banks and to provide dykes along the backwater reaches above the dam would have affected groundwater conditions in the adjoining riverine lowlands. Moreover, ever since the regulation of the Danube around the turn of the century, the river bed has increasingly deepened and river water levels, which determine the water table, have lowered. A lower water table, however, means severely impaired growth conditions in the humid riverine woodlands.

The design of the Greifenstein power scheme (Fig. 2) included provisions to ensure optimum irrigation to the riverine woodlands even after the completion of the power project.

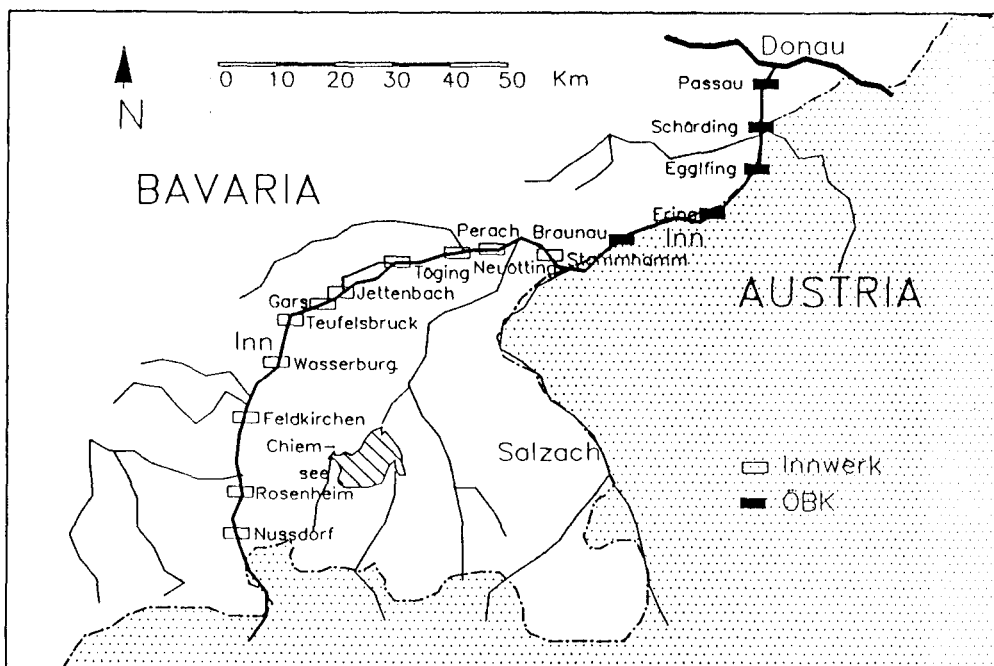
This irrigation system makes use of existing dead river branches and lateral channels, which were connected by providing small culverts and deepening the bed in places so as to form a continuous channel about 40 km in total length, the so-called Giessgang (Fig. 5). Care was taken in locating the culverts to avoid geometrical shapes and alignments and to bring about a landscape as natural as possible. The Giessgang channel contains twenty-five control structures, each consisting of a cross dyke with box culvert and ford. The top levels of the dykes were set so as to allow uniform flooding of the riverine woodlands. By placing or lifting stop logs in the box culvert, it is possible to achieve that average water level in the Giessgang which corresponds to the respective optimum water table for the biotope in the woodlands. Water release structures (Fig. 5) help in particular to improve the water regime during dry periods.

Fresh water is supplied by minor tributaries and seepage as well as from the Danube through three release structures. An overflow section makes sure that floods continue to inundate the riverine woodlands.

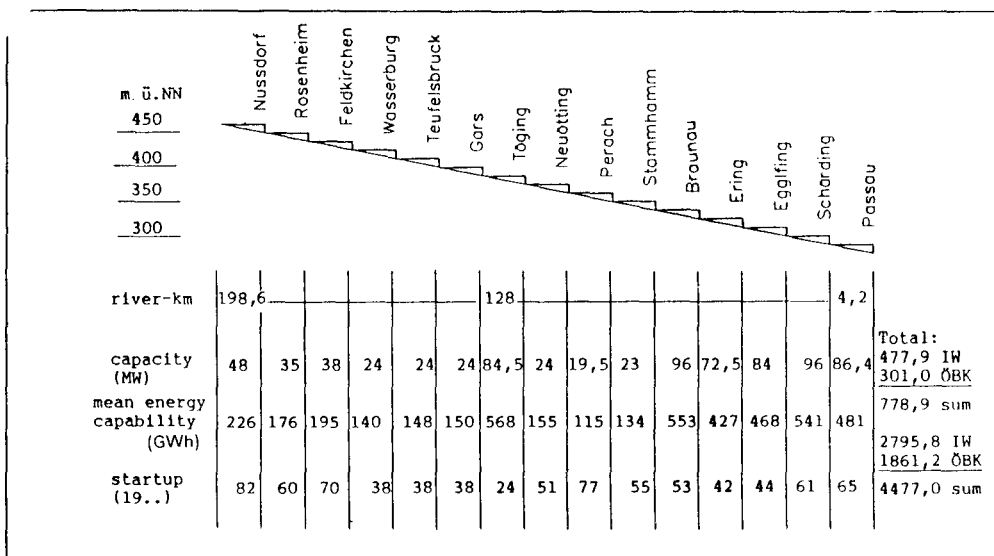
This system guarantees proper irrigation to the riverine lowlands to preserve the woodlands despite the development of the main river for power generation. Adverse effects from the river regulation around 1900 have been mitigated. The variability of the system allows optimum adjustment to the desired ground water conditions. The supply of water from the Danube as well as ground and seepage water to the dead branches improves the water quality there.

References

- ALLERSDORFER, S. : *Aulandschaft und Kraftwerksbau*. Eine Dokumentation der Österreichischen Donaukraftwerke AG.
- LAUFFER, H. : *Die Jahresspeicher Österreichs*, ÖZE, Heft 5, 1983.
- LAUFFER, H. und FENZ, R. : Hydro Power Schemes and Large Dams in Austria 1985. Nr. 29 aus *Die Talsperren Österreichs*.
- FENZ, R. : *Flussstauwerke Österreichs*. Schriftenreihe : *Österreichische Wasserwirtschaft*, Heft 9/10, 1977.
- REICHHOLF, J. : *Biotopstruktur und ökologische Funktion der Staustufen am Unteren Inn*. Verhandlungen der Gesellschaft für ökologie, Göttingen 1976.
- REICHHOLF, J. : Die ökostruktur der Innstauseen, Zeitschrift : *Bild der Wissenschaft* 8, 1977.
- REICHHOLF, J. : *Die Innstauseen*. Verein zum Schutze der Alpenpflanzen und Tiere, eV. München.



Aménagements hydroélectriques sur l'Inn.
Power schemes on the Inn.



Profil en long de la chaîne d'usines hydroélectriques, entre Nussdorf et Passau.
Longitudinal section through the series of power schemes from Nussdorf to Passau.

Fig. 1

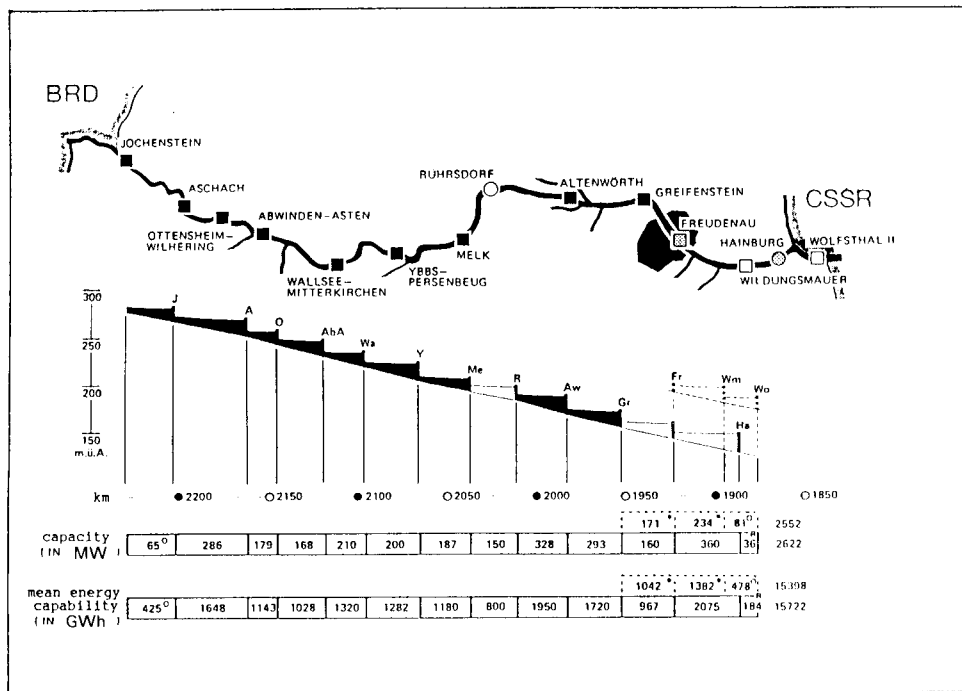


Fig. 2

Projet d'ensemble d'équipement du Danube,
de Österreichische Donaukraftwerke AG-1987.

Danube master plan of Österreichische Donaukraftwerke AG. as of 1987.

- En service. *In operation.*
- ▣ En projet. *In planning.*
- ⊙ Projet de Hainburg. *Project Hainburg.*
- Variante selon les instructions gouvernementales. *Variant according to governmental order.*
- Valeur préliminaire. *Preliminary value.*
- ◐ Équipement de la partie frontalière. *Training of the border stretch.*
- Ö Part autrichienne dans la production énergétique. *Austrian share in energy production.*



Fig. 3

Carte générale de la Voie d'eau Européenne Rhin-Main-Danube.
General map of Rhine-Main-Danube European Waterway.

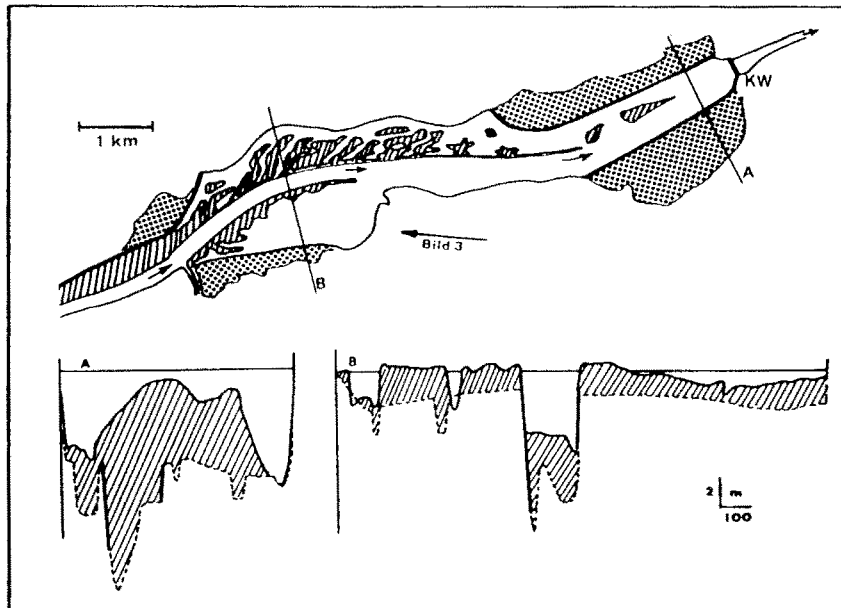


Fig. 4

La retenue de Ering-Frauenstein sur l'Inn. Les deux profils en travers indiquent l'alluvionnement après la mise en eau.

The Ering-Frauenstein reservoir on the Inn. The two cross sections show sedimentation after filling (from « Die Ökostruktur der Innstauseen » by J. Reichholf, Bild der Wissenschaft 8, 1977).

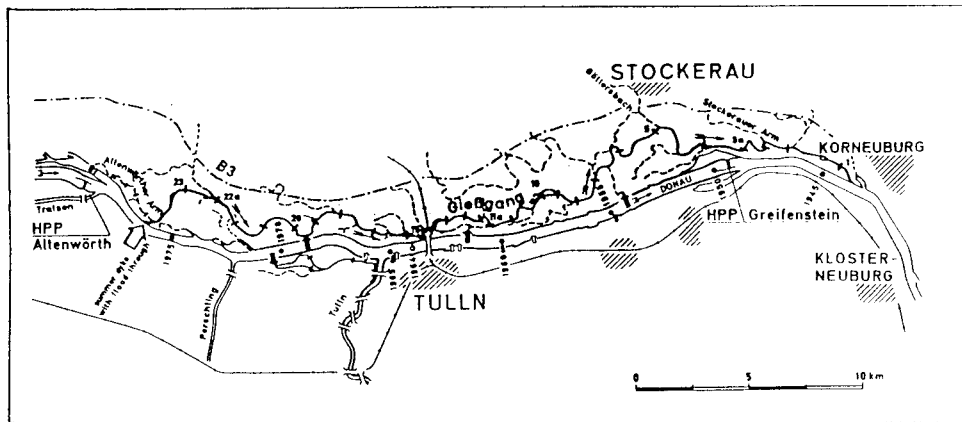


Fig. 5

Réseau d'irrigation de « Giessgang Greifenstein ».
Scheme of watering channel « Giessgang Greifenstein ».

- | | | |
|-----------|--|--|
| ↑ | Digue avec section déversante. | <i>Summer dyke with flood through section.</i> |
| ■ | Petite retenue avec digue transversale et petits batardeaux. | <i>Small storage with transversal dyke and small stop locks.</i> |
| ↑ | Prise d'eau. | <i>Intake construction.</i> |
| - - - | Autres canaux dans le lit majeur boisé. | <i>Other waterways in wooded flood plain.</i> |
| - . - . - | Route principale. | <i>Main road.</i> |
| + + + | Chemin de fer. | <i>Railway.</i> |

2. LES RETENUES DE LOKKA ET DE PORTTIPAHTA (Finlande) (*)

1. DESCRIPTION DES AMÉNAGEMENTS

Les retenues de Lokka et de Porttipahta ont été créées dans une zone de forêts et de marécages dans le Nord de la Finlande (Fig. 1). Elles sont situées sur le cours supérieur d'un affluent de la rivière Kemijoki (Fig. 2). Les superficies des retenues de Lokka et de Porttipahta sont respectivement de 417 km² et 214 km². Le premier remplissage de Lokka eut lieu en 1967 et celui de Porttipahta en 1970. Les deux retenues sont destinées à la production d'énergie électrique.

La rivière Kemijoki comporte très peu de lacs naturels : les très fortes variations du débit de la rivière ne sont donc pas atténuées. Lors des crues de printemps, le débit maximal sur le cours inférieur a atteint 4 800 m³/s, alors que le débit minimal en périodes sèches n'a été que de 90 m³/s. Du fait de ces grandes variations de débit, une régularisation s'impose préalablement à l'utilisation du cours d'eau pour la production d'énergie. Vers la fin des années 1960, les retenues de Lokka et de Porttipahta furent réalisées dans le bassin supérieur de la rivière Kemijoki, dans la municipalité de Sodankylä. Les retenues sont reliées par le canal de Vuotso, achevé en 1981 (Fig. 3). Les eaux régularisées de Lokka sont amenées par ce canal dans la retenue de Porttipahta, puis dans la retenue de Kemijärvi en passant par l'usine hydroélectrique de Kitinen. Celle-ci impose la réalisation préalable du canal de Vuotso. Les retenues représentent plus de 80 % de l'ensemble des plans d'eau dans la municipalité de Sodankylä.

Tableau 1 : Caractéristiques techniques des retenues
et du canal de liaison.

| | Lokka | Porttipahta |
|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Année d'achèvement | 1967 | 1970 |
| Rivière | Luiro | Kitinen |
| Niveaux de retenue | | |
| — niveau supérieur | + 245 m | + 245 m |
| — niveau inférieur | + 240 m | + 234 m |
| Variation de niveau | 5 m | 11 m |
| Surfaces du plan d'eau | | |
| — au niveau supérieur | 417 km ² | 214 km ² |
| — au niveau inférieur | 216 km ² | 34 km ² |
| Volumes de retenue | | |
| — au niveau supérieur | 2 063 hm ³ | 1 353 hm ³ |
| — au niveau inférieur | 500 hm ³ | 150 hm ³ |
| Bassin versant | 2 380 km ² | 2 460 km ² |

(*) Par Mauri Kuuskoski et Tapio Kovanen.

2. THE LOKKA AND PORTTIPAHTA RESERVOIRS (Finland) (*)

1. DESCRIPTION OF THE PROJECT

The artificial lakes of Lokka and Porttipahta were constructed in bog and forest area in Northern Finland (Fig. 1). They are situated on the upper course of a tributary of the river of Kemijoki (Fig. 2). The surface areas of Lokka and Porttipahta are 417 km² and 214 km², respectively. The first filling of Lokka occurred in 1967, and of Porttipahta in 1970. Both lakes serve as reservoirs for hydro power production.

The Kemijoki river includes extremely few natural lakes and that is why the discharge variations in the river are large. During the spring flood, the maximum discharge at the lower reach of the river has been 4 800 m³/s, whereas the minimum discharge during dry periods has been only 90 m³/s. Due to the large discharge variations, effective regulation is prerequisite of a utilization of the watercourse for power production. In the late 1960's, the Lokka and Porttipahta reservoirs were constructed in the upper course of the Kemijoki river in the Sodankylä municipality. The reservoirs are connected by the canal of Vuotso, which was completed in 1981 (Fig. 3). Through this canal, the regulated waters of Lokka are discharged to Porttipahta, and from there on over the power plant of Kitinen to the lake of Kemijärvi. The Vuotso canal is prerequisite of the power plant of Kitinen. The reservoirs make up over 80 % of the whole water area in the Sodankylä municipality.

Table 1. Technical data of the reservoirs
and the connecting canal.

| | Lokka | Porttipahta |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Completed | 1967 | 1970 |
| River | Luiro | Kitinen |
| Water levels | | |
| — upper level | + 245 m | + 245 m |
| — lower level | + 240 m | + 234 m |
| Variation | 5 m | 11 m |
| Water area | | |
| — at upper level | 417 km ² | 214 km ² |
| — at lower level | 216 km ² | 34 km ² |
| Volume | | |
| — at upper level | 2 063 hm ³ | 1 353 hm ³ |
| — at lower level | 500 hm ³ | 150 hm ³ |
| Catchment area | 2 380 km ² | 2 460 km ² |

(*) By Mauri Kuuskoski and Tapio Kovanen.

| Canal de Vuotso | |
|--------------------------|-----------------|
| Année d'achèvement | 1981 |
| Longueur | 21 km |
| Largeur du plafond | 12 m |
| Niveau du plafond | + 237 m à 238 m |

Le sol des retenues est constitué de tourbe, de moraine et de sable, la tourbe prédominant. La retenue de Lokka faisait partie d'un lac glaciaire durant l'âge glaciaire, il y a quelque 8 000 à 10 000 ans, ce qui explique la présence de silt et d'argile dans la zone de la retenue. La retenue de Lokka fut créée dans une zone constituée de marécages pour 90 %. A Porttipahta, 50 % de la zone est constituée de marécages. Les retenues recouvrent au total une superficie de 631 km², dont 385 km² de terrains incultes, 230 km² de forêts, 13 km² de prairies, et 3 km² de champs. L'État finlandais était propriétaire de 66 % de la surface du sol, le reste appartenant à des propriétaires privés.

Le déboisement fit l'objet d'une opération limitée; 15 % seulement des arbres et du bois d'œuvre de valeur furent enlevés pour réaliser les accès aux retenues. Aujourd'hui, toutefois, la plupart des arbres laissés sont tombés sous l'action des vagues et de la couverture de glace.

Les deux retenues sont créées chacune par un barrage de régularisation. Le débit provenant de la retenue de Lokka est très faible. L'usine hydroélectrique de Porttipahta est, cependant, très importante pour la production d'énergie, car l'eau provenant des deux retenues et passant par cette usine alimente les usines de Kemijoki situées à l'aval.

Tableau 2 : Caractéristiques techniques des barrages de Lokka et de Porttipahta.

| | Lokka | Porttipahta |
|--------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Barrages en terre | | |
| — longueur | 1 640 m | 3 450 m |
| — hauteur maximale | 18 m | 38 m |
| — volume | 0,465 hm ³ | 1,110 hm ³ |
| Barrages en béton | | |
| — volume | 7 600 m ³ | 16 172 m ³ |
| Usines hydroélectriques | | |
| — hauteur de chute | 13 m | 30 m |
| — débit turbiné | 2 m ³ /s | 140 m ³ /s |

2. PRODUCTIBILITÉS

Le but principal de Lokka (photo A) et de Porttipahta est de stocker de l'eau — qui, autrement, serait déversée par les évacuateurs de crue — pour son utilisation pendant les périodes sèches, principalement en hiver. De plus, les retenues per-

| THE CANAL OF VUOTSO | |
|---------------------------|--------------------|
| Completed | 1981 |
| Length | 21 km |
| Bottom width | 12 m |
| Bottom height level | + 237 m to + 238 m |

The soil in the reservoir area is composed of peat, moraine and sand, peat being predominant. The Lokka reservoir has been part of an ice jam lake during the ice age some 8 000 to 10 000 years ago. This fact explains the occurrence of silt and clay sediments in the reservoir area. Lokka was embanked in an area which to 90 % consisted of bogs. In Porttipahta, 50 % of the area was made up by bogs. A total of 631 km² ground area was covered by the reservoirs. Of this area, 385 km² was waste land, 230 km² wood, 13 km² meadow and 3 km² field. The Finnish state owned 66 % of this ground surface area and the rest of it was in private possession.

Clearing of the wood was carried out only to a small extent; not more than 15 % of the trees and the stock of valuable timber were cleared to make way for the reservoirs. Today, however, most of the trees left behind have fallen due to wave action and ice cover.

Both reservoirs were supplied with a regulating dam. The discharge from the Lokka reservoir is insignificant. The Porttipahta power plant, however, is very important for the power production, because the water from both reservoirs is released through it for the use of the Kemijoki power plants situated downstream.

Table 2. Technical data of the Lokka and Porttipahta dams.

| | Lokka | Porttipahta |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Earth dams | | |
| – length | 1 640 m | 3 450 m |
| – max. height | 18 m | 38 m |
| – volume | 0.465 hm ³ | 1 110 hm ³ |
| Concrete dams | | |
| – volume | 7 600 m ³ | 16 172 m ³ |
| Power plants | | |
| – head | 13 m | 30 m |
| – turbine discharge | 2 m ³ /s | 140 m ³ /s |

2. PROJECT OUTPUTS

The main purpose of Lokka (photo A) and Porttipahta is to store water, that otherwise would be discharged through spillways, for use during dry periods, mainly in winter time. The reservoirs, furthermore, make it possible to keep water in store

mettent de stocker de l'eau pour utilisation pendant les années sèches. Ainsi, elles servent de retenues interannuelles, leur capacité utile étant de 155 % du volume des apports annuels. Une troisième utilisation est le transfert d'énergie de l'été sur l'hiver.

L'énergie produite par Lokka et Porttipahta est :

| | |
|---|---------|
| — aux usines situées sur la rivière principale Kemijoki | 200 GWh |
| — aux usines de Kitinen | |
| Porttipahta | 46 GWh |
| Lokka | 166 GWh |
| Total | 412 GWh |

3. CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES ET SOCIALES

Les habitants des zones des retenues commencèrent à quitter les lieux au début des années 60. Les plans de relogement de la population faisaient défaut car les personnes voulaient décider elles-mêmes du lieu de leur installation. Aussi, quelques zones de relogement sont-elles situées très loin des anciennes résidences; sur un total de 560 personnes partant, pas moins d'un tiers quitta la municipalité de Sodankylä [2], une partie d'entre elles allant même à l'étranger. La plupart des personnes quittant les abords de la retenue et la région avoisinante étaient des jeunes en âge de travailler, ce qui modifia la répartition des âges de la population avec prédominance d'enfants et de pensionnés. Une conséquence naturelle de ce changement fut une diminution importante de la natalité. Les personnes déplacées restant dans la municipalité devaient, dans la plupart des cas, trouver d'autres moyens de gagner leur vie. Les difficultés étaient moins grandes pour les familles qui, après leur réinstallation, pouvaient continuer leurs anciennes activités et s'établir dans un environnement ressemblant autant que possible à celui de leur ancienne résidence.

En plus des problèmes de relogement de la population, les problèmes de commerce, de services publics et d'emploi attirèrent particulièrement l'attention, compte tenu des modifications apportées à l'économie locale par les retenues. En ce qui concerne le commerce, le secteur primaire prédominait dans les villages de la zone des retenues. La branche la plus importante du commerce était l'élevage des rennes et elle le reste aujourd'hui après la création des retenues. Toutefois, en raison de la perte de pâturages, le nombre de rennes (*Rangifer tarandus*) dut être réduit. Les activités agricoles furent aussi entravées, des terres étant submergées par les retenues.

La proportion des salaires et traitements dans les revenus totaux est actuellement plus importante qu'avant la réalisation des retenues; le développement des activités liées à l'éducation, à la santé, aux affaires, et des activités sociales a entraîné une formidable croissance du secteur des services. Le nombre d'entrepreneurs est resté le même mais le secteur de la construction a connu une grande expansion, par exemple, dans le domaine de l'amélioration des routes, des réseaux d'adduction d'eau et d'égout. Une caractéristique des fermes était que, précédemment, leurs moyens d'existence variaient. Mais, aujourd'hui, comme les grandes exploitations ont été fractionnées, la plupart des fermes se caractérisent par un seul type de moyens d'existence : en général, revenu du travail, ou élevage des rennes.

ready to use during dry years. Thus, they can be used as year-to-year reservoirs, as their active storage is 155 per cent of the annual inflow. A third way of using the reservoirs is to transfer energy from summer to winter.

