

