The additional energy produced by Lokka and Porttipahta is :

| | |
|---|---------|
| — To the plants situated at the Kemijoki main river | 200 GWh |
| — To the plants of Kitinen | |
| Porttipahta | 46 GWh |
| Lokka | 166 GWh |
| Totally | 412 GWh |

3. SIGNIFICANCE TO THE ECONOMY AND SOCIOLOGY

The inhabitants near the reservoir areas started to move away in the early 60' s. Population plans were lacking, because the people wanted to decide by themselves where to settle. Therefore some of the new settlement areas are situated very far from the original dwelling places; of totally 560 persons moving away, as much as one third moved directly outside the municipality of Sodankylä [2], part of them even abroad. Most of the persons moving away from the reservoir area and the nearby region were young persons in working age, which naturally resulted in a change in the age structure of the population from child-dominated to pensioner-dominated. A natural consequence of this change was a considerable decline in the birthrates. Those persons, who moved within the municipality, in most cases had to find out other means of earning their living. It was easiest for the families who after the resettlement were able to go on with their former occupations and could settle down in environments, that as much as possible resembled their former residential environment.

In addition to the population questions, the questions of trade, public services and employment are emphasized, when considering the economic changes on local level caused by the reservoirs. In terms of the structure of trade, primary production dominated in the reservoir villages. The most significant branch of trade was reindeer husbandry, and this branch is even today, after the construction of the reservoirs, the dominating one. Due to the loss of pasture, however, the number of reindeer (*Rangifer tarandus*) had to be reduced. Practising of agriculture was also impeded, as land areas were covered with water.

The ratio of wages and salaries of the total income structure today is much more significant than before construction of the reservoirs; the development of education, health and social and business services has initiated a drastic growth of the service sector. The number of entrepreneurs has remained on the same level, but the construction industry has substantially expanded for example in terms of improvements of road systems and water supply and sewerage. Typical of the reservoir farms earlier was that the sources of livelihood were versatile. But today, as the big households have been split up, the farms to a high extent are characterized by one source of livelihood; most generally either by earned income or by reindeer husbandry.

Bien que la production du secteur primaire ait souffert de la réalisation des retenues, les travaux ont eu un effet bénéfique sur la vie économique. La construction a concerné l'emploi pendant quatre ans; la main-d'œuvre totale nécessaire aux travaux fut, au maximum, de 1 100 personnes, dont 90 % était du personnel local [2]. En plus des impôts sur les salaires et les traitements, la municipalité de Sodankylä percevait aussi les taxes municipales payées par la Compagnie d'Électricité. En valeur réelle, les taxes perçues après achèvement des retenues étaient deux fois plus élevées qu'avant.

En outre, la construction de Lokka et de Porttipahta contribua directement à donner une structure plus variée au commerce et à l'industrie dans la municipalité. Durant les diverses phases des études, ni la municipalité, ni l'administration des eaux n'avaient une idée des avantages qu'offriraient les retenues dans les domaines de la pêche, des loisirs et du tourisme. Les retenues, avec les énormes prises de poissons, ont fait de Sodankylä la meilleure municipalité de Finlande quant à la pêche en eau douce; c'est ainsi que 47 pêcheurs professionnels et 1 500 pêcheurs semi-professionnels vivent de la pêche. Ces activités se développent constamment, par exemple en accordant des permis de construire à des fins touristiques. La modification favorable de l'économie semble durable.

4. EFFETS DES RETENUES SUR L'ENVIRONNEMENT

Afin de déterminer les effets sur l'environnement, des enquêtes très approfondies furent effectuées dans les zones des retenues avant et après l'exécution des remblais. Indépendamment de la Compagnie d'Électricité, des Universités, des Instituts de recherches et des chercheurs privés participèrent à ces études. Au début des années 1980, un Bureau d'experts suédois fut chargé d'estimer les effets sur l'environnement. Les modifications de la qualité de l'eau des retenues et de la rivière à l'aval, ainsi que la retombée de la tourbe à la surface de l'eau, furent choisies comme principaux sujets de recherches.

Le comportement du terrain recouvert par l'eau au début avait un effet décisif sur l'évolution de la qualité de l'eau des retenues. La présence dominante des marécages sur le sol de Lokka et, d'autre part, les plus grandes périodes de régularisation et la topographie nettement marquée de Porttipahta sont les facteurs caractéristiques les plus significatifs; ce sont les raisons pour lesquelles Porttipahta a « vieilli » plus vite que Lokka. Les deux retenues ont, en commun, que l'eau est colorée par l'humus. La plus grande différence, cependant, concerne la salinité de l'eau qui est deux fois plus forte à Porttipahta qu'à Lokka.

Le Bureau d'experts suédois estima que les eaux de Luiro et de Kitinen, dix ans après la construction des digues, auraient la même qualité que celle existant avant la réalisation des retenues [4]. Il y aurait cependant, selon leur estimation, une augmentation constante de 40 % de la quantité de matières organiques non décomposées.

La teneur en oxygène des eaux de retenues était très mauvaise immédiatement après la fin de la construction des digues. Une baisse importante du plan d'eau jusqu'au niveau minimal de régularisation, en 1974 et 1977, ainsi que d'abondants apports, dans les retenues, de matières organiques facilement décomposables

Although the primary production suffered from the construction of reservoirs, building had an encouraging effect on the economic life. Construction directly affected the employment over four years; the maximum labour need was totally 1 100 persons, 90 % of which were local people [2]. In addition to tax incomes from individual wages and salaries, the municipality of Sodankylä also got benefit from the municipal taxes paid by the power company. The real value of the tax income after the reservoirs were completed was twice as high as before the construction.

Construction of Lokka and Porttipahta further directly contributed to a more versatile structure of trade and industry in the municipality. During the phases of design, neither the municipality nor the water authority had an idea about what good opportunities of fishing, recreation and tourism the reservoirs actually would offer. The reservoirs with their large fish catches have made the best freshwater fishing municipality in Finland out of Sodankylä, enabling 47 professional and 1 500 half-professional fishermen to make their living by fishing. The vigorous recreation and tourism activities brought about by fishing have added both to jobs and capital in the municipality. These activities are constantly being further developed e.g. by granting building licences for the purpose of tourism. The favourable change in the economy seems to be permanent.

4. ENVIRONMENTAL IMPACTS OF RESERVOIRS

In order to establish the environmental effects, very extensive investigations have been carried out in the reservoir areas both before and after the embankment work. Except the power company, universities, research institutes and private researchers participated as researchers. In the beginning of the 1960's, a Swedish consulting company was commissioned to draw up estimates. Changes in the water quality of the reservoirs and of the river below, and rising of peat to the water surface were chosen the main objectives of the research.

The behaviour of the ground being covered by the water in the beginning had a decisive effect on the development of the water quality of the reservoirs. The dominating occurrence of bogs in the Lokka soil, and, on the other hand, the greater regulating intervals and the sharply outlined topography of Porttipahta are the most significant, distinctive factors; these are the reasons why Porttipahta has « grown older » faster than Lokka. Both lakes have in common that the water is coloured by humus. The greatest difference, however, is to be found in the salinity of the water; salinity in Porttipahta is twice as high as that of Lokka.

The Swedish consultant estimated that the waters of LUIRO and Kitinen in ten years after the embankment would achieve the same quality that prevailed there before the construction of the reservoirs [4]. There will, however, according to the estimate, be a constant increase of 40 per cent in the amount of undecomposed organic matter.

The oxygen situation in the reservoirs was worst immediately after the embankment completion. A considerable fall in the water level to the minimum limits of regulation in 1974 and 1977, and an abundance of easily decomposing organic matter being washed into the reservoirs also added to the lack of oxygen [3]. The

contribuèrent également au manque d'oxygène [3]. La situation était redevenue normale au début des années 1970 et, postérieurement, aucun signe d'absence totale d'oxygène ne se manifesta (Fig. 4).

Au cours des premières années après la construction, des valeurs élevées de demande chimique en oxygène furent enregistrées. Cela résultait de la mobilisation de matières organiques et de la dissolution de fer dans l'eau. Le pH de l'eau baissa après la construction. Une conséquence importante de la construction des digues fut une forte augmentation des teneurs en phosphore et en azote; la teneur en phosphore décupla et celle de l'azote doubla. Dans le temps, les valeurs devinrent normales, mais, du fait des effets de l'humus et des matières organiques, la qualité de l'eau dans les rivières à l'aval des retenues ne retrouva pas le bon niveau qu'elle avait avant la construction des digues.

Un autre facteur, important au point de vue des effets sur l'environnement, est la remontée de tourbe à la surface de l'eau (photo B). Ce phénomène, caractéristique des retenues, résulte de la formation de gaz dans la tourbe lors de la décomposition, ces gaz faisant remonter et flotter la tourbe à la surface de l'eau. On a évalué à 12 millions de m³ la production annuelle maximale de gaz par les marais tourbeux de Lokka et de Porttipahta [5].

Les experts avaient estimé que la remontée de tourbe passerait par un maximum, 3 à 4 ans environ après le premier remplissage [4], et qu'après 10 ans il n'y aurait plus de tourbe flottant à la surface. Cette estimation s'avéra tout à fait juste. Après le premier remplissage, de faibles quantités de tourbe seulement remontèrent à la surface. En 1969, la retenue était recouverte de tourbe sur 35 km² (surface maximale atteinte). Les dimensions des masses flottantes de tourbe variaient de quelques hectares à quelques dizaines d'hectares; leur épaisseur moyenne était de 90 cm dont un dixième émergeait. La surface de tourbe s'avéra, cependant, inférieure à celle estimée, soit 100 km² au maximum. A Porttipahta, la surface de tourbe ne dépassa pas 5 km². Par suite des variations du niveau d'eau et de l'action de la glace, les masses flottantes de tourbe se fractionnèrent progressivement et retombèrent au fond. La plus grande partie des retenues était épurée dans la période 1971 à 1973, et après 1975 il n'y eut aucune remontée de tourbe à la surface (Fig. 5).

L'abondance des sels nutritifs formés à la suite de la mise en eau provoqua une croissance des plantes aquatiques. La végétation sur la tourbe flottante changea également, et l'abondance des espèces fut remplacée par des espèces variées de roseaux.

Les retenues, ont attiré, à la longue, une faune d'oiseaux plus riche que prévue. Cette faune comprend des oiseaux rares, tels que l'aigle blanche-queue (*Haliaeetus albicilla*), l'aigle royal (*Aquila chrysaetos*) et le busard des marais (*Circus cyaneus*). Une conséquence plus inattendue de la création des retenues fut une croissance énorme de la faune de poissons. La quantité de poissons de Lokka augmenta de 2,5 fois, de 1968 à 1972, et celle de Porttipahta de 4,3 fois, de 1971 à 1976. Les espèces de poissons dans les retenues étaient des brochets (*Esox lucius*), des perches (*Perca fluviatilis*) et des lottes (*Lota lota*), qui sont toutes typiques des zones des réservoirs. En outre, de grandes quantités de gardons (*Rutilus rutilus*) et d'ides (*Leuciscus idus*) se développèrent dans la retenue de Lokka. Du fait de la diminution de la quantité de poissons migrateurs à chair blanche (*Coregonus Lavaretus L.*), 10,5 millions d'alevins de cette espèce furent déversés dans les eaux au début des années 1970, mais sans résultat. L'alevinage en truites de lac (*Salmo trutta m. lacustris*), effectué

situation was normalized in the late 70' s, and after that there has been no sign of total lack of oxygen (Fig. 4).

During the first years after construction, high values of chemical oxygen demand (COD) were observed. This was a result from the mobilization of organic matter and the dissolution of iron in water. The pH value of the water went down after construction. A significant consequence of the embankment was a vigorous rise in the phosphorus and nitrogen contents; the phosphorus content increased tenfold and the nitrogen content doubled. In course of time the values were normalized, but due to the effects of humus and organic matter, the quality of the water in the rivers downstreams of the reservoirs did not match the good level before the embankment.

Another factor, which in terms of environment effects is important, is the rising of peat to the water surface (Photo B). This phenomenon, typical of reservoirs, is caused by gases formed in the peat in connection with decomposition. These gases make the peat floats rise to the water surface. It has been calculated that maximum 12 mill. m³ of gas annually was produced by the peat bogs in Lokka and Porttipahta [5].

According to the consultant's estimate, the rise of peat would be at a maximum some 3 to 4 years after the first filling [4]. After 10 years, peat floats would no longer occur. The estimate turned out to be quite correct. The years after the first filling only small amounts of peat rose. In 1969, 35 km², at a maximum, of the Lokka reservoir was covered by peat. The size of the peat floats varied from some hectares to some tens of hectares. Average thickness of the peat floats was 90 cm, of which not more than a tenth was above the water surface. The peat surface area, however, turned out to be smaller than the estimated maximum of 100 km². In Porttipahta, the corresponding estimated area was not bigger than 5 km². As a result of variations in the water level and from wave action, the peat floats gradually began to split up and sink to the bottom. The large open lakes were purified during 1971 to 1973, and after 1975 no peat floats have risen to the water surface (Fig. 5).

The abundance of nutrient salts formed due to the filling initiated an increase in the water plant vegetation. The vegetation on the peat floats also changed and the abundance of species was replaced by various sedge species.

In the course of time, the reservoirs have invited a richer fauna of birds than expected. The fauna includes e.g. such rare birds as the white-tailed eagle (*Haliaeetus albicilla*), the golden eagle (*Aquila chrysaetos*) and the marsh harrier (*Circus cyaneus*). A more unexpected consequence of the construction of the reservoirs, yet, was a drastic growth of the fish fauna. The fish quantity of Lokka increased 2.5 times during 1968 to 1972, and that of Porttipahta 4.3 times during 1971 to 1976. The fish fauna in the reservoirs consisted of pike (*Esox lucius*), perch (*Perca fluviatilis*) and burbot (*Lota lota*), all being fish species which are typical of reservoir areas. Furthermore, large stocks of roach (*Rutilus rutilus*) and ide (*Leuciscus idus*) developed in the reservoir of Lokka. Due to the reduction of the natural migratory whitefish stock (*Coregonus Lavaretus L.*), a total of 10.5 million of hatched fries of migratory whitefish were released in the early 70' s, but without result. Release of lake trout (*Salmo trutta m. lacustris*), which was carried out about this time, was not successful

à peu près à cette époque, ne réussit pas non plus. La décision fut donc prise d'essayer des alevinages en poissons à chair blanche « peled » (*Coregonus peled*), en 1972 et 1973. Les résultats furent très prometteurs [1], et, en 1975, on entreprit un peuplement en poissons à chair blanche « peled ».

Les pêches étaient plus faibles immédiatement après le premier remplissage, mais depuis le milieu des années 1970 les prises ont beaucoup augmenté (Fig. 6). En 1984, les pêches dans les retenues ont atteint 350 tonnes, se répartissant comme suit :

| | | |
|---|------|------------|
| Brochet | 34 % | 119 tonnes |
| Perche | 23 % | 81 tonnes |
| Poisson à chair blanche « Peled » | 20 % | 70 tonnes |
| Lotte | 14 % | 49 tonnes |
| Ide | 9 % | 31 tonnes |

La haute teneur en mercure dans les poissons prédateurs posa un problème au début. Cependant, ce phénomène typique des retenues créées sur des marais tourbeux ne fut que passager et, aujourd'hui, la teneur en mercure de l'eau est plus faible que dans de nombreux lacs naturels.

5. IMPORTANCE DES EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT

La création des retenues de Lokka et de Porttipahta a posé l'un des problèmes d'environnement les plus importants dans l'histoire de l'équipement hydroélectrique finlandais. En ce qui concerne les effets directs sur l'environnement, il faudra, toutefois, toujours tenir compte de leur aspect économique.

Ainsi, pour ces réservoirs, on doit considérer que le facteur le plus significatif est l'augmentation considérable de la quantité de poissons et de la pêche, y compris ses effets secondaires positifs.

Un important développement de la quantité de poissons et de la pêche a été possible du fait que la Compagnie d'Électricité a exploité les retenues de régularisation avec beaucoup de précaution. La Municipalité de Sodankylä et l'État finlandais apportent leur soutien à l'industrie de la pêche, par exemple :

- en créant des ports de pêche et des pêcheries;
- en offrant des services d'organisation aux pêcheurs;
- en soutenant le ramassage des prises et le marché.

En vue de protéger la pêche professionnelle (photo C) qui ne cesse de se développer, on dut apporter quelques limitations aux droits de pêche des pêcheurs amateurs.

La valeur totale de l'ensemble des prises de poissons (photo D) est de l'ordre de 0,4 million de dollars US chaque année. La productivité de l'alevinage a atteint, au maximum, 60 kg environ de prises par millier d'alevins.

La modification de la qualité de l'eau des rivières de Kitinen et de Luiro, survenant dans les premières années après la construction, n'affecta pas considérablement la qualité de l'eau de la rivière Kemijoki située à l'aval. La présence de

either. Thus, the decision was made to try with test releases of peled whitefish (*Coregonus peled*) in 1972 to 1973. The results were very promising [1], and in 1975 vigorous plantations of peled whitefish were started.

The fish catches were smallest directly after the first filling, but ever since the middle of the 70' s the catches have increased substantially (Fig. 6). In 1984, the catch of the reservoirs totalled 350 tonnes, distributed as follows :

| | | |
|-----------------------|------|------------|
| Pike | 34 % | 119 tonnes |
| Perch | 23 % | 81 tonnes |
| Peled whitefish | 20 % | 70 tonnes |
| Burbot | 14 % | 49 tonnes |
| Ide | 9 % | 31 tonnes |

The high mercury content in the predatory fishes was a problem in the beginning. However, this phenomenon, typical of reservoirs embanked on peat bogs, has been a passing one, and today the mercury content of the water is smaller than in many natural lakes.

5. SIGNIFICANCE OF ENVIRONMENTAL IMPACTS

One of the most significant environmental measures in the history of development of Finnish water power has been the construction of the reservoirs of Lokka and Porttipahta. Along with the direct environmental impacts, however, the economic consequences of the effects should always be taken into account. Thus, absolutely the most significant factor concerning these reservoirs must be considered the drastic increase in fish stocks and fishing including their positive secondary effects.

A vigorous development of the fish stocks and fishing has been possible, because the power company has utilized the regulation volume of the reservoirs very cautiously. The municipality of Sodankylä and the Finnish state contribute to the fishing industry for example by :

- building fishing harbours and fields;
- offering the fishermen planning services;
- supporting gathering and marketing of the catches.

In order to protect the ever growing professional fishing (Photo C), some limitations of the fishing rights of the sporting fishermen had to be done.

Total value of the whole fish catch (Photo D), is some US \$ 0.4 million annually. Productivity of the fish releases has, at a maximum, amounted to nearly 60 kg catch per thousand fry planted.

The change of the water quality in the rivers of Kitinen and LUIRO occurring during the first years after construction did not substantially affect the water quality of the river of Kemijoki situated downstream. Neither did the peat floats rising to

tourbe flottant à la surface de l'eau ne causa pas non plus de graves problèmes. Cependant, associée à la croissance des arbres restés dans la retenue (photo E) et à la présence des arbres abattus, une grande étendue de tourbes avait des effets nuisibles sur la pêche et la navigation. Ces tourbes déparaient également le paysage de la retenue.

Mais, après que les tourbes flottantes commencèrent à disparaître au milieu des années 1970, la situation s'est considérablement améliorée. La région de Lokka et de Porttipahta est tout à fait unique dans le Nord de la Scandinavie. C'est un eldorado pour les oiseaux aquatiques et les oiseaux de proie. Les poissons y sont nombreux. La pollution des eaux par des matières toxiques, qui est une caractéristique de la civilisation actuelle, n'existe pas. Ainsi, on a tout fait pour que la nature mette en valeur son propre système écologique.

RÉSUMÉ

Avant le début de la construction, des études approfondies furent exécutées pour évaluer les effets des retenues sur l'environnement. Ces études portaient sur des questions telles que : la flore et la faune, la sylviculture et l'agriculture, les problèmes sociaux, la qualité de l'eau. Plusieurs scientifiques et universités finlandais y participèrent. On demanda également à un Bureau d'experts suédois réputé de préparer une étude d'impact. Les principales craintes étaient les effets nuisibles sur la qualité de l'eau à l'aval et la présence de tourbes flottantes provenant du fond des retenues. Les marécages au fond des retenues ne furent pas nettoyés avant la mise en eau; ces marécages représentaient 90 % de la surface du fond de Lokka et 50 % de celle de Porttipahta.

Les études postérieures ont montré que la qualité de l'eau dans les deux retenues s'était continuellement améliorée après les premières années. Par exemple, un épuisement d'oxygène se produisit durant les premières années à Lokka, mais ne s'est plus manifesté depuis 1974.

Une augmentation de la teneur en mercure-méthyle dans les poissons fut enregistrée au cours des premières années. Les effets sur la qualité de l'eau à l'aval ont été négligeables pendant la saison des crues et en été. Au cours de l'hiver, une augmentation des quantités de matières organiques en suspension a été relevée.

Le développement du peuplement des retenues en poissons a été un élément très favorable. Dans la période 1971-1975, la pêche annuelle a été de 1,5 à 4,2 kg par hectare à Lokka et de 0,4 à 3,2 kg par hectare à Porttipahta. Entre 1975 et 1980, les prises annuelles par hectare ont atteint 3,5 kg à Lokka et 8,3 kg à Porttipahta, constituées principalement de brochets, de perches et de lottes. En 1980, le poisson à chair blanche « peled » devint l'espèce la plus abondante. Actuellement, 47 pêcheurs exercent leur profession sur les retenues et la moitié des familles habitant la région se livrent à la pêche comme moyen de subsistance, alors que cette pêche était négligeable avant la création des retenues.

La création des retenues a entraîné de nombreuses modifications dans la structure de la population de la municipalité et dans ses moyens de subsistance. De grandes surfaces de terres furent submergées, ce qui entrava l'exercice des principales activités : élevage de rennes, agriculture et sylviculture. Cependant, pendant les quatre années de la construction des digues, celle-ci eut un effet très bénéfique

the water surface cause any severe problems. However, together with the growing trees left behind in the reservoir (Photo E) and the trees cut down, they to some extent had harmful effects on fishing and boat traffic. They also were a blot on the landscape of the reservoir.

But after the peat floats started to disappear in the middle of the 1970's, the situation has substantially improved.

The area of Lokka and Porttipahta is quite unique in northern Scandinavia. It is an eldorado for water birds and raptorial birds. Its fish stock is significant. It lacks the poisonous substances spoiling the waters, which usually are typical of today's civilization. Thus, nature was given a chance to develop its own ecological system.

SUMMARY

Before the construction was started, extensive environmental studies were carried out to predict the environmental impacts of the lakes. These studies included such subjects as flora and fauna, forestry and agriculture, sociology, and water quality. Several Finnish scientists and universities were involved. A well-known Swedish consulting company was also asked to prepare an impact study. The main fears were the adverse effects on the downstream water quality and the rising of peat floats from the lake bottom. The lake bottoms were not cleaned bog before the filling. Bog made up 90 per cent of the bottom of Lokka and 50 per cent of that of Porttipahta.

Follow-up studies have shown that the water quality in both lakes has continuously improved after the first few years. Oxygen depletion, for example, occurred during the first years in Lokka, but has not occurred since 1974.

Increased methyl mercury content in the fish was observed during the first years. The downstream effects on water quality have been of no importance during the flood season and in the summer. During the winter, effects of increased amounts of suspended organic matter have been observed.

The development of fish stocks in the lakes has been extremely favourable. During 1971 to 1975 the annual catch per hectare in Lokka was 1.5 to 4.2 kg, and in Porttipahta from 0.4 to 3.2 kg. During 1975 to 1980 the annual catch per hectare amounted 3.5 kg in Lokka and 8.3 kg in Porttipahta, mostly containing pike, perch and burbot.

In 1980, the stocked peled whitefish became the most important species. At present there are some 47 professional fishermen in the lakes, and one half of the households in the district are engaged in subsistence fishing. Fishing was of no importance before construction of the artificial lakes.

Construction of the reservoirs initiated many changes in the population and subsistence structure of the municipality. Large land areas were covered with water, which impeded practising of the main occupations reindeer husbandry, agriculture and forestry. However, construction of the reservoirs affected the employment in a most favourable way for over four years, and the considerably higher tax income

sur l'emploi de la main-d'œuvre, et l'augmentation considérable du montant des impôts sur les revenus résultant de la construction donna une remarquable impulsion à la vie économique de la municipalité. Aujourd'hui, les salaires et traitements constituent une source importante de revenus. L'augmentation considérable de la pêche a provoqué un fort développement des loisirs et du tourisme.

References

- [1] Mutenia A., Oksman H. 1983. *Fish resources of the Lokka and Porttipahta reservoirs and the design of their use*. 34 p. Sodankylä (in Finnish).
- [2] Luostarinen M., Mäkinen H. 1980. The influence of the construction of Lokka and Porttipahta reservoirs on the population and municipality. *National Board of Waters*, report no 1980 : 14. 196 p. (in Finnish).
- [3] Kinnunen K. 1985. *The water quality in Lokka and Porttipahta reservoirs and downstream until 1984*. 76 p. (in Finnish).
- [4] Aktiebolaget Hydrokonsult 1965. *Lokka och Porttipahta dämningmagasin. Utredning rörande morfologiska och fysikalisk-kemiska följdverkningar vid Överdämning av torvmarker*. 67 p. Uppsala (in Swedish).
- [5] Aktiebolaget Hydrokonsult 1971. *Lokka och Porttipahta dämningmagasin. Undersökningar 1972-1970 rörande fysikalisk-kemiska följdverkningar vid överdämning av torv- och fastmarker*. 49 p. Uppsala (in Swedish).

brought about by the construction stimulated the economic life of the municipality in a remarkable way. Today salaries and wages are a significant source of income. The enormously increased fishing has brought about a vigorous development of recreation and tourism.

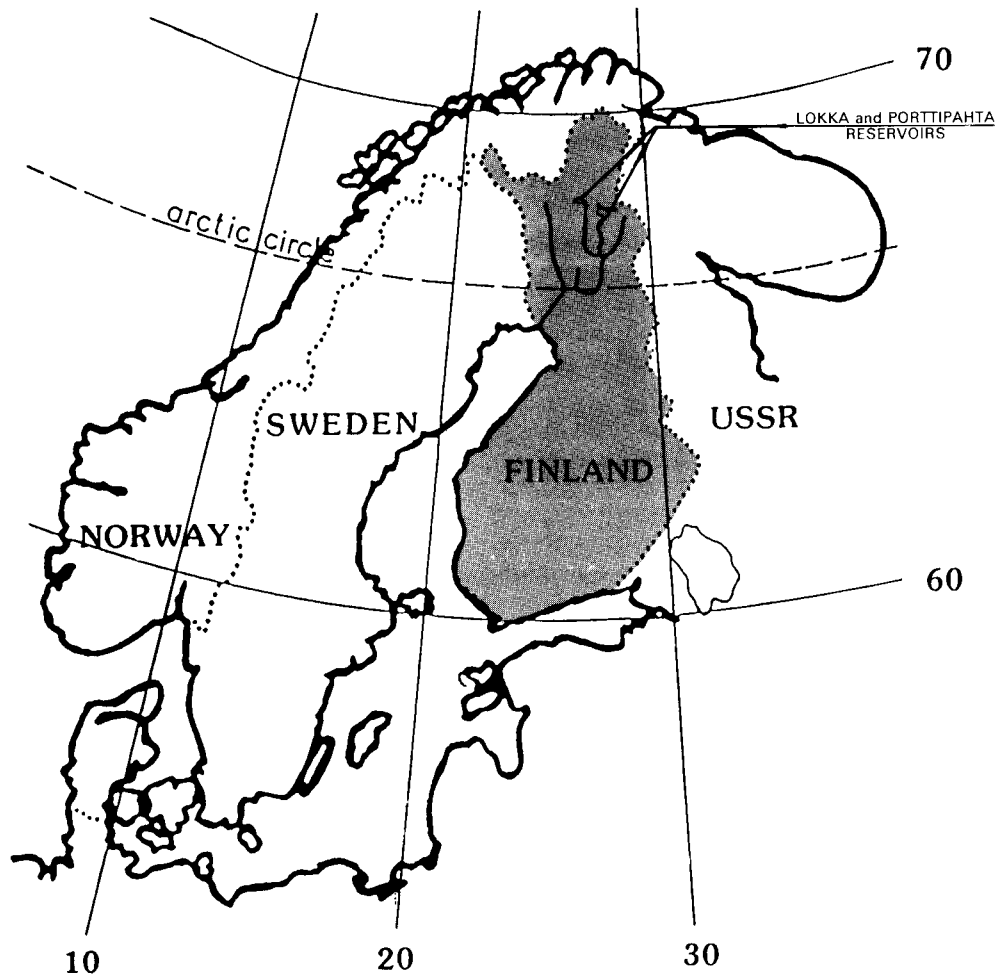


Fig. 1

La Finlande et ses pays voisins.
Finland and its neighbours.

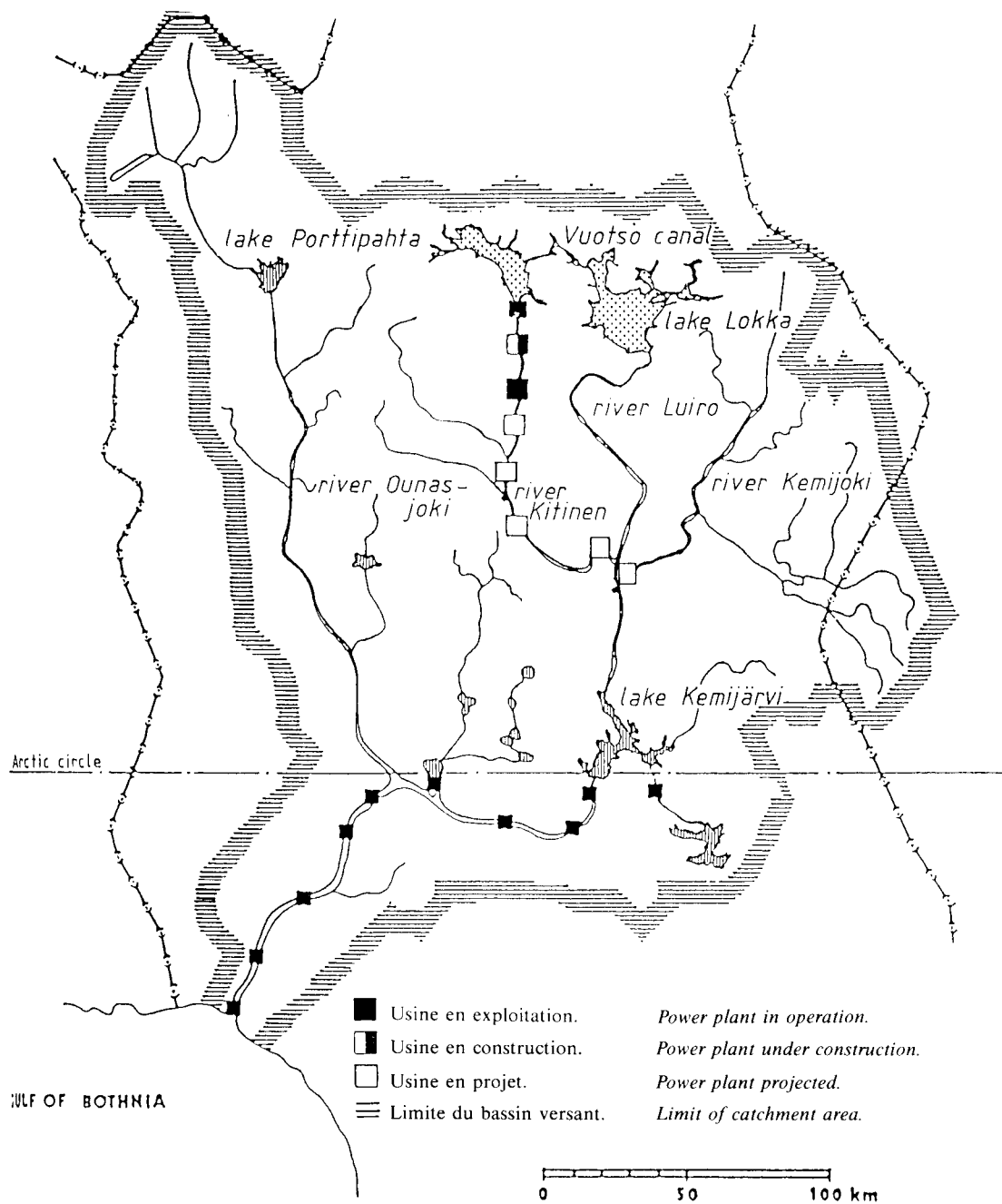


Fig. 2

Usines hydroélectriques et retenues
 sur les rivières Kemijoki, Luiro et Kitinen.
*Power plants and water reservoirs
 of the rivers Kemijoki, Luiro and Kitinen.*

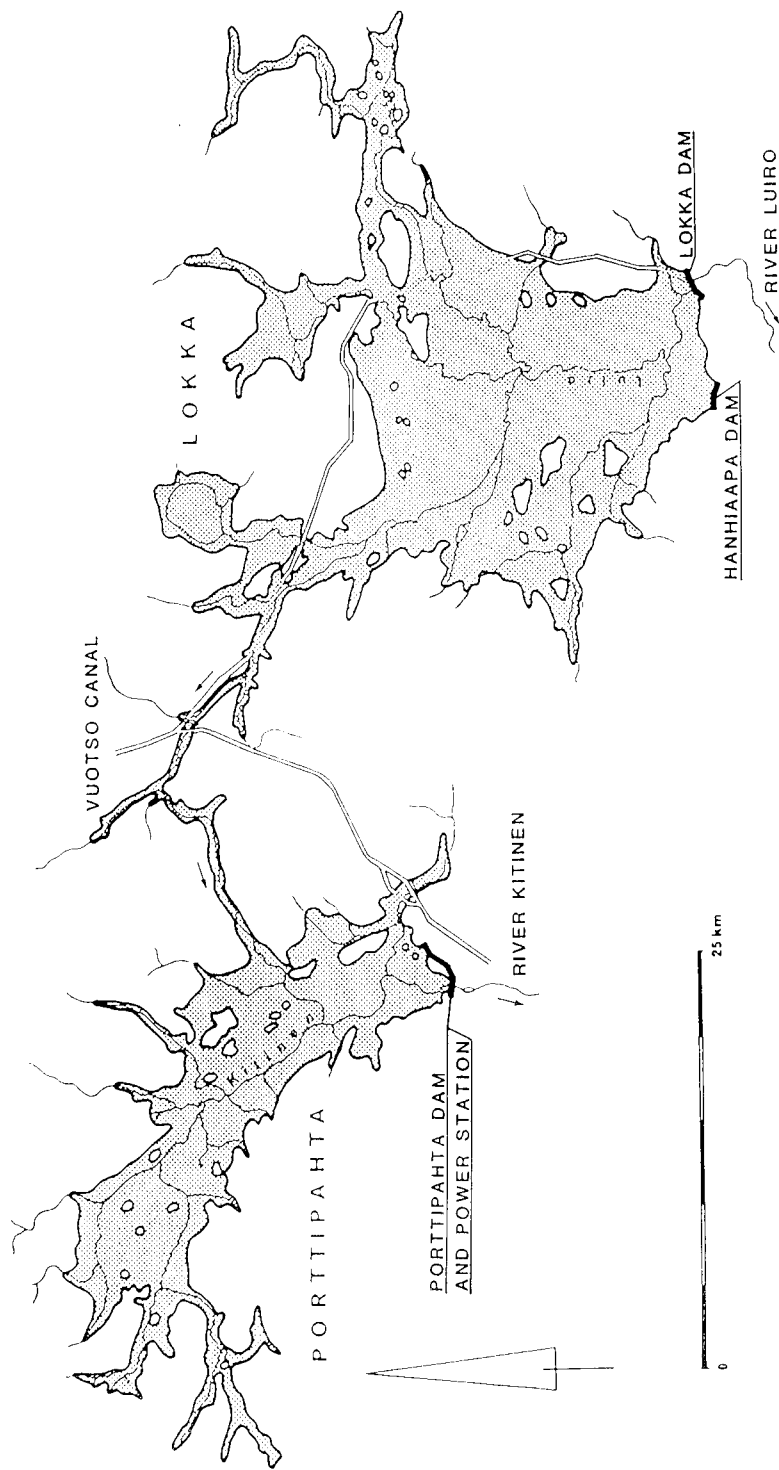


Fig. 3

Retenes de Lokka et de Porttipahta.
 Lokka and Porttipahta reservoirs.

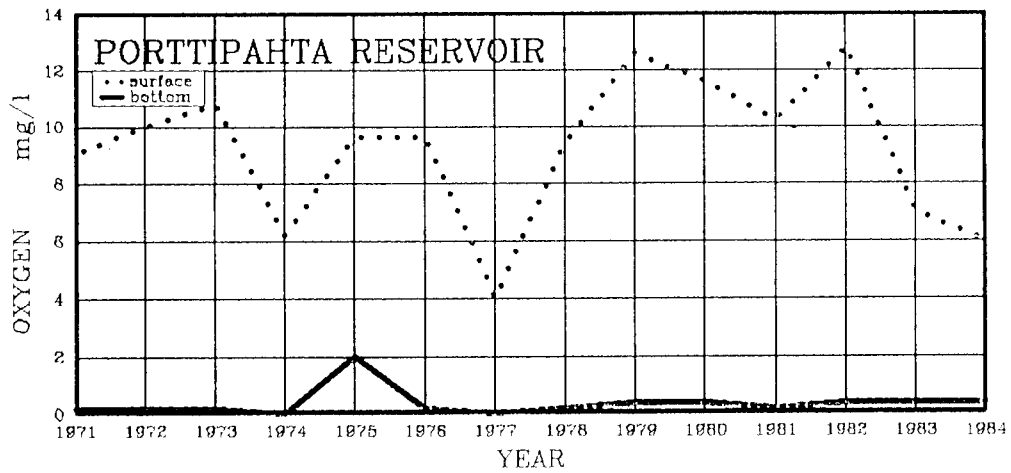
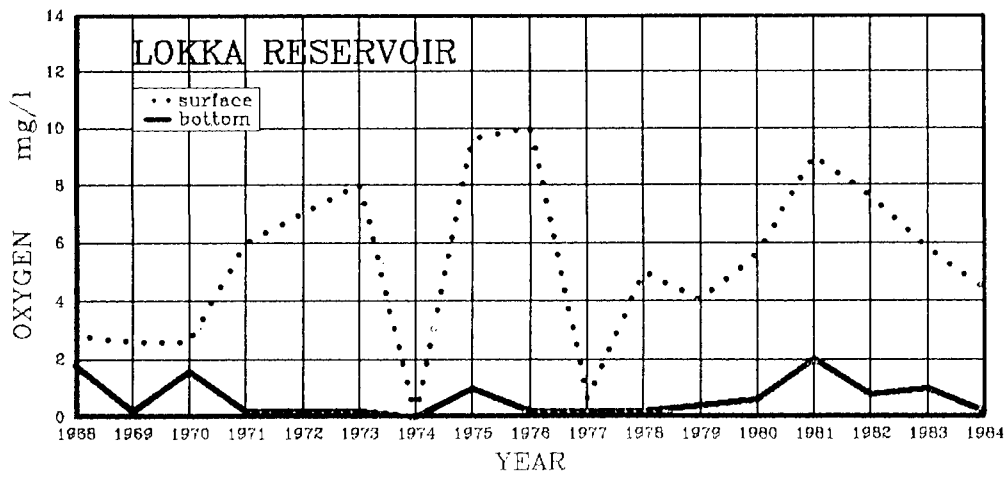


Fig. 4

Évolution de la teneur en oxygène
 dans la retenue de Lokka de 1968 à 1984,
 et dans la retenue de Porttipahta de 1971 à 1984.
*Development of the oxygen content in the reservoir
 of Lokka during 1968 to 1984, and in the reservoir
 of Porttipahta during 1971 to 1984.*

.. En surface.
 — Au fond.

.. Surface.
 — Bottom.

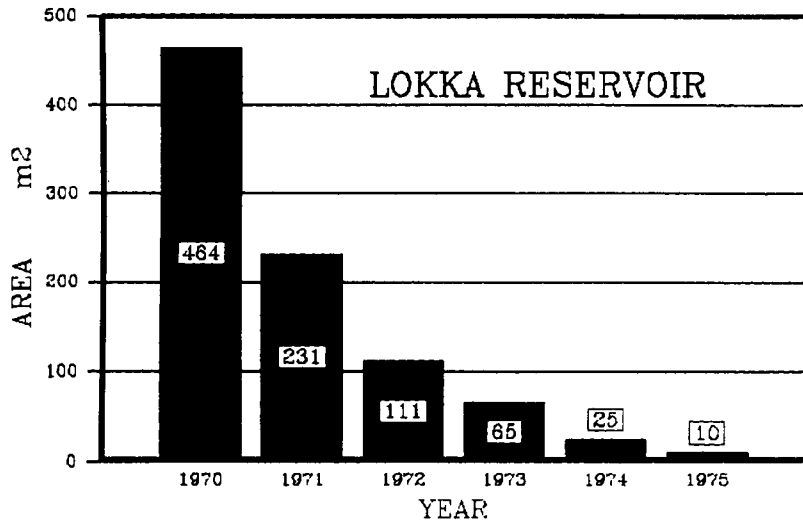


Fig. 5

Diminution de la surface de la tourbe flottant dans la retenue de Lokka, entre 1970 et 1975.

The surface area (m²) of the peat floats in the Lokka reservoir decreased during 1970 to 1975.

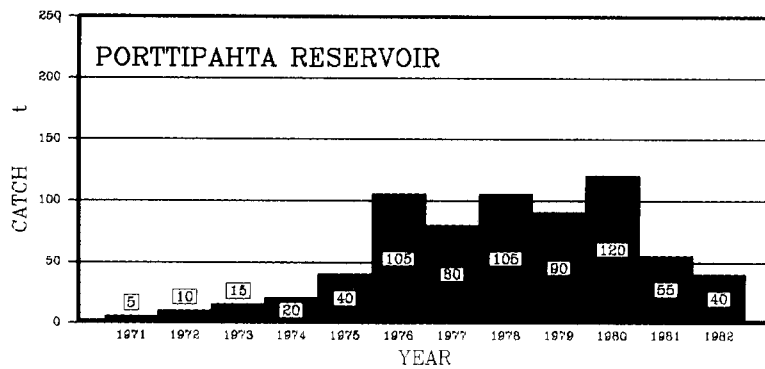
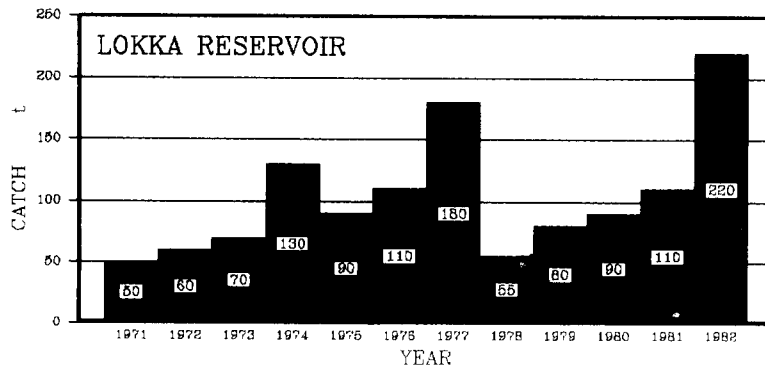


Fig. 6

Les pêches (t) dans les retenues de Lokka et de Porttipahta entre 1971 et 1982.

The fish catches (t) in Lokka and Porttipahta in 1971-1982.

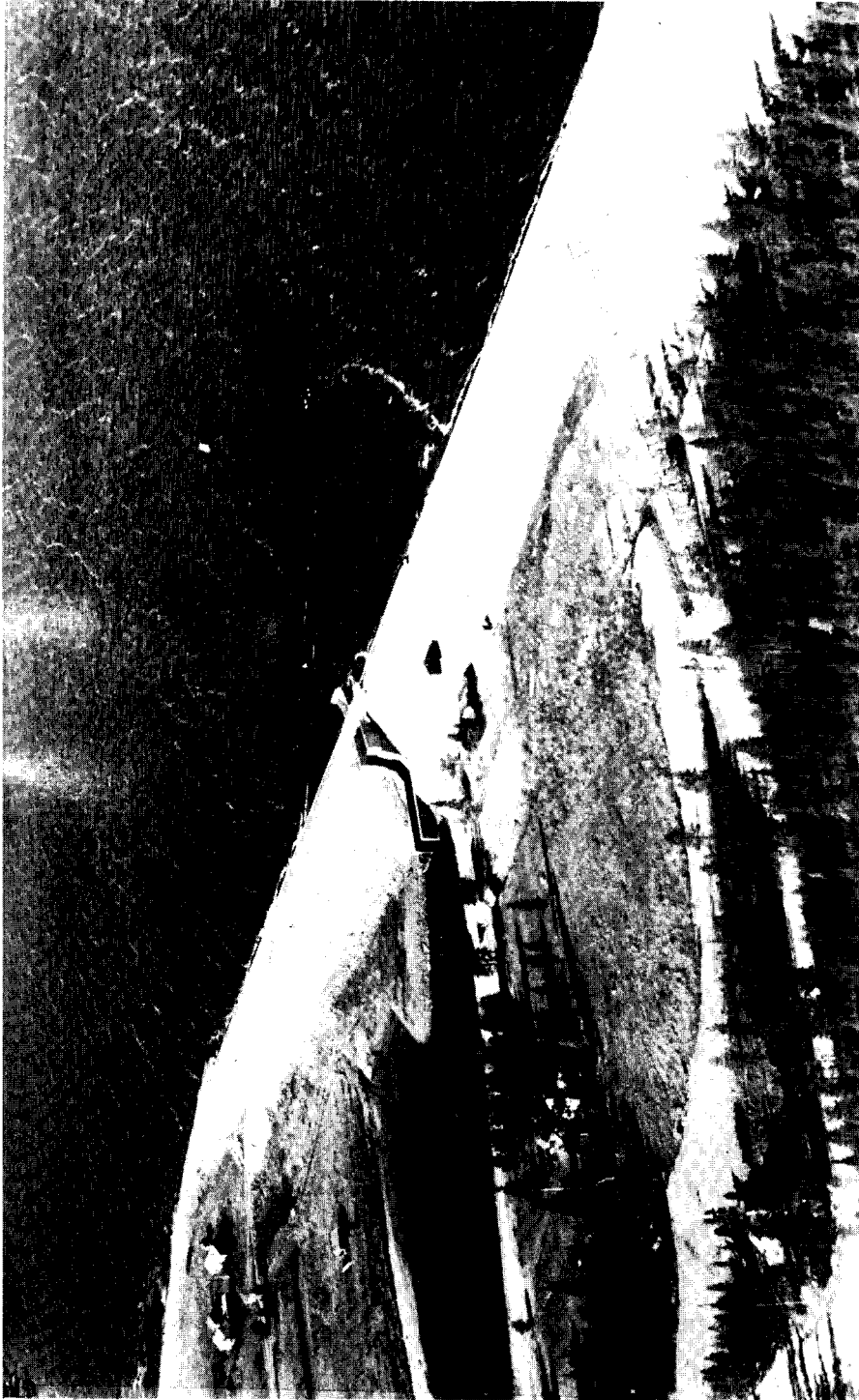


Photo A : Le barrage de Lokka, sous le soleil, en été.
Photograph A : The Lokka dam in summer sunshine.



Photo C : Pêcheurs professionnels manipulant leurs prises.
Photograph C : Professional fishermen handling their catch.

Photo D : Pêche sur la retenue de Lokka, au printemps. Les espèces de poissons sont le gardon et le brochet.
Photograph D : Springtime fishing on Lokka. The fish species are roach and pike.





Photo B : Petites plaques de tourbe flottant sur la retenue de Lokka.
Photograph B : Small peat floats in the Lokka reservoir.

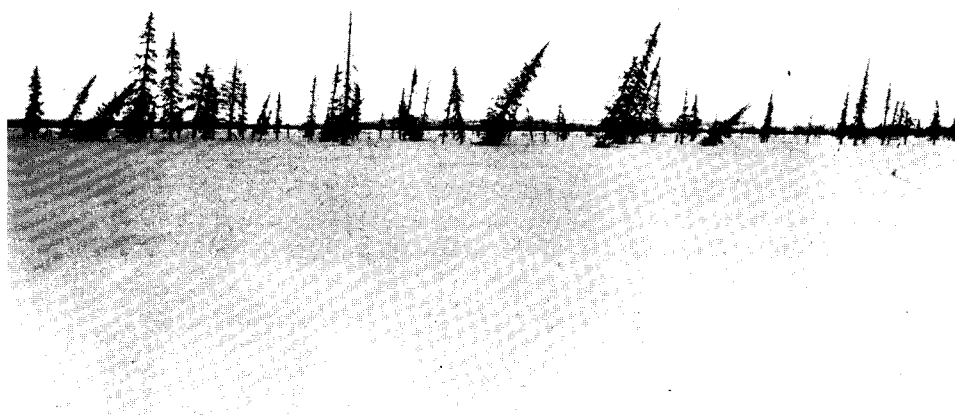


Photo E : Arbres restés dans la retenue de Lokka.
Photograph E : Forest left behind in the Lokka reservoir.

3. LE BARRAGE DE SUORVA (Suède) (*)

1. L'AMÉNAGEMENT ET SON IMPORTANCE

1.1. Situation

Suorva est la deuxième retenue de Suède par son volume et a été créée uniquement pour la production d'énergie électrique.

La retenue est située sur la rivière Lule, au nord de la Suède, dans une région montagneuse proche de la frontière norvégienne (Fig. 1). La retenue dont la cote est à 453 m au-dessus du niveau de la mer a été créée au moyen de barrages surélevant un certain nombre de lacs naturels plus petits. La région est sauvage. Avant la construction du barrage, il n'y avait ni routes, ni habitations permanentes. Pendant des centaines d'années, des Lapons (1) ont établi leurs camps, en été, près des lacs et ont vécu de l'élevage de rennes, de la chasse et de la pêche. Avant la construction du barrage, il y avait très peu de tourisme.

1.2. Étapes de construction

La rivière Lule est la plus importante source d'énergie hydroélectrique de Suède. La rivière a un débit élevé, une forte pente sur une grande partie de sa longueur et offre de grandes possibilités de régularisation (Fig. 2 : profil en long de la rivière). En Suède, il est nécessaire d'utiliser des retenues d'accumulation annuelle pour régulariser les débits sur les rivières aménagées, du fait que les apports se présentent principalement au printemps et en été, et très peu en hiver où la demande d'électricité est la plus forte.

La rivière Lule comprend deux branches principales (la Grande Lule et la Petite Lule). Dans les pages suivantes, le nom Lule désignera la Grande Lule, sauf indication contraire.

Le premier aménagement hydroélectrique construit sur la rivière date du début des années 1910; les travaux d'équipement se sont poursuivis jusqu'à ce jour (Fig. 3). L'aménagement des deux branches de la rivière est indiqué dans le tableau ci-après.

(*) Par Bo Sten.

(1) Peuple nomade vivant dans le nord de la Suède, de la Norvège, de la Finlande et de l'URSS.

3. THE SUORVA DAM (Sweden) (*)

1. THE PROJECT AND ITS SIGNIFICANCE

1.1. Location

The Suorva Reservoir is the second largest storage reservoir in Sweden and has been created solely for the production of electric power.

It is located on the Lule River in the northernmost part of Sweden in a mountainous area close to the Norwegian border (Fig. 1). The reservoir, which lies 453 m above sea level, was created by the damming of a number of smaller source-lakes. The area is wilderness country. Before the construction of the dam there were no roads, nor were there any permanent inhabitants. For hundreds of years the Lapps (1) have had their summer camps beside the lakes and have lived by herding reindeer, hunting and fishing. Before the construction of the dam there was very little tourism.

1.2. Construction phases

The Lule River is Sweden's most important source of hydroelectric power. The river has a large flow capacity, falls relatively steeply through much of its length and offers good opportunities for regulation (Fig. 2). In Sweden it is necessary to use annual storage reservoirs to regulate the flow of water in developed rivers since the supply of water mainly arrives in the spring and summer and only to a small extent during the winter, when the need for electric power is at a maximum.

The Lule River consists of two principal branches (Greater and Lesser Lule River). In the following pages, the name Lule River will be used to mean Greater Lule River unless otherwise stated.

The first hydroelectric development work on the river was done as early as the 1910s, and work has continued up until the present day (Fig. 3). The development of the two branches of the river can be seen in the following table.

(*) By Bo Sten.

(1) A nomadic people living in the northern part of Sweden, Norway, Finland and the USSR.

| Usines (MW) | | | Régularisation (hm ³) | | | |
|-------------|-------------|-------------|-----------------------------------|-------------|-------------|--------|
| Année | Petite Lule | Grande Lule | Total | Petite Lule | Grande Lule | Total |
| 1920 | - | 58 | 58 | — | 190 | 190 |
| 1930 | - | 71 | 71 | — | 1 210 | 1 210 |
| 1940 | — | 85 | 85 | — | 1 210 | 1 210 |
| 1950 | - | 140 | 140 | — | 2 940 | 2 940 |
| 1960 | — | 630 | 630 | — | 2 950 | 2 950 |
| 1970 | 690 | 1 235 | 1 925 | 2 170 | 4 240 | 6 410 |
| 1980 | 915 | 2 115 | 3 030 | 2 310 | 8 320 | 10 630 |
| 1986 | 915 | 3 275 | 4 190 | 2 340 | 8 430 | 10 770 |

Comme indiqué précédemment, il est nécessaire de régulariser les débits en vue d'adapter la production d'énergie à la demande. La première régularisation de la rivière fut réalisée à Lulejaure, retenue située à l'aval de Suorva (Fig. 3), mais le premier ouvrage de régularisation de Suorva fut exécuté dès les années 1920.

SUORVA

| Étape | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|---------|---------|---------|---------|
| Année de construction | 1919-27 | 1937-41 | 1942-44 | 1966-72 |
| Mise en service | 1927 | 1939 | 1944 | 1972 |
| Hauteur de régularisation (m) (amplitude de marnage de la retenue) | 8,5 | 15,3 | 18,5 | 30,0 |
| Réserve utile (hm ³) | 1 000 | 2 200 | 2 750 | 5 900 |
| Facteur de régularisation | 20 | 45 | 57 | 123 |

Le bassin versant au droit du barrage est de 4 680 km² (1 810 milles carrés).

Toutes les étapes ont nécessité la construction de barrages. Bien que la réserve utile ait été multipliée par cinq, la surface submergée n'est passée que de 160 km² à 270 km². Au niveau minimal, la surface de retenue est de 100 km².

Ainsi que le tableau le montre, Suorva est maintenant une retenue interannuelle. Au cours de chaque année, 1/2 à 1/3 seulement de la hauteur de régularisation est normalement utilisé.

Pour l'étape 1, les barrages exécutés étaient du type voûtes multiples, en béton armé, du fait, en partie, d'un manque de matériaux de remblai de qualité convenable. Pour les étapes 2 et 3, le même type de barrage en béton fut construit par-dessus. Dès l'étape 4, un nouveau barrage, du type en enrochement, avec noyau d'étanchéité en moraine, fut construit immédiatement à l'aval de l'ancien barrage en béton. Ce barrage a une longueur en crête de 1 370 m et une hauteur maximale au-dessus du bedrock de 67 m.

| Year | Power stations (MW) | | | Regulation (hm ³) | | |
|------------|---------------------|---------------|-------|-------------------------------|---------------|-------------|
| | Lesser river | Greater river | Total | Lesser river | Greater river | Total river |
| 1920 | — | 58 | 58 | — | 190 | 190 |
| 1930 | — | 71 | 71 | — | 1 210 | 1 210 |
| 1940 | — | 85 | 85 | — | 1 210 | 1 210 |
| 1950 | — | 140 | 140 | — | 2 940 | 2 940 |
| 1960 | — | 630 | 630 | — | 2 950 | 2 950 |
| 1970 | 690 | 1 235 | 1 925 | 2 170 | 4 240 | 6 410 |
| 1980 | 915 | 2 115 | 3 030 | 2 310 | 8 320 | 10 630 |
| 1986 | 915 | 3 275 | 4 190 | 2 340 | 8 430 | 10 770 |

As stated above it is necessary to regulate the flow of water in order to adapt power production to meet the need. The first regulation in the river was done in Lulejaure, a lake downstream from Suorva (Fig. 3), but the first Suorva regulation was done as early as the 1920s.

SUORVA

| Phase | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|---------|---------|---------|---------|
| Year of construction | 1919-27 | 1937-41 | 1942-44 | 1966-72 |
| In operation | 1927 | 1939 | 1944 | 1972 |
| Regulation height, m | 8.5 | 15.3 | 18.5 | 30.0 |
| Active storage, 10 ⁶ m ³ | 1 000 | 2 200 | 2 750 | 5 900 |
| Regulation factor | 20 | 45 | 57 | 123 |

The catchment area above the dam is 4 680 km² (1 810 square miles).

All phases have involved damming. In spite of a fivefold increase of actual storage the area covered by the reservoir has increased relatively little, from 160 km² to 270 km². At the lower limit the area of the lake is 100 km².

As can be seen from the table, the Suorva reservoir is now a year-to-year reservoir. During any one year only 1/2 to 2/3 of the regulation height is normally used.

For phase 1, the dams were constructed as multispan arch dams of reinforced concrete, this partly because of a lack of filling materials of a suitable nature. For phases 2 and 3, the original concrete dam was built upon. In phase 4, a new, modern rock-filled dam with impervious moraine at the core was built immediately downstream from the old concrete dam. The crest length of the dam is 1 370 m, and the maximum height above bedrock 67 m.

1.3. Problèmes survenus pendant la construction et conditions d'accès.

Les travaux de construction de la première étape, qui commencèrent en 1919, représentaient une œuvre de pionnier. Il s'agissait de mener à terme des travaux dans une région sauvage, à 100 km de l'agglomération la plus proche desservie par route (Porjus), et dans des conditions climatiques très difficiles sur une partie de l'année.

La main-d'œuvre comprenait 400 hommes environ. Leurs habitations étaient primitives. Au cours de l'hiver, les transports se faisaient sur les lacs glacés, principalement avec des chevaux. En été, les personnes et les matériaux étaient transportés par bateau sur les lacs et au-delà des rapides en utilisant des moyens de transport spécialement créés. De temps à autre, des liaisons aériennes régulières étaient établies.

Lorsque la phase 4 commença, on construisit une route d'accès de 90 km de longueur, allant de Porjus à Suorva (Fig. 3). Elle a été prolongée, depuis, par une route de 40 km jusqu'à Ritsem, lors de la construction d'une usine à cet endroit.

1.4. Importance du barrage de Suorva

Les premiers projets d'aménagement hydroélectrique sur la rivière Lule étaient de portée limitée et visaient à répondre à la demande locale, en énergie, de l'industrie, des chemins de fer et des collectivités. Du fait du développement rapide dans la région des lignes de transport d'énergie, la rivière Lule, à la fin des années 1930, occupait déjà une place importante dans la fourniture d'énergie à tout le pays.

Aujourd'hui, la rivière Lule tient la première place pour la production d'énergie électrique, en Suède; sa production annuelle est de l'ordre de 15 TWh, soit environ 25 % de la production hydroélectrique totale suédoise (et 12 % de la production totale d'électricité).

Actuellement, la production d'électricité en Suède est d'origine hydraulique et d'origine nucléaire (de l'ordre de 50 % pour chacune). En raison de conditions favorables, le prix de l'électricité, en Suède, est parmi les plus bas du monde; la rivière Lule et le barrage de Suorva y ont grandement contribué.

Suorva est la deuxième retenue de Suède par son volume, la plus grande étant Vänern (9 400 hm³). Mais la dénivellation entre le réservoir et la mer est 10 fois plus importante à Suorva qu'à Vänern. C'est pourquoi, l'énergie stockée dans la retenue de Suorva est 6 fois plus importante que dans celle de Vänern.

La possibilité d'utiliser Suorva comme retenue interannuelle lui donne encore plus de valeur.

2. EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT

2.1. Généralités

Suorva est l'une des plus grandes retenues de régularisation en Suède et fait l'objet également d'une exploitation très rigoureuse. Avec une variation du niveau d'eau atteignant 30 m et une variation de la surface du plan d'eau entre un maximum de 270 km² et 100 km², la retenue devait avoir inévitablement des effets importants et divers sur l'environnement.



Photo A - Aménagement de Wallsee-Mitterkirchen sur le Danube.
 Usine - évacuateur de crue - écluse à double sas. Sur la gauche, bras mort préexistant.
Wallsee-Mitterkirchen power scheme on the Danube.
Powerhouse - spillway - twin locks. Pre-existing dead branch to the left.
The power scheme was constructed in a dry construction pit.



Photo B - Le canal de Giessgang près de Greifenstein, section déversante.
Giessgang near Greifenstein, overflow section.



Photo C - Migration de rennes.
Migrating reindeer (Suorva Dam).

Photo D - Pêche au filet.
Net fishing (Suorva Dam).

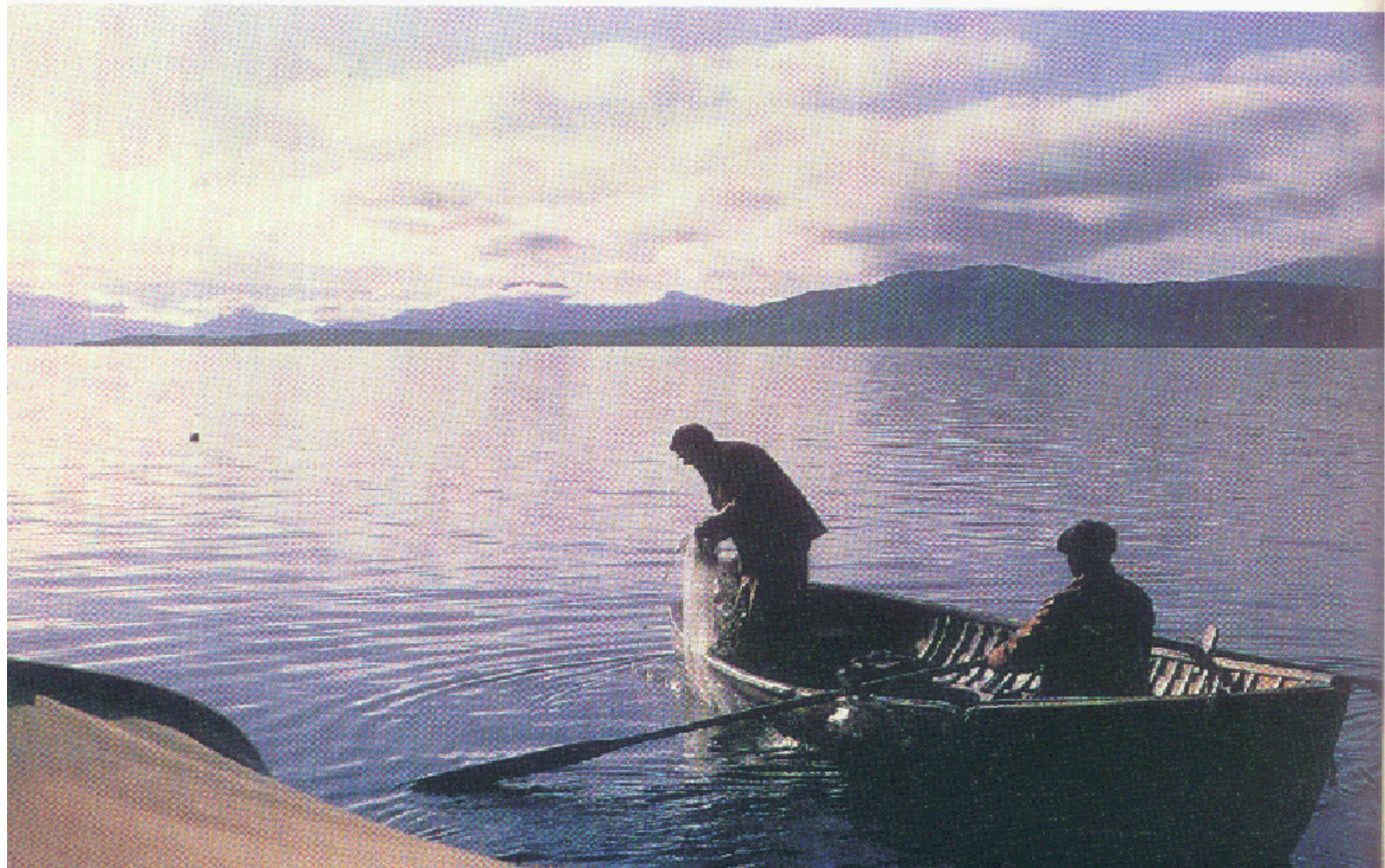




Photo E - Parcage de rennes.
Round-up (Suorva Dam).

Photo F - Enclos d'abattage de rennes.
Slaughter of reindeer (Suorva Dam).



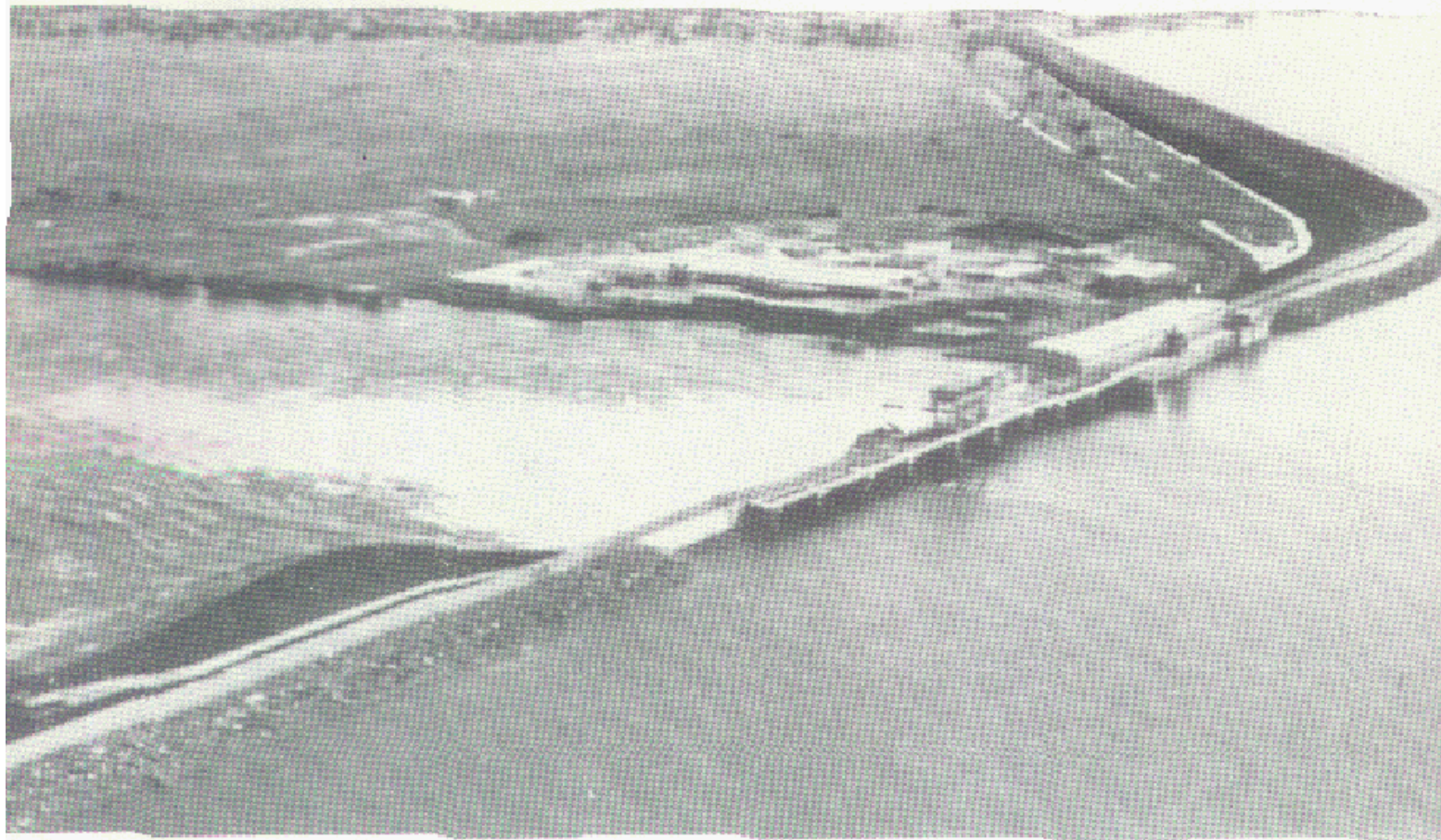


Photo G - Barrage de Selingué (Mali).
Vue d'ensemble - *Overall view.*

Photo H - *Selingué Dam (Mali).*
Évacuateur de crue - *Spillway.*



1.3. Problems during construction and transport conditions

The construction works for the first phase, which was commenced in 1919, were in very large part pioneering in nature. The problem was to complete comprehensive construction work in wilderness country 100 km from the closest community having a road (Porjus) and under seasonally very difficult climatic conditions.

The workforce comprised about 400 men. Their dwellings were primitive. During the winter, transportation was across the ice of the frozen lakes, mainly with horses. In the summer people and materials were transported by boat upstream across the lakes and past the rapids using specially created transportation systems. At times regular air links were established.

When phase 4 was started, an access road 90 km in length running from Porjus to Suorva was constructed (Fig. 3). This has since been extended by 40 km up to Ritsem during the construction of a power station there.

1.4. The importance of the Suorva Dam

The original plans for the utilization of hydroelectric power in the Lule River were limited in scope and were intended to supply local demand for industry, railways and communities. Because of rapid developments in the area of power transmission Lule River had by the end of the 1930s already assumed a position of importance for power supply to the entire country.

Now Lule River is the river which makes the greatest contribution to electric power supply in Sweden. Annual production is about 15 TWh, which is about 25 % of Sweden's entire hydroelectric power production (about 12 % of all electric power production).

Sweden's electric power production is today based on hydroelectric power and nuclear power (about 50 % of each). Because of favourable conditions, the price of electric power in Sweden is among the lowest in the world. Lule River and the Suorva Dam have contributed greatly to this.

Suorva is Sweden's second largest storage reservoir. Lake Vänern is larger (9 400 hm³), but the drop between Suorva and the sea is ten times as great as below Lake Vänern. The energy content when the reservoir is filled is therefore six times as great in Suorva as in Lake Vänern.

The possibility of using Suorva as a year-to-year reservoir makes it even more valuable.

2. ENVIRONMENTAL IMPACT

2.1. General

The Suorva reservoir is one of the largest regulating reservoirs in Sweden. It is also one of the most severely regulated. With a height of up to 30 m and with a variation in surface area between a maximum 270 and 100 km², it has proved inevitable that the reservoir has had considerable impact on the environment in various ways.

Mais, en raison de sa situation dans une région semi-arctique au climat froid et humide, ne présentant pas de pointes extrêmes, Suorva est soustrait aux nombreux problèmes posés par les retenues situées sous des climats plus chauds. Les problèmes d'érosion sont d'ordre mineur, il n'y a pas de sédimentation, ni de croissance rapide de végétation aquatique, ni de maladie d'origine hydrique, etc.

Par contre, on a craint que les aménagements hydroélectriques n'affectent l'élevage des rennes et la pêche et ne fassent ainsi disparaître les conditions économiques permettant l'existence de deux villages lapons de la région. On a pensé également que la présence de grands barrages et la baisse périodique du niveau de retenue modifieraient tellement le paysage que les touristes rechercheraient d'autres itinéraires dans les montagnes.

Lorsque la Cour des Droits d'Eau (Water Right Court) fut saisie de la demande de permis de construire pour l'étape 1, les effets nuisibles sur l'environnement étaient considérés comme peu importants. Cependant, il était indiqué que la régularisation de la rivière provoquait un tel changement du milieu naturel que la zone concernée fut exclue d'un parc national récemment créé qui contenait une magnifique chute d'eau, Stora Sjöfallet, située à l'exutoire vers Kartjejaure, lac le plus proche à l'aval de Suorva. Les phases ultérieures d'aménagement ont entraîné la disparition totale de la chute d'eau. Les organisations de protection de la nature en Suède considèrent que c'est le préjudice le plus important causé par les aménagements hydroélectriques sur le cours supérieur de la rivière Lule.

Une étude pluridisciplinaire, scientifique et ethnographique, fut exécutée avant les travaux de l'étape 1. Le propriétaire de la retenue, Swedish State Power Board, fut chargé de construire et d'entretenir une pisciculture, et de payer des études sur les effets de l'aménagement hydroélectrique sur la pêche. Des mesures furent prises pour protéger les intérêts des Lapons. L'effet de l'amortissement des crues de printemps dans la retenue sur le transport du bois par la rivière à l'aval des retenues était également une préoccupation. Cela conduisit à établir une réglementation spéciale.

Aucun déboisement ni débroussaillage ne furent effectués sur les rives devant être submergées dans l'étape 1, et les arbres et buissons restèrent dans l'eau après la mise en eau de la retenue. Pour les étapes ultérieures d'aménagement, on ne fit qu'un nettoyage limité du sol. Cela fut fortement critiqué. La pêche au filet était rendue plus difficile, et la vue d'arbres morts dans l'eau et de souches flottantes avaient un effet néfaste. A partir de l'étape 4, un ensemble de mesures a été pris. Les rives affectées par le marnage ont été nettoyées sur toute leur longueur. Les arbres et les buissons ont été enlevés. Toutefois, on a laissé les souches des arbres pour empêcher l'érosion du sol. Quand on arrive à les déraciner, elles sont rassemblées et brûlées.

Conformément à la loi suédoise, tous dommages ont fait l'objet de mesures destinées à y parer, ou d'indemnités.

Même si la retenue de Suorva a causé des dommages et un certain trouble aux habitants, c'est-à-dire à deux villages lapons, elle a apporté aussi des bienfaits à la région. Le plus important est la route d'accès (photo 3). Celle-ci a rendu plus faciles le transport et la migration des Lapons. D'autres mesures généralement bénéfiques aux Lapons et aux touristes ont été également prises. Les chapitres suivants rendent compte du développement de l'élevage de rennes, de la pêche et du tourisme, depuis l'étape 1 jusqu'à ce jour. On y indique à la fois les effets positifs et les effets négatifs qui ont influencé ce développement.

But, thanks to its location in a semi-arctic region with a cool, humid climate lacking in extremes, Suorva is spared many difficulties familiar to reservoirs under warmer skies. There are only minor erosion problems, no sedimentation, no fast-growing aquatic vegetation and no water-borne diseases, etc.

Instead there have been fears that the hydroelectric power schemes would affect reindeer husbandry and fishing so much that the economic conditions for the continued existence of two Lapp villages within the area would disappear. It was also felt that the altered nature of the landscape with large dams and the periodically drawdown reservoir might have such a negative effect that tourists would seek other routes into the mountains.

When the permit for phase 1 was being tried before the Water Rights Court, the environmental damage was assessed as being small. It was stated, however, that the regulation of the river represented such an alteration in the natural surroundings that the area affected was removed from a recently formed national park which included a beautiful waterfall, Stora Sjöfallet, situated in the outlet to Kartjejaure, the nearest lake downstream from Suorva. With the continued expansion phases, this waterfall has now completely disappeared. The nature conservation organizations in Sweden consider this to be the greatest damage done by the hydroelectric power schemes in the upper Lule River.

A multi-disciplinary scientific and ethnographic study was carried out before phase 1 was implemented. The owner of the reservoir, the Swedish State Power Board, was instructed to build and maintain a fish breeding station and to pay for studies of the effects of the development on fishing. Certain measures were taken to protect the interests of the Lapps. There was also concern about how the timber transportation in the river downstream from the lakes would be affected by the spring floods being dammed up in the reservoir. Special regulations were therefore laid down to protect this interest.

No ground-clearing work was done on the shores which were to be flooded in phase 1, and trees and bushes stood under water after the damming. During the subsequent expansion phases only limited ground clearance was done. There was strong criticism of this. Fishing with nets was made more difficult, and the sight of dead trees in the water and floating stumps was negative. From and including phase 4, comprehensive measures have now been taken. The entire shoreline affected by the regulation has been cleared. Trees and bushes have been removed. However, the tree-stumps have been left to prevent erosion of the ground. When they do happen to be pulled loose, they are collected and burnt.

All damage has been compensated in accordance with Swedish Law by means of measures aimed at avoiding such damage, or by money compensation.

Even if the Suorva reservoir has caused damage and discomfort for the inhabitants, i.e. the two Lapp villages, it has also brought positive values to the area. The most significant of these is the access road. Thanks to this transportation and migration have been made much easier for the Lapps. Other measures have also been taken which have generally been beneficial to the Lapps and the tourists. The following sections contain an account of the developments for reindeer husbandry, fishing and tourism from the time before phase 1 until the present day. This account deals with both positive and negative effects which have influenced this development.

2.2. Le barrage de Suorva et l'élevage des rennes

Avant les aménagements hydroélectriques, la région autour de Suorva était sauvage, avec seulement la venue, en été, des Lapons qui possèdent des pâturages dans les zones montagneuses.

Les rennes broutent en été, en altitude, dans les zones montagneuses proches de la frontière norvégienne; ils redescendent, en automne, vers les forêts centrales de l'est, le long des rivières et, parfois jusqu'à la côte du Golfe de Bothnie; pendant l'hiver, ils trouvent leur nourriture dans la région orientale puis retournent à la montagne au printemps (photo couleur C).

Les Lapons possèdent des droits séculaires pour l'élevage des rennes, la chasse et la pêche, dans les pâturages de montagnes. Ils suivent la migration des rennes. En été, les Lapons des villages de Sirkas et de Sörkaitum ont leurs résidences à Suorva. Ensemble, ils sont 130 familles représentant quelque 350 Lapons. Aujourd'hui, ces familles possèdent 25 000 rennes environ.

La retenue de Suorva a entraîné la perte de pâturages, des difficultés de circulation sur la glace, et a eu des effets sur les installations, sur les résidences et sur le trafic par bateau.

Du côté positif, comme indiqué précédemment, la création de diverses routes a facilité le transport des approvisionnements et des personnes, des animaux et de la viande.

Les nouvelles routes ont également permis d'établir des installations d'abattage dans les zones de pâturages d'automne; on a ainsi évité la perte d'animaux et la perte de poids pendant la migration vers les pâturages d'hiver.

Des clôtures ont été installées afin de réduire la surveillance et de permettre une meilleure utilisation des ressources des pâturages. Dans la région de la rivière Lule, Swedish State Power Board (SSPB) a installé, au total, 350 km de clôtures. Des enclos d'abattage et des parcages (photos couleurs E et F), des chalets, des ponts et d'autres ouvrages du même genre ont été également construits ou financés par SSPB.

Pour le village lapon de Sirkas qui a souffert le plus des aménagements hydroélectriques, les installations suivantes ont été exécutées jusqu'à 1971.

Installations dans le village lapon de Sirkas et sources de financement :

| Financé par | Clôtures | Enclos de travail | Huttes pour gardiens de rennes | Enclos d'abattage | Routes | Voies de migration | Ponts |
|------------------------|----------|-------------------|--------------------------------|-------------------|--------|--------------------|--------|
| | km | Nombre | Nombre | Nombre | km | km | Nombre |
| Le village lapon | | 3 | 1 | — | — | 198 | — |
| Les fonds lapons | 5,6 | 7 | 5 | 1 | — | 54 | 2 |
| Indemnités | 10,4 | — | — | — | 4,25 | — | — |
| SSPB | 160,5 | 24 | 45 | 6 | 4,25 | 218,2 | 13 |

Suivant une convention, le village lapon de Sirkas a également reçu 4 millions de dollars US pour les dommages et privation de droits. De plus, des indemnités importantes ont été versées au cours des premières années, ainsi que des sommes élevées pour l'organisation de l'élevage des rennes.

2.2. The Suorva Dam and reindeer husbandry

Before the hydroelectric power developments, the area around Suorva was wilderness country, which basically was only visited in the summer by the Lapps who have their summer grazing land in the mountain areas.

The reindeer graze during the summers high up in the mountain regions close to the Norwegian border and migrate in the autumn eastwards down to the midland forests along the rivers, and sometimes as far as to the coast of the Gulf of Bothnia. During the winter they find their food in the eastern region, and then turn back to the mountains in the spring (colour photo C).

The Lapps have first-hand rights to reindeer grazing, hunting and fishing on the mountain grazing lands. They follow the migration of the reindeer. In the summer, the Lapp villages of Sirkas and Sörkaitum have their dwellings at Suorva. Altogether there are 130 families, and about 350 Lapps. At present, the total number of reindeer owned by these families is about 25 000.

The Suorva Reservoir has caused loss of reindeer grazing land, difficulties in movement across the ice, effects on installations, on dwellings and on boat traffic.

On the positive side, as mentioned earlier, is the creation of different roads which have facilitated the transportation of supplies and people, and of animals and meat for sale.

New roads have also made it possible to set up slaughtering plants in the autumn grazing lands. This has meant the avoidance of loss of animals and loss of weight during the migration to the winter grazing lands.

Fences have been erected over long stretches to reduce the need of supervision and to make possible more effective utilization of grazing resources. In the Lule River area the Swedish State Power Board (SSPB) has erected a total of 350 km of fence. Slaughter and round-up pens (color photos E, F), cottages, bridges, and the like have also been built or financed by SSPB.

For the Lapp village of Sirkas, which has suffered the most from the hydroelectric power developments, the following installations had been completed up until 1971.

Installations within Sirkas Lapp village and who has financed them :

| Financed by | Fence km | Work pens number | Huts for reindeer herdsmen number | Slaughter- ing pens number | Roads km | Migration trails km | Bridges number |
|------------------------|-------------|------------------------|--|----------------------------------|-------------|---------------------------|-------------------|
| The Lapp village | — | 3 | 1 | — | — | 198 | — |
| The Lapp fund | 5.6 | 7 | 5 | 1 | — | 54 | 2 |
| Dole work | 10.4 | — | — | — | 4.25 | — | — |
| SSPB | 160.5 | 24 | 45 | 6 | 4.25 | 218.2 | 13 |

Through an agreement, Sirkas Lapp village has also received US \$ 4 million for damage and encroachment. In addition there have been significant sums in compensation in earlier years and for the rationalization of reindeer husbandry.

L'importance du troupeau de rennes dépend, normalement, de la surface des pâturages d'hiver disponibles. Du fait que ceux-ci ont été très peu affectés par les aménagements hydroélectriques, aucune limitation n'a été directement apportée au nombre de rennes.

Un des principaux problèmes concernant l'élevage de rennes est le gel des pâturages et la formation d'une croûte. Certaines années, de grandes surfaces sont gelées mais cela n'est pas lié au développement des aménagements hydroélectriques.

Une étude du Gouvernement, en 1966, a porté sur les conditions d'élevage des rennes à Suorva, comparativement à d'autres lieux; on put ainsi établir que les mesures techniques et autres dispositions prises pour prévenir les dommages et nuisances causés par la régularisation de l'eau permettaient de recréer les conditions nécessaires au maintien de l'économie lapone. Selon l'étude, les aménagements hydroélectriques ne conduisent pas, en règle générale, à une réduction de l'élevage des rennes. Cependant, les coûts d'exploitation peuvent augmenter. Dans le cas d'une très grande régularisation des retenues (par exemple, Suorva), l'augmentation des coûts peut être assez importante pour avoir des effets sensibles sur l'économie d'exploitation. On a prouvé qu'il était possible de prévenir ou de compenser de différentes façons, par exemple au moyen d'indemnités, les difficultés susceptibles de se présenter, comme dans le cas de la migration des rennes. La prévention des dommages et les mesures d'indemnisation remplissaient généralement leurs objectifs, selon l'étude.

Le nombre actuel de rennes traduit la possibilité d'élever un nombre certain de rennes, dans un village lapon, sur une longue période. Il serait possible de prendre en compte le nombre réel de rennes sur une plus longue période pour montrer si les villages touchés par les aménagements hydroélectriques se sont moins développés que d'autres villages, étant donné la perte de pâturages et autre privation de droits.

Sur le graphique de la figure 4, les villages lapons dans la région de Suorva, qui ont été particulièrement affectés par les aménagements hydroélectriques — Sirkas, Sörkaitum et, à un certain degré, Mellanbyn — sont comparés aux villages qui ne l'ont pas été — Laevas et Norrkaitum. L'évolution du nombre de rennes dans les villages concernés par les aménagements n'est pas plus mauvaise que dans les villages voisins.

L'amélioration des communications et le développement des services font que les Lapons restent maintenant, dans une certaine mesure, dans la région de Suorva, même en hiver.

2.3. Le barrage de Suorva et la pêche

La première retenue a été créée au moyen de barrages surélevant un certain nombre de petits lacs. Les lacs supérieurs contenaient des ombles chevaliers arctiques (*Salvelinus alpinus*) et des truites saumonées (*Salmo trutta*). Dans les lacs inférieurs, le poisson à chair blanche (*Coregonus lavaretus*) prédominait. Les Lapons pêchaient dans les lacs, au moyen de filets de fond, pour leurs propres besoins. Ils salaient aussi les poissons pour la consommation d'hiver. Le commerce de poisson n'existait guère.

L'endiguement des lacs fit que le poisson à chair blanche prit possession de ceux-ci. Toutefois, dans la partie supérieure de la retenue, l'omble chevalier arctique a toujours constitué une grande partie de la population de poissons.

The size of the reindeer herd is normally governed by the availability of winter grazing. Since the loss of winter grazing due to the hydroelectric power developments is relatively small, this creates no direct limitation of the number of reindeer which can be kept.

One of the principal problems for reindeer husbandry is the freezing over of grazing land and crust formation. In some years large areas are frozen over and this has no connection with the expansion of hydroelectric power.

A government study carried out in 1966 looked into the conditions for reindeer husbandry at Suorva, amongst other places, and was able to state that the measures taken to prevent damage and nuisance caused by the water regulation had shown how it was possible by means of technical solutions and other arrangements to recreate the necessary conditions for the Lapp economy to remain unchanged. According to the study, hydroelectric power projects need not as a rule lead to reduced production within reindeer husbandry. However, the operating costs can increase. Only in the case of major regulation of lakes (e.g. Suorva) can the increase in costs be large enough to have significant effect on operating economy. It has proven possible to prevent or compensate in different ways, for example through money compensation, for the increased difficulties encountered, for instance in migrating with the reindeer. Damage prevention and compensation measures generally fulfilled their purpose according to the study.

The actual number of reindeer can be said to mirror the possibilities of maintaining a certain number of reindeer in a Lapp village in the long term. It should be possible to use the actual number of reindeer over a longer period of time to show whether villages affected by hydroelectric power schemes have developed less positively than other villages, given the loss of grazing and other encroachment.

In the diagram (Fig. 4) the Lapp villages in the Suorva area which have been greatly affected by hydroelectric power schemes — Sirkas, Sörkaitum and to some extent Mellanbyn — are compared with neighbouring villages which have not been affected — Laevas and Norrkaitum. Development in the villages affected by the schemes is no worse than in the neighbouring villages.

The improved communications and expanded services mean that the Lapps to some extent now remain in the Suorva area even during the winter.

2.3. The Suorva Dam and fishing

The first storage reservoir was formed by the damming of a number of small lakes. The upper lakes contained arctic char (*Salvelinus alpinus*) and brown trout (*Salmo trutta*). In the lower lakes, whitefish (*Coregonus lavaretus*) was dominant. The Lapps used the lakes for their domestic fishing using bottom nets. They also salted fish for winter consumption. There was hardly any commerce in fish.

The damming of the lakes meant that the whitefish took over. However, in the upper part of the reservoir arctic char has always formed a large part of the fish population.

Les rives submergées contribuèrent à une nouvelle nutrition, ce qui a conduit à d'excellentes pêches dans les premières années suivant l'achèvement de chaque phase.

Progressivement, l'assèchement répété, en hiver, des zones de retenue peu profondes entraîna la disparition d'une grande quantité d'organismes ayant de l'importance pour la nourriture des poissons au fond des lacs.

La truite saumonée fut particulièrement affectée par cette disparition, de même que l'omble chevalier arctique et le poisson à chair blanche qui se nourrissent au fond des lacs. Ces derniers réagirent mieux à ce changement et demeurent toujours en grandes quantités. Les poissons de Suorva sont de bonne qualité. Il y a eu une grande activité commerciale dans le domaine de la pêche depuis les années 1940. En Suède, l'omble chevalier arctique est environ 4 fois plus cher que le poisson à chair blanche. La tendance à une augmentation de la proportion de poissons à chair blanche, que l'on a observée après l'achèvement des premières étapes, était donc un désavantage.

Les rives devant être submergées n'ayant pas été nettoyées au cours des premières étapes, cela entraîna beaucoup de dégâts aux filets. Des indemnités spéciales furent versées pour des dégâts et pour les réparations, mais, de toute façon, la pêche était plus difficile. Avec la construction du barrage de l'étape 4, la plupart des îles, rochers et anses, favorables à l'exercice de la pêche, disparurent. La pêche devait maintenant être pratiquée sur un vaste lac plus découvert, souvent exposé à des vents violents et à des conditions hydrauliques difficiles.

Les graphiques de la figure 5 indiquent l'évolution des pêches à Suorva et dans quelques lacs situés à l'aval, entre 1964 et 1982.

Malgré les dommages et les difficultés de pêche, les prises sont restées à un niveau élevé. Suorva représente 25 % environ de la pêche professionnelle dans la zone montagneuse de la province.

Avant l'étape 1, les prises dans les lacs existant alors étaient de 11 tonnes par an.

Les principaux facteurs expliquant les revenus élevés tirés de la pêche sont probablement les suivants :

- Effets positifs du barrage : Suorva est une retenue interannuelle, où les zones peu profondes peuvent rester hors d'eau pendant plusieurs années. Les organismes nutritifs, qui se reconstituent pendant ces périodes, reviennent dans la retenue quand le niveau d'eau remonte.

- Augmentation de la population de poissons du fait de l'augmentation du volume d'eau.

- Introduction du crustacé à riche pouvoir de nutrition, le *Mysis relicta*, qui a eu, depuis 1976, un effet positif très net sur la qualité de la population des poissons et a entraîné une augmentation de la proportion des ombles chevaliers arctiques dans cette population.

- Amélioration du commerce, résultant des aménagements hydroélectriques : tout d'abord, grâce au transport aérien du poisson au cours des années 1940 et 1950, puis grâce au transport routier lorsque la route d'accès à Suorva fut achevée en 1965, et jusqu'à Ritsem en 1973. Du fait de la baisse des coûts de transport résultant de l'achèvement de ces routes, les Lapons purent retirer un prix plus élevé de 30 % pour leurs poissons.

The flooded shoreline areas contributed new nutrition which led to extremely good fishing in the first years after the completion of each phase.

Gradually the repeated drying-out of the shallow bottoms in the winter meant that large quantities of nutritional animals which are important to the diet of the bottom-feeding fish were wiped out.

The brown trout was particularly affected by this, as were bottom-feeding groups of arctic char and whitefish. Arctic char and whitefish managed the transformation better, and have always been present in good numbers. The fish in Suorva are of good quality. There has been comprehensive commercial fishing since the 1940s. In Sweden, the price of arctic char is about 4 times higher than that of whitefish. The tendency to an increased proportion of whitefish which could be noted after the completion of the earliest phases was in that sense a disadvantage.

The failure to clear the flooded shorelines during the earlier phases meant much damage to nets. Special compensation was paid for this and for the cost of repair, but fishing was made much more difficult. With the damming for phase 4, most of the islands, skerries and bays which could offer protection for fishing disappeared. This now had to be carried out on more open water on a large lake which is often exposed to powerful winds and difficult water conditions.

The development of fishing in Suorva and some lakes situated downstream between 1964-82 can be seen in the appended diagram (Fig. 5).

In spite of damage and fishing difficulties catches have remained at a high level. Suorva answers for about 25 % of all commercial fishing in the mountain area of the province.

The catch before phase 1 in the lakes which existed then comprised 11 tons/year.

The factors which have probably had significance for the high returns are :

- Positive damming effects : Suorva is a year-to-year reservoir, where the shallow bottoms can be dry for several years. The nutrient organisms which are re-established during these periods are returned to the lake when the water-level rises again.

- Increased fish production through increased water volume.

- The introduction of the nutrition-rich shellfish *Mysis relicta* has since 1976 had a clearly positive effect on the quality of the fish population and an increased proportion of arctic char in the population.

- Improved commercial opportunities as a result of the hydroelectric power schemes. First through the air transport of fish during the 1940s and 1950s, then through road transport when the road to Suorva was completed in 1965 and to Ritsem in 1973. As a result of the lower transport costs made possible by the completion of these roads, the Lapps could extract a 30 % higher price for their fish.

— Niveau élevé de la pêche malgré les dommages et les nuisances. Si la pêche avait tenu moins de place, il y aurait eu un risque considérable d'avoir une plus grande population de poissons plus petits et de moindre qualité.

2.4. Le barrage de Suorva et le tourisme

L'Association Suédoise de Tourisme (Svenska Turistföreningen, STF) fut fondée il y a cent ans. Dès 1890 un chalet fut construit près de la chute d'eau de Stora Sjöfallet, mais aucun transport régulier par bateau à moteur ne fut organisé avant 1912, et ensuite ce transport fut de faible envergure et s'établit sur les lacs à l'aval de Suorva.

En 1926, un office du tourisme fut ouvert à Suorva dans les locaux du mess construit pour les travaux de l'étape I, et, peu de temps avant, un transport par bateau à moteur fut organisé sur les lacs Suorva. En 1951, un terrain de camping fut installé à Ritsem et, en 1978, SSPB céda à STF les locaux du mess de Ritsem.

Au cours des années, les itinéraires des bateaux se sont étendus à partir de ceux existant dans les années 1920-1940. De nouveaux bateaux, de plus fort tonnage, furent mis en service et le trafic augmenta (photo couleur D).

L'extension de l'itinéraire de bateaux, de Porjus sur les lacs jusqu'à Ritsem, a été réalisée en étroite collaboration entre STF et SSPB. A toutes les stations de tourisme, SSPB a construit des appontements qui sont réglables verticalement pour suivre les variations des niveaux d'eau. STF a également repris les locaux des mess de SSPB et les a utilisés, à la fin des travaux de construction, pour y installer des offices du tourisme. A Stora Sjöfallet, la municipalité de Gällivare est maintenant responsable de l'office du tourisme.

Les routes s'étant développées, les itinéraires de bateaux ont été supprimés ou leurs longueurs modifiées. Le tourisme est dense le long de la vallée, jusqu'au barrage de Suorva. Les routes permettent l'accès direct aux zones montagneuses et de nombreux amateurs d'escalades les utilisent pour cette raison. L'une d'entre elles, la grande route de Kungsleden, itinéraire de promenade le plus connu et le plus fréquenté en Suède, traverse la retenue de Suorva.

Il est difficile de déterminer la place occupée par le tourisme. Les statistiques sont incomplètes et se recouvrent en partie. La comparaison n'est possible que dans quelques rares cas, mais les graphiques donnent cependant une idée approximative de l'évolution.

Trafic de bateaux sur le Sjöfallsleden (Porjus à Ritsem). Nombre de passagers (moyenne annuelle) :

| | |
|-----------|----------------------|
| Période : | |
| | 1927-29 : 2 920 |
| | 1930-39 : 4 500 |
| | 1940-49 : 16 780 |
| | 1950-59 : 15 940 |
| | 1960-69 : 35 240 (*) |
| | 1970-79 : 21 720 (*) |
| | 1980-84 : 15 110 (*) |

(*) Modifications successives du trafic résultant de l'achèvement de la route. Les statistiques couvrant le trafic touristique par la route ne sont pas disponibles, mais on peut estimer que, par autocars seulement, 10 000 personnes environ sont transportées annuellement vers et depuis Ritsem.

— High level of fishing in spite of damage and nuisance. Had the scope of the fishing been less there would have been considerable risk of a larger fish population of smaller fish of lower quality.

2.4. The Suorva Dam and tourism

The Swedish Tourist Association (Svenska Turistföreningen, STF) was founded a hundred years ago. As early as 1890 a hut was erected by the Stora Sjöfallet but there was no regular motorboat traffic before 1912, and then on a small scale and on the lakes downstream from Suorva.

In 1926 a tourist station was opened in Suorva in the mess buildings for the construction workers for phase I and shortly prior to this motorboat traffic was organized on the Suorva lakes. In 1951 a tented camp was set up in Ritsem and in 1978 STF took over the mess building in Ritsem from SSPB.

Over the years boat routes were expanded from the provisional ones of the 1920s-1940s. New and larger boats were acquired and traffic increased (colour photo D).

The development of the boat route from Porjus on the lakes up to Ritsem has been done in close cooperation between STF and SSPB. Jetties which are vertically adjustable to suit the varying water levels have been constructed by SSPB at all tourist stations. STF has also taken over SSPB's mess buildings and used them as tourist stations when the construction work has been completed. At Stora Sjöfallet, the municipality of Gällivare is now responsible for the tourist station.

As the roads have been extended the boat routes have been closed down or changed in length. There is much tourism along the river valley up to the Suorva Dam. The road makes the mountain area immediately accessible and many fell-walkers use it for that reason. The fell-walkers' highroad (Kungsleden), the most frequented and well-known walking route in Sweden, crosses the Suorva reservoir.

It is difficult to assess the scope of tourism. Statistics are incomplete and partly overlap. There are only limited opportunities for comparison, but the figures do give an approximate idea of what has happened.

Boat traffic on the Sjöfallsleden (Porjus to Ritsem). Number of passengers, average per year.

| | | |
|----------|---------|------------|
| Period : | 1927-29 | 2 920 |
| | 1930-39 | 4 500 |
| | 1940-49 | 16 780 |
| | 1950-59 | 15 940 |
| | 1960-69 | 35 240 (*) |
| | 1970-79 | 21 720 (*) |
| | 1980-84 | 15 110 (*) |

(*) Successive traffic modifications because of the completion of the road. Statistics covering tourist traffic on the road not available, but it is estimated that only by coach about 10 000 people yearly are transported to and from Ritsem.

Nombre de nuitées dans les chalets STF autour de Suorva (moyenne annuelle) :

Période :

1957-59 : 1 680
1960-69 : 3 190
1970-79 : 3 460
1980-84 : 3 000 (*)

Nombre de nuitées dans les stations de montagne STF (Ritsem, Sjöfallet, Porjus) — moyenne annuelle :

Période :

1924-29 : 1 210
1930-39 : 2 370
1940-49 : 9 970
1950-59 : 8 710
1960-69 : 10 480
1970-86 : (**)

Le développement de la retenue de Suorva et des autres aménagements hydroélectriques dans la région n'a pas ralenti la progression du tourisme dans les régions montagneuses.

Références

Les informations présentées dans cette étude proviennent de diverses sources et d'enquêtes de Swedish State Power Board (SSPB) et d'autres organismes nationaux; elles comprennent celles relatives aux délibérations de la Cour des Droits d'Eau.

(*) Statistiques incomplètes depuis 1982.

(**) Statistiques incomplètes.

Number of guest-nights at STF's huts around Suorva, average per year.

Period :

| | |
|---------|-----------|
| 1952-59 | 1 680 |
| 1960-69 | 3 190 |
| 1970-79 | 3 460 |
| 1980-84 | 3 000 (*) |

Number of guest-nights at STF's mountain stations (Ritsem, Saltoluokta, Sjöfallet, Porjus), average per year.

Period :

| | |
|---------|--------|
| 1924-29 | 1 210 |
| 1930-39 | 2 370 |
| 1940-49 | 9 970 |
| 1950-59 | 8 710 |
| 1960-69 | 10 480 |
| 1970-86 | (**) |

The expansion of the Suorva Reservoir and other hydroelectric power schemes in the area have not prevented a significant expansion of the flow of tourists up to the mountains.

References

The material for this study has been gathered from different sources and from investigations by the Swedish State Power Board and other State authorities, partly in connection with the Proceedings in the Water Court.

(*) Statistics incomplete since 1982.

(**) Only incomplete figures are available.

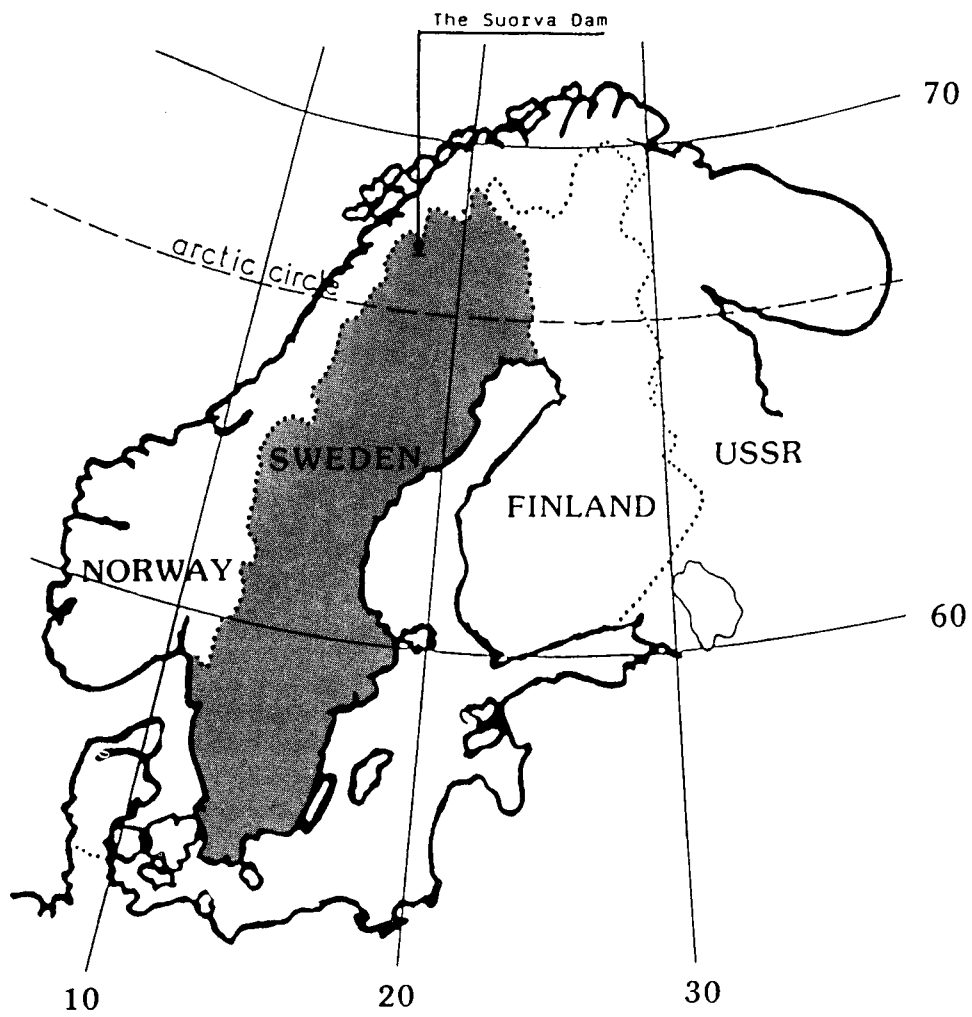
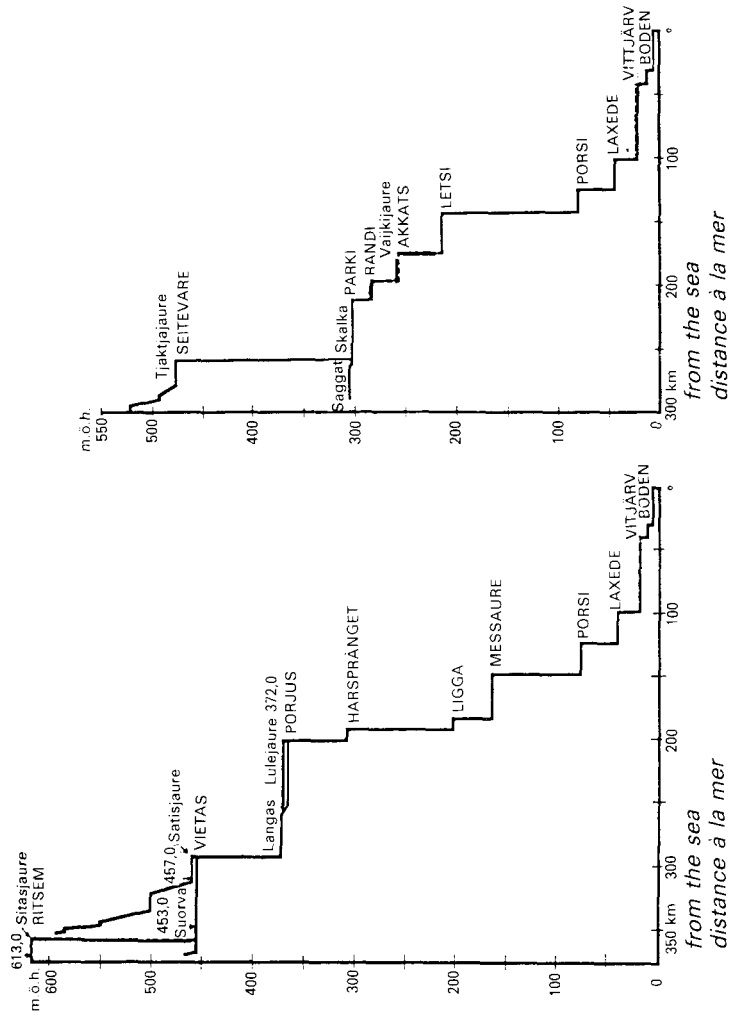


Fig. 1
Carte de situation.
Location map.



LESSER LULE RIVER

GREATER LULE RIVER

Fig. 2
 Profil en long de la rivière.
River profile.

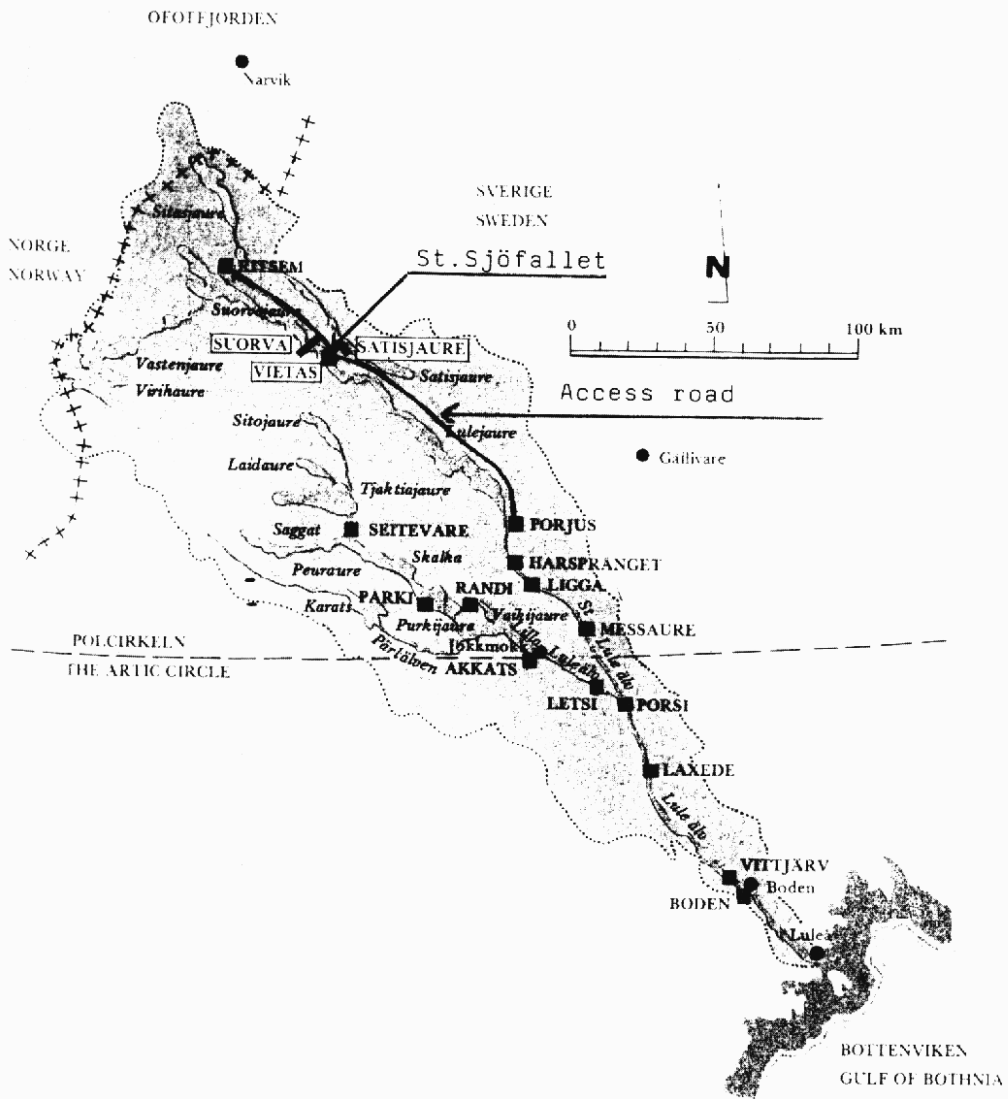


Fig. 3

Carte de la rivière Lule.
Map of the river Lule.

■ Usine hydroélectrique.
Hydro Power Station.

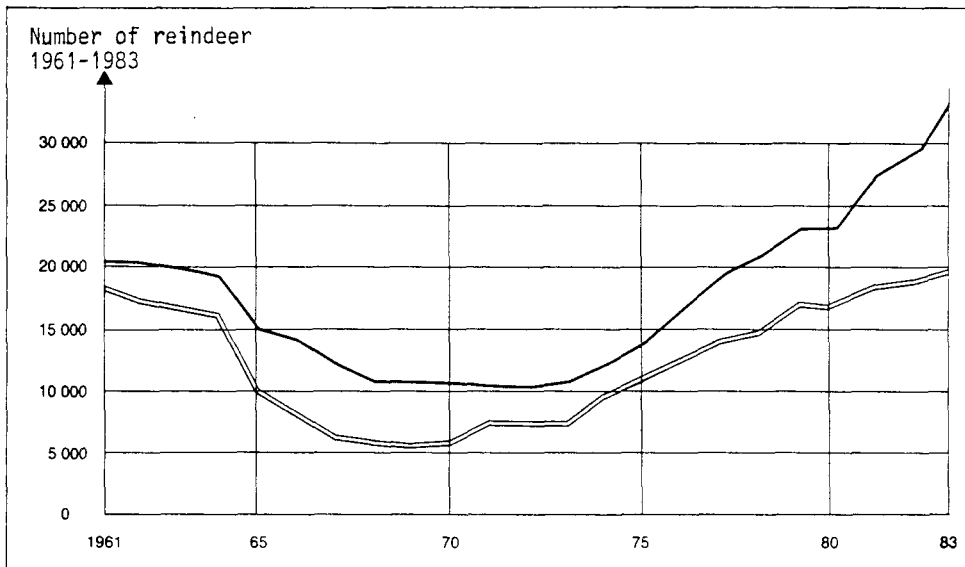


Fig. 4

Évolution du nombre de rennes (1961-1983).

Number of reindeer (1961-1983).

- == Non affecté par l'aménagement hydroélectrique (Norrkaitum, Lævas). *Not affected by hydro power (Norrkaitum, Lævas).*
 — Affecté par l'aménagement hydroélectrique (Mellanbyn, Sörkaitum, Sirkas). *Affected by hydro power (Mellanbyn, Sörkaitum, Sirkas).*

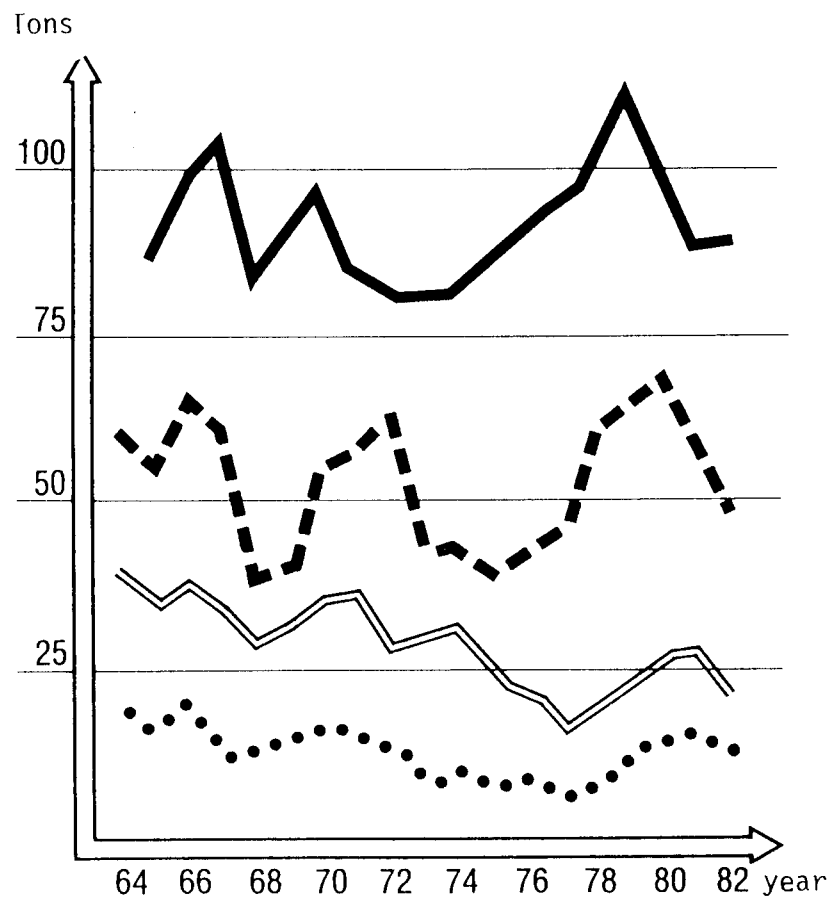


Fig. 5

Pêches lapones sur la Grande Lule et la Petite Lule, prises en tonnes.
Lapp fisheries in the Greater and Lesser Lule river, catches in tons.

- | | | |
|-------|--|--|
| — | Total, retenues régularisées. | <i>Total, regulated lakes.</i> |
| - - - | Suorva, Korttjåure (régularisées). | <i>Suorva, Korttjåure (regulated).</i> |
| — — — | Total, retenues non régularisées. | <i>Total, unregulated lakes.</i> |
| • • • | Virihaure, Vastenjaure, Sallohaure, Kutjaure (non régularisées). | <i>Virihaure, Vastenjaure, Sallohaure, Kutjaure (unregulated).</i> |

4. LE BARRAGE DE SELINGUÉ (Mali)

1. CARACTÉRISTIQUES DU BARRAGE

Le barrage de Selingué sur la rivière Sankarani, affluent du Niger, est situé près du village de Selingué (Mali) et crée une retenue de 2 600 hm³.

Il s'agit d'un ouvrage à buts multiples : production d'électricité, irrigation, régularisation de la rivière pour la navigation, amortissement des crues et pisciculture dans la retenue.

L'aménagement comprend un barrage-poids en béton dans la partie centrale, des digues latérales en terre, et une usine intégrée (photos couleur G-H).

Les principales caractéristiques de l'aménagement sont les suivantes :

| | |
|--|----------------------------|
| — longueur en crête | 2 900 m; |
| — hauteur maximale (partie centrale) | 35 m; |
| — volume de béton | 165 000 m ³ ; |
| — volume de terre | 1 680 000 m ³ ; |
| — puissance installée | 44 000 kW. |

L'usine fut mise en service en 1980.

2. PROBLÈMES D'ENVIRONNEMENT

Le Bureau d'Ingénieurs Conseils a attiré l'attention sur les problèmes d'environnement, dès les premières études exécutées en 1973 pour les Nations Unies.

D'autres études suivirent : en 1979, un autre Bureau compléta, pour le compte du PNUD, les études précédentes faites pour les Nations Unies. Une autre étude effectuée pour les Nations Unies porta sur les conditions générales de santé des riverains, avant la mise en service du barrage de Selingué en 1980; cette étude complétait la précédente.

Les données et propositions déduites de ces études sont les suivantes :

a) Au moment de l'étude, les données du problème se présentaient comme suit :

| | |
|--|---|
| — population et superficie des quatre districts concernés par le projet | 56 247 habitants 4 000 km ² |
| — superficie submergée | 409 km ² |
| — superficie cultivée submergée | 42 km ² |
| — population à reloger | 12 000 habitants |

b) Les propositions concernaient non seulement la mise en valeur de la région, mais aussi le rétablissement d'un équilibre démographique et économique après la création de la retenue, incluant la réorganisation territoriale et les besoins socio-économiques de la population, tels que :

— le développement des activités traditionnelles et la création d'autres activités;

4. THE SELINGUÉ DAM (Mali)

1. CHARACTERISTICS OF THE DAM

The Selingué dam on the Sankarani river, tributary of the Niger river, is located near the village of Selingué (Mali) and creates a reservoir with a storage of 2 600 hm³.

The Selingué is a multi-purpose dam for the production of electric energy, irrigation, regulation of the river for navigation, reduction of the floods, and pisciculture in the reservoir.

It is a gravity dam with a central concrete crest and earth wings, and a nearby power station (colour photos G-H).

Its characteristics are :

| | |
|---------------------------------------|----------------------------|
| — crest length | 2 900 m; |
| — maximum height (central part) | 35 m; |
| — volume of concrete | 165 000 m ³ ; |
| — volume of earthfill | 1 680 000 m ³ ; |
| — power installed | 44 000 kW. |

The power station started operating in 1980.

2. ENVIRONMENTAL ISSUES

The consulting engineers laid emphasis on environmental aspects from the very first studies carried out in 1973 for the United Nations.

Other studies followed : in 1979 another Consultant supplemented, on behalf of the UNDP the previous studies on population transfer carried out for the United Nations. Another study performed for the United Nations regarded the general health conditions of the riparian population before the Selingué dam began to function in 1980; this completed the previous study.

The following data and proposals derive from these studies :

a) At the time of the study the size of the problem was as follows :

| | |
|---|-----------------------|
| — population and area of the four districts affected by the project | 56 247 inhab. |
| | 4 000 km ² |
| — area to be flooded | 409 km ² |
| — area under cultivation to be flooded | 42 km ² |
| — population to be resettled | 12 000 inhab. |

b) The proposal concerned not only the development of the region but also the attempt to reestablish a demographic and economic balance after the creation of the reservoir, including the territorial reorganization and socio-economic needs of the population, such as :

— the development of traditional activities and the creation of alternative activities;

- la création de l'infrastructure et des services nécessaires;
- les habitations et services associés.

Le relogement de la population devait refléter le type actuel de structure familiale de façon à opérer un changement progressif et éviter une rupture profonde avec les traditions profondément enracinées.

Les mesures destinées à modifier les types d'agriculture comprenaient de nouveaux types de culture, l'introduction de spécialisation et des essais en vue d'augmenter la productivité des récoltes traditionnelles.

L'élevage des bestiaux devait être réorganisé suivant des projets-pilote, de même que le ramassage et la vente des produits agricoles dans les plus petits villages.

c) La nouvelle répartition géographique de la population résultait de la réorganisation territoriale comprenant les divisions et subdivisions suivantes :

- Zone de peuplement prioritaire :
 - nouveau village de Kangaré (centre municipal, poste de police, centre social, centre de santé, réseaux d'alimentation en eau et en énergie);
 - pêcherie et village de pêche;
 - complexe touristique;
 - centre pour l'agriculture et l'élevage du bétail;
 - usine de fabrication de matériaux de construction;
 - emplacement pour foires et marchés;
- Zone de réorganisation agricole.
- Parc national.
- Zone de pâturages et d'élevage de bétail.
- Zone partiellement réorganisée.

d) Le coût total du programme fut évalué à 1 milliard de francs maliens (soit 2,5 millions de dollars US, en 1979), correspondant à 7 % environ du montant de l'investissement du barrage et des ouvrages annexes, et à 3 % environ du coût total de l'aménagement électrique et agricole.

3. SITUATION APRÈS LA CONSTRUCTION DU BARRAGE

Les autorités maliennes surveillent avec soin le changement des conditions socio-économiques et de santé après la construction du barrage.

Cinq ans après la mise en service du barrage, la situation dans les divers secteurs peut se résumer de la façon suivante :

3.1. Transfert de population

Après la submersion d'une zone de 40 900 ha, une population de 12 490 habitants fut déplacée au cours de la période 1980-1981. Aucun changement significatif n'est intervenu dans la structure des familles habitant les nouveaux villages, sauf dans quelques cas où la structure sociale traditionnelle du village a été temporairement bouleversée; toutefois, cette structure s'est progressivement rétablie.

- the creation of the necessary infrastructure and services;
- homes and contingent services.

The process of resettlement would have to reflect the present type of family structure so as to bring about a gradual change and avoid a sudden or drastic break with deeply rooted traditions.

The measures for changing agricultural standards included new cropping patterns, the introduction of specialization and an attempt to increase the productivity of traditional crops.

Livestock and cattle raising activities would have to be reorganized in the pilot projects, together with the collection and sale of agricultural products in the smaller villages.

c) The new areal distribution of the population followed the territorial reorganization whereby the area was broken down into zones and sub-zones as follows :

- Priority development zone :
 - new village of Kangare (civic center - police station - social center - health center - water and energy systems);
 - fishing center and fishing village;
 - tourist complex;
 - centre for agriculture and cattle raising;
 - construction materials factory;
 - site for fairs and markets;
- Agricultural reorganization zone.
- National park land.
- Pasture and cattle-raising zone.
- Partially restructured zone.

d) The total cost of the programme was estimated at one thousand million F.M., (equal to 2.5 million U.S. dollars in 1979), corresponding to about 7 % of the investment cost of dam and appurtenant works, and to about 3 % of the total cost of the electrical and agricultural development.

3. THE SITUATION AFTER THE DAM CONSTRUCTION

The Mali authorities are carefully watching the change in socio-economic and health conditions after the construction of the dam.

The situation in the various sectors, five years after the dam started operating, can be summarized as follows.

3.1. Population transfer

After flooding an area of 40 900 ha, a population of 12 490 inhabitants was transferred over a period in 1980-1981. No significant change has taken place in the structure of the families living in the new villages, except in a few cases where the traditional social structure of the village has been temporarily disrupted; this structure, however, is gradually being re-created.

Dans l'ensemble, on peut conclure que le déplacement de la population n'a pas traumatisé les habitants, qui continuent à observer leurs traditions et à célébrer leurs cérémonies habituelles...

3.2. Énergie

La production a atteint, en 1985, 114 GWh, soit 75 % de la production hydroélectrique totale du pays.

La puissance maximale utilisée est de 24 MW, soit 55 % de la puissance installée.

Quant aux avantages socio-économiques de cette source d'énergie, on peut faire observer que toute l'énergie produite (excepté la petite fraction utilisée par la ville de Selingué et les services) est transportée à Bamako qui est ordinairement le seul bénéficiaire de l'aménagement. En fait, après 1980 — année où débuta la mise en service — le réseau électrique de Bamako a été complètement rénové; alors que les coupures d'électricité étaient très fréquentes avant, elles sont rares maintenant; lorsqu'elles surviennent, c'est parce qu'on est en train de terminer le nouveau réseau.

Selingué a ainsi éliminé la consommation de fuel qui était nécessaire à l'exploitation de la centrale de Bamako.

Avant 1980, les industries dans la région autour de Bamako fonctionnaient à 50 % de leurs capacités, en raison de la production limitée d'énergie; aujourd'hui, l'industrie fonctionne à 100 % et, en général, se développe avec une augmentation de 15 % de la demande annuelle d'électricité (comme en 1984-1985). De 1980 à ce jour, le nombre d'industries a augmenté de 70 %, du fait de la garantie de fourniture d'énergie.

Cependant, malgré cela, la demande d'énergie est encore faible : cette situation s'améliorera lorsque d'autres industries seront créées et, en particulier, lorsque la nouvelle ligne de transport d'électricité vers Segou sera installée; le projet de celle-ci existe et il est prévu que l'Allemagne et le Canada réalisent les travaux.

La mine de Kalana (dans la région de Kangaba) conduira également à une forte demande d'électricité. Le matériel nécessaire à la ligne de transport a déjà été fourni par les Russes qui dirigent l'exploitation minière. Malheureusement, les fonds nécessaires à ces travaux, estimés à 1,5 milliard de francs CFA (4,5 millions de dollars US) n'ont pas encore été trouvés.

3.3. Agriculture

Durant la saison sèche de 1985, la retenue de Selingué a fourni un débit de 60-120 m³/s, dépendant de la demande d'énergie. A la fin du mois de juin 1985, la retenue avait encore un volume d'eau de 470 hm³, ce qui signifie que le débit pendant les mois secs (novembre-mai) peut être proche de 100 m³/s. Même lorsqu'un débit minimal est laissé dans la rivière pour la navigation, ces volumes stockés sont plus que suffisants pour irriguer la surface de 55 000 ha envisagée dans le projet.

Les bénéfices agricoles n'ont pas encore été obtenus, au moins à court terme.

D'une part, après que la période d'irrigation fût établie, il apparut tout d'abord aux fermiers que les techniques de récolte du riz — en particulier, l'introduction d'une double récolte — étaient trop sophistiquées. D'autre part, ils étaient plus enthousiastes à propos de l'introduction de récoltes végétales.

On the whole, it can be concluded that the population transfer has not traumatized the inhabitants, who continue to observe their traditions and perform the usual ceremonies, etc.

3.2. Energy

Production in 1985 amounted to 114 GWh, or 75 % of all the hydro-electric energy produced in the country.

The maximum power used was 24 MW or 55 % of the installed capacity.

As to the socio-economic advantages of this energy source it can be observed that all the energy produced (except for a small part used by the town of Selingué and services) is conveyed to Bamako which is currently the sole beneficiary of the scheme. In fact, after 1980 — when the power station began to function — the Bamako electricity system has been completely renewed; whereas, electricity cuts were very frequent before, these occur rarely now, or if they do, it is only because they are completing the new system.

Selingué has therefore eliminated the consumption of fuel for the operation of the Bamako thermo-electric power station.

Prior to 1980 the industries of the area around Bamako worked at 50 % capacity because of the limited production of energy; at present, industry works at 100 % capacity, and, in general, is developing with a 15 % increase in the annual demand for electricity (as of 1984-85). From 1980 to date there has been a 70 % increase in the number of industries, as a result of the energy that can be guaranteed.

However, despite this, the demand for energy is still small : this situation will improve when other industries are created and, especially, when the new power line for Segou is installed; the project for the latter already exists, and Germany and Canada are expected to carry it out.

The Kalana mine (in the area of Kangaba) will also constitute an important demand for electricity. The materials needed for the power line have already been supplied by the Russians, who are supervising the mining. Unfortunately, the funds for this, estimated at 1.5 million F CFA (US \$ 4.5 millions) have not yet been found.

3.3. Agriculture

The Selingué reservoir provided a discharge of 60-120 m³/s during the 1985 dry season, depending on the energy demand. At the end of June 1985 the reservoir still had a storage of about 470 hm³, which means that the discharge during the dry months (November-May) can be almost 100 m³/s. Even when a minimum amount of water is left in the river for navigation, these storage volumes are more than sufficient for irrigating the area of 55 000 ha envisaged in the project.

The forecast benefits accruing from agriculture have not yet, at least in the short term, been realized.

On the one hand, after the irrigation period was established, the farmers at first felt that the rice-growing techniques — especially the introduction of a double crop — were too sophisticated. On the other hand, they were more enthusiastic about the introduction of vegetable crops.

En général, cependant, le matériel nécessaire à l'exploitation de nouvelles terres irriguées n'existe pas et il en est résulté une réduction importante des bénéfices pouvant être retirés d'une irrigation contrôlée et rationnelle.

Mais, un autre problème est apparu, en relation avec les variations du régime hydraulique des crues à l'aval de Selingué : la retenue a modifié les niveaux des crues jusqu'au delta intérieur du Niger. Comme conséquence, certaines exploitations agricoles traditionnelles, qui ont maîtrisé à moitié l'irrigation, souffrent du manque d'eau résultant de la réduction des niveaux naturels. Ce problème peut être résolu en passant progressivement à un réseau d'irrigation complètement maîtrisé.

On doit signaler que, malheureusement, l'adaptation non réussie de ces ouvrages d'irrigation aux nouvelles conditions créées par la retenue représente un obstacle rencontré dans ce type d'aménagement. Il en résulte que les performances de l'aménagement sont diminuées et il peut y avoir une tendance à s'opposer à l'exécution de travaux de grande envergure.

3.4. Pisciculture

Après la création de la retenue, la pisciculture est devenue une importante activité.

Il y a maintenant 35 villages de pêcheurs sur les rives de la retenue, avec un total de 4 600 personnes travaillant dans ce secteur d'activités et 2 600 pêcheurs en activité.

3.5. Santé

Lors d'un séminaire tenu à Selingué du 21 au 24 janvier 1986, on procéda à une estimation générale des résultats de la campagne nationale contre la schistosomiose, la malaria et d'autres maladies contagieuses.

Un plan général, bien organisé, fut établi pour l'ensemble du pays en coopération avec d'autres pays, principalement la République Fédérale d'Allemagne.

Selingué a été considéré comme un centre pilote dans la campagne contre la schistosomiose. Les résultats d'études répétées dans la zone du barrage ont montré que, sauf pour quelques cas de bilharziose urinaire, la schistosomiose n'était pas un problème réel pour la santé de la population indigène.

La création de la retenue a attiré des pêcheurs Bozo qui viennent des régions infestées de ces parasites (Service du Niger, région de Mopti et arrière-pays du delta du Niger). La présence d'escargots qui sont des vecteurs de ces parasites et la venue de personnes qui en sont infestées présentent le risque que la schistosomiose s'implante de façon ferme et permanente.

Les résultats du plan — pas uniquement pour la schistosomiose ou la zone de Selingué — dépendront des fonds et des connaissances techniques dont le pays disposera.

La malaria, considérée autrefois comme une maladie saisonnière, se manifestant seulement pendant la saison des pluies, est maintenant présente toute l'année. La situation est maintenant maîtrisée avec l'aide de petits centres de santé dans chaque village près de la retenue. Par contre, les cas d'onchocerciose sont plus rares, probablement du fait de la destruction des larves des mouches qui se développent dans l'eau turbulente.

In general, however, the equipment needed for working the new soils does not exist, and this has resulted in a substantial reduction of the achievable benefits from controlled and rational irrigation.

But another problem has arisen in connection with the variation in the hydraulic regimes of the flood downstream of Selingué : that reservoir has affected the flood levels as far as the inland delta of the Niger. As a consequence, some of the traditional farmlands that have semi-controlled irrigation are suffering from lack of water because the natural levels have been reduced. This problem, can be surmounted by a gradual changeover to a system of irrigation that is wholly controlled.

It must be pointed out that, unfortunately, the failure of these irrigation structures to adapt to the new conditions created by the reservoir represents an obstacle which is encountered in this type of project. As a result, the efficiency of the project is diminished, and there may be a tendency to oppose the implementation of large-scale works.

3.4. Pisciculture

After the creation of the reservoir pisciculture has become an important activity.

There are now 35 fishing villages on the shores of the reservoir, with a total of 4 600 people working in the sector and 2 600 active fishermen.

3.5. Health

During a seminar held at Selingué from 21-24 January, 1986, a general assessment was made of the nationwide campaign against schistosomiasis, malaria and other contagious diseases.

A general, well organized plan for the whole country was drawn up with the cooperation of other countries, among which the most important was the Federal Republic of Germany.

Selingué has been considered as a pilot centre in the campaign against schistosomiasis. The findings of repeated surveys carried out in the area of the dam showed that, except for some cases of urinary bilharzia, schistosomiasis is not a real problem for the health of the indigenous population.

The creation of the reservoir has attracted Bozo fishermen who come from areas infested with these parasites (Niger Offices, Mopti region and the Niger hinterland delta). The presence of snails, which are carriers of these parasites and the influx of people who are infected, create a risk that a permanent and strong strain of schistosomiasis may establish itself.

The results of the plan — not only for schistosomiasis or for the Selingué area — will depend on the funds and technical know-how which the country have available.

Malaria, once considered a seasonal disease, occurring only during the rainy season, is now found all the year round. The situation is being kept under control with the help of small health centres in each village on the lake. Cases of onchocerciasis are, on the other hand, fewer, probably because the larvae of the flies, that develop in turbulent water, have been destroyed.

En conclusion, la construction du barrage a posé quelques problèmes de santé, en particulier dans le cas de la bilharziose qui a augmenté parmi la population de pêcheurs; par contre, elle a réduit l'importance d'autres problèmes.

Dès les études préliminaires, les problèmes susceptibles de se présenter avaient été prévus, parce qu'on les savait liés à la création de retenues, en particulier, lorsque celles-ci sont peu profondes et soumises à des marnages de grande amplitude. Il est important que les autorités sanitaires du Mali soient pleinement conscientes de ces problèmes et aient pris, en temps voulu, les mesures nécessaires, comme indiqué dans le « Rapport d'activité de l'année 1984 » de l'Institut National des Recherches pour la Santé Publique (INRSP) du Mali.

3.6. Éducation

De nouvelles écoles — cinq en tout, actuellement — ont été construites dans la région de Selingué. Avant 1980, existait une seule école allant jusqu'à la sixième classe (école primaire). Il y a maintenant quatre écoles primaires et une allant jusqu'à la neuvième classe (école secondaire) dans le village de Kangara (ex-Dalabala) où le barrage est situé.

4. CONCLUSIONS

La construction du barrage de Selingué a eu un effet bénéfique considérable dans le secteur de l'énergie qui est particulièrement important dans un pays dépendant complètement des importations de pétrole.

Malgré les grandes quantités d'eau mises à disposition par la retenue, les bénéfices prévus dans le domaine de l'agriculture ne se sont pas réalisés du fait du manque d'investissement pour la rénovation des ouvrages d'irrigation. On espère qu'on y remédiera — ce qui est probable — dans un proche avenir.

Du côté positif, la pisciculture s'est considérablement développée et un groupe de pêcheurs expérimentés (les Bozo) est arrivé dans la région : actuellement, plusieurs milliers de personnes vivent sur le pourtour de la retenue et gagnent bien leur vie grâce à une pêche abondante : 3 à 4 tonnes par jour, dont certaines espèces sont très estimées.

Le relogement de la population s'est déroulé sans problèmes; il y a même eu des avantages sociaux, tels que l'augmentation sensible du nombre d'enfants fréquentant les écoles.

Le seul effet négatif a été l'augmentation des maladies, comme la bilharziose (due principalement à l'immigration des Bozo) et la malaria; toutefois, ces maladies sont maîtrisées. Ce problème survient toujours dans les zones de création de retenues (principalement, lorsque ces retenues sont peu profondes).

La seule défense est le contrôle des parasites.

En conclusion, la comparaison des effets bénéfiques et des problèmes soulevés par la création de la retenue laisse apparaître que les premiers l'emportent sur les seconds, bien que les avantages prévus dans l'agriculture fassent défaut. En résumé, le barrage est parfaitement accepté par les autorités et la population locale.

L'intérêt de cet aménagement réside dans le fait que les problèmes d'environnement ont été pris en compte dès la première phase des études de projet, ainsi qu'au

In conclusion, the dam's construction has created some health problems, especially in the case of bilharziasis which has increased among the fishing population, but has reduced others.

As early as the preliminary studies, a potential problem was foreseen, because it is known to be related to the creation of reservoirs, particularly when these are shallow and subject to marked changes in the water level. It is important that the Mali health authorities are fully aware of the problem and have taken the necessary measures in good time to deal with it, as reported in the "Rapport d'activité de l'année 1984" of the Institut National des Recherches pour la Santé Publique (INRSP) of Mali.

3.6. Education

New schools — at present 5 in all — have been built in the Selingué area. Before 1980 there was only one school going up to the sixth class (primary school). There are now 4 primary schools and one going up to the ninth class (secondary school) in the village of Kangara (ex-Dalabala), where the dam site is located.

4. CONCLUSIONS

The construction of the Selingué dam has resulted in a substantial and consistent benefit in the energy sector, which is particularly important in a country completely dependent on oil imports.

Despite the large quantity of water made available by the reservoir, the benefits foreseen in the agricultural sector have not been realized because of the lack of investment for the rehabilitation of the irrigation structures. It is to be hoped that — as is probable — this will be remedied in the near future.

On the plus side there has been considerable development of pisciculture and a group of expert fisher folk (the Bozo) has arrived in the area : at the present time several thousand people live along the lake shores and make a good living by fishing, with an abundant haul of 3-4 tonnes daily, including very good quality fish.

The resettlement of the population was carried out without any problems; indeed there have been some organizational advantages such as a marked improvement in the number of children attending school.

The one negative factor has been the increase of diseases like bilharziasis (mainly owing to the immigration of the Bozo) and malaria; however, these are under control. This problem always arises in this area with the creation of artificial lakes (especially when these are fairly shallow).

The only defence is the control of the parasites.

In conclusion, when the benefits are compared to the problems resulting from the reservoir, the former outweigh the latter, even though the envisaged agricultural advantages have not been forthcoming. In summary, the dam is considered favourably by the authorities and local population.

The interest of this project lies in the fact that the environmental aspects were considered an integral part of the project from the very beginning, and continued

cours de la construction et des premières années d'exploitation. Les mesures adoptées se sont avérées efficaces et l'effet négatif sur l'environnement (recrudescence de la bilharziose et de la malaria) a été maîtrisé et n'a pas créé de problème insurmontable.

De plus, les avantages directement apportés à la population riveraine, tels que : pêche, petits réseaux d'irrigation sur le périmètre de la retenue sont finalement bien plus importants qu'initialement prévus.

En conclusion, cet aménagement est jugé très bénéfique pour l'économie du pays.

to be so in the construction phase and first few years of its implementation. The measures adopted have proved effective, and the negative environmental impact (the growth of bilharziasis and malaria) has been kept under control and has not created any insuperable problem.

Moreover, the direct benefits for the riparian population — such as fishing and small irrigation systems on the edges of the lake — have turned out to be much greater than was foreseen.

To conclude, the project can be considered highly positive for the economy of the country.

5. L'AMÉNAGEMENT DE SANTEE COOPER (États-Unis)

1. INTRODUCTION

Parmi les faits les plus remarquables, il faut signaler que l'aménagement de Santee Cooper fut étudié et mis en service bien avant que naissent les préoccupations actuelles sur la protection de la nature, et les efforts déployés dans ce but. Les améliorations apportées par cet aménagement, qui sont dans l'ensemble excellentes, confirment l'opinion de plus en plus répandue que les ingénieurs responsables de la mise en valeur et de la gestion des ressources en eau se comportent, dans l'ensemble, comme des gardiens attentifs des paysages accueillant leurs ouvrages. Le rapport ci-dessous indique les diverses « surprises » constatées quelque temps après la mise en service de l'aménagement. Que ces « surprises » se soient avérées acceptables pour l'environnement témoigne de la conscience des responsables du projet et de sa mise en œuvre. L'auteur insiste fortement pour que des études préalables très complètes soient entreprises en vue de limiter de telles surprises. Il est certain que l'intérêt apporté aujourd'hui à la préservation de l'environnement, partout dans le monde, est un soutien à tout ingénieur attaché à cet objectif.

2. CADRE ET HISTORIQUE DE L'AMÉNAGEMENT

L'aménagement est situé au nord de Charleston, SC, grand port où les rivières Ashley et Cooper se jettent dans l'océan Atlantique. La rivière Cooper est une voie d'eau industrielle et un chantier de construction navale est implanté sur ses rives. A 180 km environ, à l'intérieur, se trouve la ville de Columbia, capitale de l'État. Depuis les années 1700, l'aménagement d'une voie d'eau navigable entre ces deux villes a présenté un très grand intérêt.

La rivière Congaree traverse Columbia et rejoint, à quelques kilomètres à l'aval, la rivière Wateree pour former la rivière Santee. Sur son parcours, à travers les marais, vers l'Atlantique où elle se jette près de Georgetown (avant l'aménagement), la rivière Santee s'approchait à 32 km environ de la rivière d'estuaire Cooper, plus petite, coulant vers le sud. Entre les deux rivières, il y avait une différence d'altitude de l'ordre de 7,5 m (Fig. 1).

En 1800, un canal entre les rivières Santee et Cooper fut mis en service et connut un succès de courte durée. Un mauvais tracé, la concurrence des transports, et des péages limités, constituaient des éléments défavorables. Les péages étaient payés par bateau ou barge, et non en fonction de la cargaison. Les affréteurs des régions à l'amont concurent très tôt des bateaux permettant d'être réunis, de façon que plusieurs passages vers l'aval deviennent un seul au retour. Vers 1850, le canal cessa ses activités.

L'intérêt de la liaison demeurait cependant et, avec l'arrivée de l'énergie hydroélectrique, un nouvel élément s'ajoutait aux possibilités de Santee Cooper. En 1926, un permis fut accordé par la Commission Fédérale de l'Énergie à la Com-

5. THE SANTEE COOPER PROJECT (USA)

1. INTRODUCTION

Among the most revealing features of the Santee Cooper Project is the fact that it was conceived and placed in service many years prior to the emergence of current national interest and policy on the protection of the natural environment. The generally excellent effect and improvements resulting from this project substantiate a growing belief that, in general, engineers who deal with water resource development and management are considerate custodians of the natural aspects of the areas in which their work is sited. As indicated in the report, there were several "surprises" once the project was in operation for a period of time. That these "surprises" proved to be environmentally acceptable attests to the inherent consciousness of those who designed and erected Santee Cooper Project. The author challenges others to minimize surprises by thorough planning. Certainly today's worldwide emphasis on environmental engineering will support this goal.

2. SETTING AND EARLY HISTORY

The project is located north of Charleston, S. C., a major port where the Ashley and Cooper Rivers empty into the Atlantic Ocean. The Cooper River is an industrial waterway and a naval shipyard operates on its banks. Inland about 180 km is Columbia, the state capital. Since the 1700's there has been interest in developing a navigable waterway between the two cities.

The Congaree River flows through Columbia and a few miles downstream joins the Wateree River to form the Santee. On its way through marshlands to the Atlantic near Georgetown (before the project), the Santee came within about 32 km of the smaller estuarial Cooper River flowing southward. The streams were separated in elevation by about 7.5 m (Fig. 1).

In 1800 a canal did begin operating between the Santee and Cooper and it was briefly successful. However, a poor alignment, competing transport, and toll limitations worked against it. Tolls were paid by the boat or barge, not by amount of cargo. Upcountry shippers soon devised nested boats so that several passages downstream became one on the return. By 1850 the canal was out of business.

Interest in the connection continued, however, and with the invention of hydroelectric power, a new element was added to the Santee Cooper possibilities. In 1926 a license was granted by the Federal Power Commission to the Columbia

pagnie de Chemins de Fer et de Navigation de Columbia pour la construction d'un canal et d'une petite usine hydroélectrique près de Moncks Corner.

La Grande Dépression, l'arrivée de l'ère Roosevelt avec ses réformes (New Deal), PWA/WPA, et la puissance publique, fournirent finalement le cadre favorable pour la réalisation du grand projet.

3. DESCRIPTION

L'aménagement de Santee Cooper est conçu pour dériver la rivière Santee dans la rivière Cooper, produire de l'énergie hydroélectrique à partir d'un barrage sur la rivière Cooper, et évacuer les eaux turbinées dans la rivière Cooper vers le port de Charleston. Les ouvrages principaux comprennent : un barrage principal et un évacuateur de crue sur la rivière Santee, un canal reliant la rivière Santee à la rivière Cooper, un barrage principal, une usine hydroélectrique et une écluse sur la rivière Cooper.

Sur la rivière Santee, un évacuateur de crue central, en béton, comportant 62 passes fermées par des vannes (photo A), est prolongé vers le nord et vers le sud par des digues en remblai de 11,6 km de longueur; il maîtrise le niveau de la rivière Santee à la cote + 30 m environ. Le barrage crée la retenue de Marion, ayant une longueur de 56-64 km, une largeur de 5 à 18 km et une surface de 44 750 hectares environ. Au sud-est, sur l'affluent Broughton Hall Creek de la rivière Cooper, sont implantées une usine équipée de 4 groupes de 30 MW chacun et d'un groupe de 10 MW, ainsi qu'une écluse de 23 m environ de hauteur (photo B). Les deux ouvrages sont prolongés, à l'est et à l'ouest, par des digues en remblai de 48 km de longueur. Le barrage, appelé Pinopolis, crée la retenue de Moultrie, d'une surface de 24 400 hectares. Les deux retenues sont reliées par un canal de 12 km de longueur et 3,70 m environ de profondeur; le niveau normal des retenues se situe à la cote + 22,5 environ. Le niveau d'eau à l'aval de l'usine et de l'écluse est à peu près le niveau de la mer. Un canal de fuite et de navigation relie l'aménagement à l'estuaire de la rivière Cooper (Fig. 1).

4. ENVIRONNEMENT I - RÉPONSE AUX PREMIERS BESOINS

Tel qu'il fut conçu au début des années 1930, l'aménagement de Santee Cooper visait à répondre à cinq besoins principaux :

- emploi;
- énergie hydroélectrique;
- santé publique;
- maîtrise des crues;
- navigation.

Ces besoins existaient en Caroline du Sud où sévissait une sévère dépression économique. Celle-ci avait commencé après la Première Guerre mondiale et l'effondrement des prix du coton. Tout ce qui laissait prévoir un allègement de cette situation était très bien accueilli. Cependant, le projet avait des détracteurs. Des groupes financiers pensaient que les ressources de l'État, avec un budget total de 6 millions de dollars seulement en 1934, ne pourraient supporter le coût des travaux

Railway and Navigation Company to build a canal and a small generating station near Moncks Corner.

The Great Depression, the coming of the Roosevelt era with its New Deal, PWA/WPA, and public power, finally provided the fertile setting for realization of the great project.

3. DESCRIPTION

The concept of the Santee Cooper Project is to divert the Santee River into the Cooper River; obtain hydro power as the combined flows discharge from the Cooper River Dam; and discharge power flows down Cooper River into Charleston Harbor. Major structures include : a major dam and spillway on Santee River; a channel joining the Santee to the Cooper River; and a major dam, hydropower plant and navigation lock on the Cooper River.

A central concrete spillway on the Santee, with 62 gate bays (Photo A), flanked north and South by 11.6 km of embankments, controls the level of the Santee River at about 22.9 m elevation. The dam impounds Lake Marion, approximately 56-64 km in length and 5 to 18 km wide, about 44 750 hectares surface area. To the southeast, on the Broughton Hall Creek tributary to the Cooper River, a powerhouse, with four 30 MW and one 10 MW generating units, and a 22.9 m high navigation lock are flanked by 48 km of embankments, east and west (Photo B). This dam, called Pinopolis, impounds Lake Moultrie, 24 400 hectares. The two reservoirs are joined by a 12 km long canal approximately 3.7 m deep and are controlled to approximately Elev. 22.5. Tailwater at the Pinopolis Powerhouse and Lock is approximately sea level. A 7.3 km tailrace and navigation canal connects the project to the Cooper River estuary (Fig. 1).

4. ENVIRONMENT I - MEETING THE ORIGINAL NEEDS

As it was conceived in the early 30's, Santee Cooper sought to meet five primary needs :

- jobs;
- hydroelectric power;
- public health;
- flood control;
- navigation.

These needs existed in a South Carolina environment of severe economic depression. It was a depression which had begun after World War I and the collapse of cotton prices. Anything that promised relief would seem totally welcome. Still, the project was not without its detractors. Financial interests felt that the state resources, with a total budget of only about \$ 6 million in 1934, could not stand the demand of the project which was estimated to cost \$ 34 million. The railroads,

estimé à 34 millions de dollars. Les chemins de fer, des compagnies privées d'électricité et quelques propriétaires de terres étaient également contre le projet. Mais, finalement, la subvention de 45 % du coût, plus la garantie de la participation de 55 % de l'État, furent accordées par Washington, et une Agence, la « South Carolina Public Service Authority » (SCPSA), fut chargée, en 1934, de réaliser et d'exploiter l'aménagement.

L'opposition se défendit jusqu'au bout : la constitutionnalité fut mise en question, l'estimation du coût fut jugée trop faible et on fit intervenir des géologues afin de déclarer que le réservoir ne pourrait jamais retenir l'eau. Les opposants perdirent leur procès en 1937, et en appel en 1938. Le Bureau d'études Harza fut engagé en juillet de la même année et le Permis de la Commission Fédérale de l'Énergie fut acquis du premier détenteur, en 1939.

4.1. Emplois

Entre 1920 et 1935, 80 % des jeunes diplômés des collèges et universités de Caroline du Sud quittèrent l'état en raison de la crise économique. Les usines déperissaient dans tous les secteurs. Les investissements étaient inférieurs à 400 millions de dollars, en 1930; ils étaient seulement de 113 000 dollars dans le Comté de Berkeley, site de l'aménagement (1).

L'Administration Fédérale « Works Progress Administration » (WPA) était responsable de l'abattage des arbres, qui commença en avril 1939. L'agence établit des campements où les ouvriers étaient nourris, logés, avec sur place loisirs et soins médicaux. Près de 9 000 personnes, venues par contingent de chacun des 46 comtés de l'État, étaient employées dans les opérations d'abattage, de débitage, de broyage et de débroussaillage.

La construction proprement dite débuta en mai 1939. Il est intéressant de noter que malgré la même impulsion donnée à ces travaux qu'à ceux de la Tennessee Valley Authority, SCPSA ne devint pas employeur de la main-d'œuvre de construction, comme le fut TVA. Tous les travaux de construction firent l'objet de marchés privés attribués au moins-disant digne de confiance. L'effectif de la main-d'œuvre a atteint une pointe de 12 500, comprenant les ouvriers chargés de l'abattage des arbres et du débroussaillage. Trente-trois entrepreneurs furent employés sur l'aménagement de PWA, le plus important de la nation.

Un second secteur d'activités fut créé, à savoir les services d'entretien des diverses entreprises de construction, et, à partir de 1942, le faible prix de l'énergie mise à la disposition de la zone industrielle de Charleston fut bénéfique à l'embauchage de main-d'œuvre.

4.2. Énergie hydroélectrique

La première production d'électricité eut lieu en février 1942, moins de trois ans après le début des fouilles. Tous les groupes étaient en service au mois de juin suivant. Washington donna une forte impulsion aux travaux considérés comme une partie vitale de l'effort de guerre. Même ainsi, il est difficile de s'imaginer qu'un aménagement de cette importance puisse être réalisé en si peu de temps, alors que des progrès restaient à faire dans le domaine des matériels de terrassement et de bétonnage.

(1) Walter B. Edgar, *Histoire de Santee Cooper, 1934-1984*.

private power interests and some land holders, as mentioned below, were also against it. But, ultimately, the grant of 45 % of the cost, plus guarantee of the State's 55 % share, were obtained from Washington and an agency, the South Carolina Public Service Authority (SCPSA), was established in 1934 to develop and operate the project.

Opposition died hard : constitutionality was challenged, the cost estimate was claimed to be too low and geologists were brought in to charge that the reservoirs would never hold water. Opponents lost their case in 1937 and an appeal in 1938. Harza Engineering Company was hired in July of the same year and the Federal Power Commission License was purchased from the original holder in 1939.

4.1. Jobs

It is reported that between 1920 and 1935, 80 % of South Carolina's young high school and college graduates left the state because of its depressed condition. Manufacturing was declining in all segments. Less than \$ 400 million capital was being invested in 1930; only \$ 113 000 in Berkeley County, site of the project (1).

Timber clearing, which began in April 1939, was the responsibility of the Federal Works Progress Administration (WPA). The agency established camps where the workers were fed, housed and given recreation and medical care. Nearly 9 000 men, drawn by quota from each of the 46 counties in the state, were employed in the logging, milling and clearing operation.

Construction itself began in May 1939. Interestingly, though its impetus was similar to that of the federal Tennessee Valley Authority hydroelectric development, SCPSA did not become an employer of construction personnel itself, as TVA did. All construction was done by private contracts awarded to the lowest responsible bidder. At its peak the work force was 12 500, including those working on clearing. Thirty-three contractors were employed in the nation's largest Public Works Administration project.

Second level jobs were created to service the construction organization and, starting in 1942, low cost power available to the Charleston industrial area created still more opportunities for workers.

4.2. Hydroelectric Power

First generation occurred in February 1942, less than three years after excavation began. All units were in service by the following June. The project received strong impetus from Washington as a vital part of the War effort. Even so, it is hard to conceive of a project of this size being achieved in such a short time given the advances in earth moving and concrete handling equipment that were yet to come.

(1) Walter B. Edgar, *History of Santee Cooper*, 1934-1984.

L'énergie vint rapidement en aide aux industries de la région de Charleston, en particulier à l'important chantier de construction navale et à la Compagnie Métallurgique de Pittsburgh. Des coopératives locales d'électricité furent également desservies, mais seulement dans une certaine mesure. Le réseau public de distribution d'électricité à une région plus étendue restait à aménager et des entreprises privées étaient peu disposées à souscrire des contrats « tournants ».

La création de la « Central Electric Power Cooperative Inc », en 1948, ouvrit la voie aux fonds Fédéraux pour la distribution de l'énergie provenant de l'Administration de l'Electrification Rurale. CEPC associa quatorze coopératives plus petites et permit à l'énergie fournie par Santee Cooper d'atteindre 35 des 46 comtés de Caroline du Sud (1).

Comme la demande d'électricité augmentait au cours des années, il apparut évident, dans l'exploitation de SCPSA, que l'énergie hydroélectrique ne pourrait y faire face seule, principalement au cours des années sèches, et que d'autres sources d'énergie devaient être utilisées. Aujourd'hui, l'énergie hydraulique assure seulement une faible partie des besoins publics (voir aussi le chapitre ci-après 5.4., nouvelle dérivation de la rivière).

4.3. Santé publique

Si Santee Cooper était proposé aujourd'hui, on se préoccuperait, dès le début, des animaux sauvages vivant dans les marais. En 1934, aucune espèce rare ou mise en danger n'était signalée. En fait, les seules voix qui se firent entendre à propos des marais étaient celles de « riches industriels du nord qui avaient acheté des réserves de chasse et des plantations dans le pays » (1).

Au contraire, c'étaient les habitants des marais et de ses environs, de même que les ouvriers de Santee Cooper, qui étaient menacés par la malaria transmise par les moustiques. En même temps qu'avait été exécuté le nettoyage (photo C), la Division Santé et Hygiène de SCPSC établit des techniques de lutte contre les larves de moustiques — drainage des eaux stagnantes et pulvérisation de mazout (photo D) — pour combattre la maladie. En 1939, 1 300 cas de malaria et 46 décès furent enregistrés dans les comtés bordant les retenues de Marion et de Moultrie; en 1948, aucun cas ne fut signalé (1).

4.4. Maîtrise des crues

Avant la construction de Santee Cooper, la rivière Santee inondait ses rives, en moyenne neuf mois par an (1). L'aménagement élimina ce danger. On abaisse les plans d'eau pour amortir les crues et on surveille l'hydrologie du bassin versant pour alerter suffisamment tôt les fermiers lorsque des orages exceptionnels surviennent et que d'importantes lâchures doivent être effectuées à l'improviste.

A ce propos, on fera cependant observer que les collectivités et fermiers de la zone de la retenue durent être déplacés, de même aussi qu'un grand nombre de cimetières. On fit tout cela en tenant compte des souhaits et des sensibilités des personnes concernées, afin de reconstituer les cadres familiaux et les collectivités, les bâtiments privés et publics étant conservés et déplacés partout où cela était possible.

(1) Walter B. Edgar, *Histoire de Santee Cooper*, 1934-1984.

Power immediately began to assist the industries in the Charleston area, particularly the important naval shipyard and Pittsburgh Metallurgical Company. Service was also established to local electric cooperatives, but only to a limited extent. Public power connections to a broader area had yet to be developed and private utilities were reluctant to enter into “wheeling” contracts.

Establishment of the Central Electric Power Cooperative, Inc. in 1948 led the way to Federal funds for transmission from the Rural Electrification Administration. CEPC joined together fourteen smaller cooperatives and eventually enabled Santee Cooper power to reach 35 of 46 South Carolina counties (1).

As its electric load increased over the years, the limitations of hydroelectric power, particularly in dry years, became evident in SCPSC’s operations and other sources of generation were sought. Today, only a minor part of the utility’s service is provided by water power. (See also river re-diversion, 5.4 below.)

4.3. Public Health

If Santee Cooper were proposed today, an early concern would be for the wildlife in the Santee Swamp. In 1934 no rare or endangered species were mentioned. In fact, the only voices raised with concern for the swamp were those of “wealthy northern industrialists who had purchased hunting preserves and plantations in the low country” (1).

On the contrary, it was the human inhabitants of the swamp and its surrounding area, and the Santee Cooper workers, who were endangered from mosquito-borne malaria. Contemporary with the clearing operation (Photo C), SCPSC’s Health and Sanitation Division established mosquito larvae control techniques — draining standing water and oil spraying (Photo D) — to battle the disease. In 1939, 1 300 malaria cases and 46 deaths were reported in the counties that would border Lakes Marion and Moultrie; in 1948 no cases were reported (1).

4.4. Flood Control

In the years before Santee Cooper, the Santee River had overflowed its banks an average of nine times per year (1). The project eliminated this threat. Flood control draw downs are made and basin hydrology is monitored to give farmers sufficient warning when unusual storms occur and unexpected large releases must be made.

In connection with flood control, however, the need to resettle the communities and farmers in the reservoir areas should be remarked, so, too, the relocation of a large number of cemeteries in the area. All was done with consideration for the desires and feelings of those involved and with a goal of recreating family situations and communities with private and public buildings being retained and moved wherever possible.

(1) Walter B. Edgar, *History of Santee-Cooper*, 1934-1984.

4.5. Navigation

Comme indiqué précédemment, la navigation a été longtemps une des activités de Santee Cooper. Une écluse pour une différence de niveau de 23 m environ fut installée à côté de l'usine hydroélectrique en vue de permettre le trafic des péniches sur les lacs et de faire, un jour peut-être, de Columbia un port fluvial.

Cela n'arriva pas. Le Corps des Ingénieurs de l'Armée des États-Unis (US Army Corps of Engineers), agence fédérale responsable de la navigation fluviale, qui avait appuyé au début le projet d'amélioration de la rivière Congaree pour la navigation, modifia complètement sa position, et l'idée d'une grande voie navigable fut finalement abandonnée.

Cependant, l'écluse comme on l'indique ci-après, rendit d'utiles services de façon inattendue; elle continue de fonctionner pour la navigation de plaisance.

5. ENVIRONNEMENT II - LES SURPRISES

Santee Cooper répondit à tous les objectifs fixés à l'origine, sauf à l'un d'entre eux, mais un certain nombre d'imprévus survinrent, ce qui modifia profondément son impact. Certaines surprises étaient bénéfiques, d'autres ne l'étaient pas. Mais, dans l'ensemble, l'aménagement les a bien surmontées, en réunissant le plus souvent de bonnes choses et en corrigeant les effets indésirables de l'aménagement.

5.1. Loisirs

L'environnement, dans les années 1930, laissait peu prévoir ce que seraient plus tard la richesse et la mobilité des Américains. On fondait peu d'espoirs sur le développement d'une importante zone de loisirs, telle que sont devenues les retenues Marion et Moultrie. Aujourd'hui, des villas destinées à la location, des pavillons, des terrains de camping, des marinas permettent aux résidents tout proches et au personnel de service, aux touristes venant d'autres États, de jouir d'une grande variété de loisirs. L'écluse de Pinopolis permet des liaisons directes par bateau depuis Charleston et l'océan. Le reboisement autour des retenues a créé un magnifique milieu naturel pour les animaux sauvages à la grande joie des chasseurs.

5.2. Pêche

L'effet bénéfique le plus inattendu de Santee Cooper a été la création de l'une des pêches de loisir les plus appréciées dans le sud-est. « Bienfait inattendu » est à peine le terme. Dans les premières années suivant son achèvement, Santee Cooper fut sévèrement critiqué par certains pêcheurs, persuadés que cet aménagement détruirait l'une des plus grandes possessions de l'État : le bar zébré (labre). On craignait que l'interruption du cycle du poisson, qui fraie dans les eaux fraîches des rivières et retourne à la mer pour se développer, ne conduise à un désastre.

Cette prévision s'avéra fautive. Vers la fin des années 40, on jugea nécessaire de protéger le parement amont du barrage au moyen d'un rip rap constitué de gros enrochement et remplaçant le revêtement d'origine en béton poreux moins coûteux. Le passage des péniches par l'écluse de Pinopolis, avec 800 000 tonnes d'enrochement transportées, attira fortuitement le labre lors de la saison du frai. Loin de

4.5. Navigation

As has been indicated above, Santee Cooper had long been a navigation concept. Toward that end, the 22.9 m lift lock was installed beside the powerhouse to permit barge traffic into the lakes, perhaps to make Columbia one day an inland port.

It never came about. The U.S. Army Corps of Engineers, the federal agency responsible for inland navigation, reversed its earlier support for possible improvement of the Congaree River, and the idea of major navigation was finally dropped.

The lock, however, as is noted below, served beneficially in an unexpected way and continues to contribute to the enjoyment of pleasure craft boating.

5. ENVIRONMENT II - THE SURPRISES

Santee Cooper met all but one of its original goals, but a number of unforeseen things occurred which made important changes to its impact. Some of the surprises were salutary, some were not. But overall, the project has fared them well, making the most out of good things and correcting the undesirable project impacts.

5.1. Recreation

The environment of the 30's gave little inkling of what would later happen to the affluence and mobility of Americans. Small promise was seen for the major recreational resource that Lakes Marion and Moultrie have become. Today, rental cottages, lodges, camps, and marinas provide a wide variety of water-related recreation to entertain both nearby residents and servicemen plus travellers from other states. The Pinopolis Lock permits direct boating connections from Charleston and the ocean. Reforestation around the perimeters of the lakes has developed a fine environment for wildlife to the enjoyment of field sportsmen.

5.2. Fishery

The most unexpected boon of Santee Cooper has been the establishment of one of the most exciting game fisheries in the Southeast. "Unexpected boon" is hardly the phrase. In the years shortly after its completion, Santee Cooper was being damned by some sportsmen as sure to destroy one of the major assets of the State : the striped bass (rockfish). It was feared that the interruption of the cycle of the fish that spawned in the fresh waters of the rivers, but returned to the sea to develop, would be disastrous.

But such predictions were wrong. In the late 40's, it was found necessary to protect the upstream faces of the dams with heavy stone riprap replacing part of the original less costly porous concrete facing. The passage of barges through the Pinopolis Lock with 800 000 tonnes of stone accidentally brought along the rockfish during spawning season. Far from resenting the new habitat, the fish multiplied

repousser le nouveau milieu, le poisson se multiplia de façon spectaculaire et, aujourd'hui, la pêche d'espèces variées, et en particulier du bar zébré, attire des visiteurs depuis des centaines de kilomètres alentour (photo E).

Une autre surprise résultant de la pêche fut le bienfait supplémentaire qu'elle apporta dans la lutte contre les moustiques. Les larves de l'insecte sont la nourriture préférée du poisson.

5.3. Fourniture d'eau industrielle

On pensa que la fourniture d'eau aux industries constituerait un bienfait substantiel tiré de Santee Cooper. Du terrain était réservé aux implantations industrielles. Un ouvrage d'évacuation spécial, différent des turbines, avait été prévu pour la restitution de débits à l'aval. Mais, il y eut peu d'implantations et l'industrie resta à l'aval dans la région de Charleston, malgré l'attrait résultant du faible coût de l'énergie de Santee Cooper.

Le futur organe d'évacuation posa ultérieurement un problème — une autre surprise. Ses batardeaux amont et aval étaient en bois traité. Du fait de leur immersion, on avait prévu que leur détérioration serait faible. Cependant, le bois pourrit de l'intérieur vers l'extérieur et, en 1983, il y avait menace de fuite. Une protection avec des sacs de sable et le remplacement des batardeaux suivant un programme d'urgence du maître d'ouvrage écartèrent tout danger.

Un incendie à l'usine, en 1970, montra que les industries sur la rivière Cooper, à l'aval, étaient tributaires des lâchures d'eau en provenance des retenues. Les lâchures tendaient à faire avancer l'effet d'estuaire vers le large. L'incendie mit hors service les groupes de l'usine, ce qui nécessita de trouver une autre solution pour restituer les débits élevés à l'aval. Finalement, l'écluse de Pinopolis permit le passage de tels débits.

5.4. Envasement et projet de nouvelle dérivation

Dans le projet tel qu'il avait été conçu, le problème de l'envasement n'avait pas été jugé important. On avait prévu que les limons se déposeraient dans les eaux calmes des deux grandes retenues.

Cela s'avéra faux. Les eaux de la rivière Santee chargées de limons traversaient la retenue de Moultrie et se déposaient dans la rivière Cooper à l'aval. Au cours des années, l'envasement posa des problèmes dans la région de Charleston, en particulier dans les années 60 où la Marine des États-Unis commença à étudier une base pour grands sous-marins sur la rivière Cooper, nécessitant un chenal profond.

Le Corps des Ingénieurs de l'Armée des États-Unis étudia la question et établit qu'une nouvelle dérivation des eaux de la rivière Santee vers leur cours primitif était nécessaire pour éviter des problèmes ultérieurs dans le port. Dans l'opération, 340 m³/s sur les 425 m³/s à l'origine sont maintenant dérivés à partir de la station Jeffries de Santee Cooper.

Les effets de cette dérivation sur l'aménagement hydroélectrique se sont heureusement amortis dans le temps. A l'origine, l'usine de Santee Cooper fournissait une énergie de base nécessitant un fonctionnement continu et l'évacuation d'un volume important d'eau dans le cours inférieur de la rivière Cooper. Mais aujourd'hui, étant un petit élément d'un système de production d'énergie beaucoup plus grand, elle fonctionne en usine de pointe journalière et évacue annuellement

spectacularly and today fishing for a variety of species, but particularly for striped bass, is an attraction that brings visitors from hundreds of miles around (Photo E).

Another surprise aspect of the fishery was the additional benefit it provided in mosquito control. The insect larvae are a favorite food of the fish.

5.3. Industrial Water Supply

Fresh water from manufacturing was thought to be a substantial benefit to come from Santee Cooper. Land was dedicated for the industrial parks. A special outlet was provided for downstream releases, separate from the power turbines. But little development occurred and industry stayed downstream in the Charleston area, attracted albeit by the inexpensive Santee Cooper power.

The future outlet became the source of a later problem-another surprise. Its upstream and downstream closure bulkheads were of treated timber. Submerged as they were, little deterioration was anticipated. However, rotting occurred from the inside of the bulkheads outward and, in 1983, led to a threatening leak. Sandbagging and replacement of the bulkhead in an effective emergency plan of the Owner, averted any major problem.

A powerhouse fire in 1970 pointed up the dependence of the downstream Cooper River industries on the fresh water releases from the lakes. The releases tended to force the estuarial action of the river seaward. The fire put the generating units out of service, necessitating an alternate way to make the large downstream releases. Ultimately, the water passages of the Pinopolis Lock were put into service for the purpose.

5.4. Siltation and the Re-Diversion Project

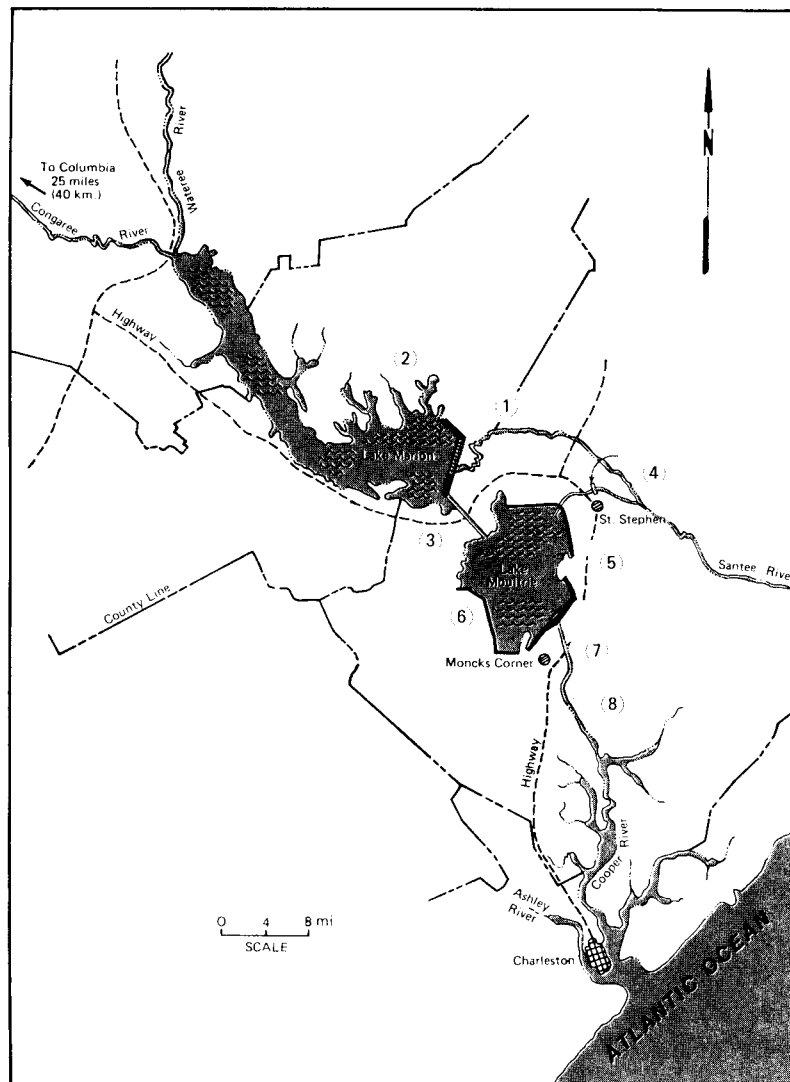
In the project as conceived, silting was not projected as a major problem. It was expected that silt would settle out in the stillwater of the two large reservoirs.

This proved inaccurate. The silt-laden waters of the Santee River passed through Lake Moultrie and deposited in the Cooper River downstream. Over the years the silting action became a problem in the Charleston area, particularly in the 1960's when the U.S. Navy began to plan a base on the Cooper River for large submarines requiring a deep channel.

The U.S. Army Corps of Engineers studied the problem and determined that rediversion of the Santee waters back into their original course was necessary to avoid further harbor problems. In the process, 340 m³/s of the original 425 m³/s is now routed away from Santee Cooper's Jeffries Station.

Fortunately, the passage of time has already cushioned the effects of the river re-diversion on project power production. The original Santee Cooper Hydro Power Plant was a base load power facility requiring continuous flow and a large annual discharge into the lower Cooper River. But today, as a small element of a much larger power system, it operates as a daily peaking plant and provides only a small annual discharge into the lower Cooper River, thus minimizing silting. Base load

un faible volume d'eau dans la rivière Cooper, ce qui réduit l'envasement. L'énergie hydraulique de base est maintenant fournie par la nouvelle usine de Saint-Stephen, située à l'endroit où les eaux dérivées à nouveau rejoignent le cours inférieur de la rivière Santee (voir Fig. 1). Ainsi, les ressources hydrauliques sont complètement utilisées.



hydro power now comes from the new St. Stephen Hydro Station located where the re-diverted flows enter the lower Santee (See Fig. 1). Thus, the water power resource is completely utilized.

Fig. 1

Aménagement de Santee Cooper (Caroline du Sud). Carte de situation.
Santee Cooper Project (South Carolina). Location Map.

- | | |
|---|---|
| (1) Barrages et évacuateur de crue de Santee. | (1) <i>Santee dams and spillway.</i> |
| (2) Retenue de Marion. | (2) <i>Lake Marion.</i> |
| (3) Canal de dérivation. | (3) <i>Diversion canal.</i> |
| (4) Nouvelle dérivation de la rivière Cooper. | (4) <i>Cooper river rediversion project.</i> |
| (5) Digues. | (5) <i>Dikes.</i> |
| (6) Retenue de Moultrie. | (6) <i>Lake Moultrie.</i> |
| (7) Barrage, usine et écluse de Pinopolis. | (7) <i>Pinopolis dam powerhouse and lock.</i> |
| (8) Canal de fuite. | (8) <i>Tailrace canal.</i> |
| — . . . — Limites de Comté. | <i>County line.</i> |
| ---- Route. | <i>Highway.</i> |

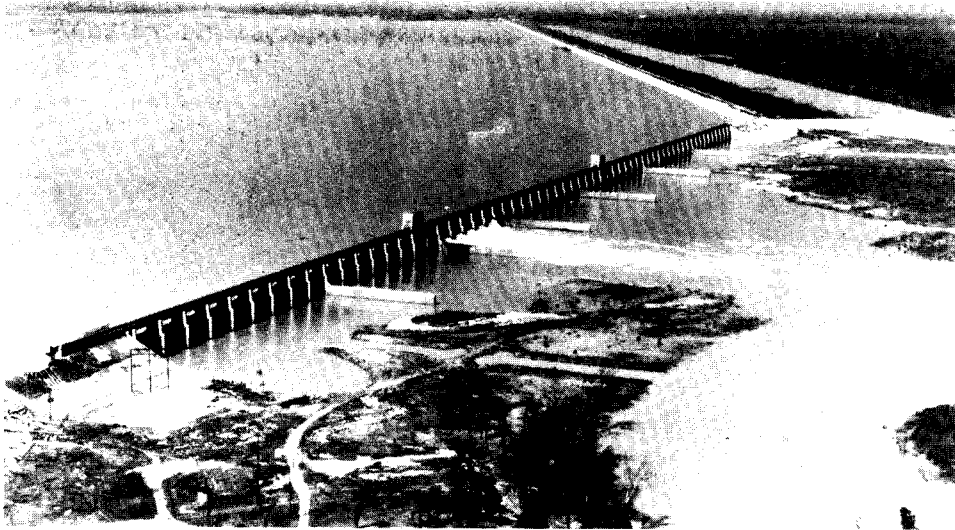


Photo A

Vue du barrage de Santee, avec son évacuateur de crue équipé de 62 vannes, et la retenue de Marion à gauche.

Looking north across Santee Dam, with its 62-gate spillway, and Lake Marion at the left.

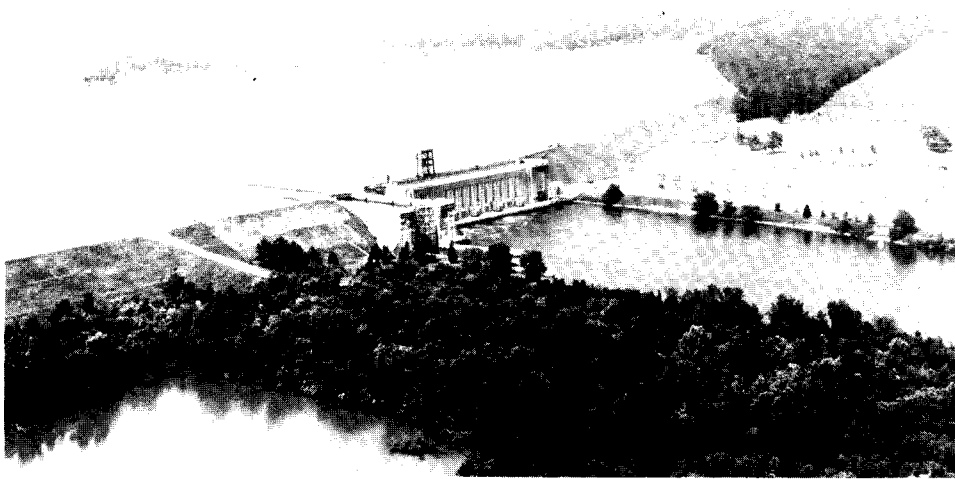


Photo B

Vue de l'aménagement de Santee Cooper, avec le barrage de Pinopolis, l'usine et l'écluse de navigation. Au milieu, à l'arrière-plan, on aperçoit la retenue de Moultrie et la petite péninsule avec la ville de Pinopolis.

Santee Cooper Project looking southwest across the Pinopolis Dam, Powerplant and Navigation Lock. Lake Moultrie and the small peninsula with the town of Pinopolis are in the mid-background.



Photo C

Le nettoyage des marais de Santee était difficile.
Des chaussées constituées de rondins furent construites
pour l'accès à quelques-unes des zones les plus humides.

*Clearing in the Santee swamp was difficult.
Corduroy roads were built to give access to some
of the wettest areas.*



Photo D

Des équipes furent organisées et entraînées pour la pulvérisation de produits contre les moustiques. La lutte contre les moustiques dans les marais fut une réussite : les cas de malaria, dans la région, passèrent de 1 300 en 1939, à zéro en 1948. La plaque commémore le canal de Santee qui fut exploité de 1793 à 1850 environ.

Spraying crews were organized and trained. The effort was successful in controlling mosquitoes in the swamps; malaria cases in the area were reduced from 1 300 in 1939 to zero reported in 1948. Historical marker is for the Santee Canal which operated from 1793 to about 1850.



Photo E

Certains pêcheurs étaient persuadés que le barrage et la dérivation des rivières Santee et Cooper feraient disparaître la pêche du bar zébré. Mais le poisson prit de nouvelles habitudes et survécut de façon spectaculaire, à la grande joie des pêcheurs venant de centaines de kilomètres alentour.

Some sportsmen were sure the damming and diversion of the Santee and Cooper Rivers would mean an end to the striped bass fishery. But the fish developed new habits and survived spectacularly, to the delight of fishermen from 100's of kilometers around.

Imprimerie de Montlignon, 61400 La Chapelle Montlignon
Dépôt légal : mai 1988 - N° 13652 - ISSN 0534-8293
Couverture : Olivier Magna

Copyright © ICOLD - CIGB

Archives informatisées en ligne  *Computerized Archives on line*

*The General Secretary / Le Secrétaire Général :
André Bergeret - 2004*



**International Commission on Large Dams
Commission Internationale des Grands Barrages
151 Bd Haussmann -PARIS -75008**
<http://www.icold-cigb.net> ; <http://www.icold-cigb.org>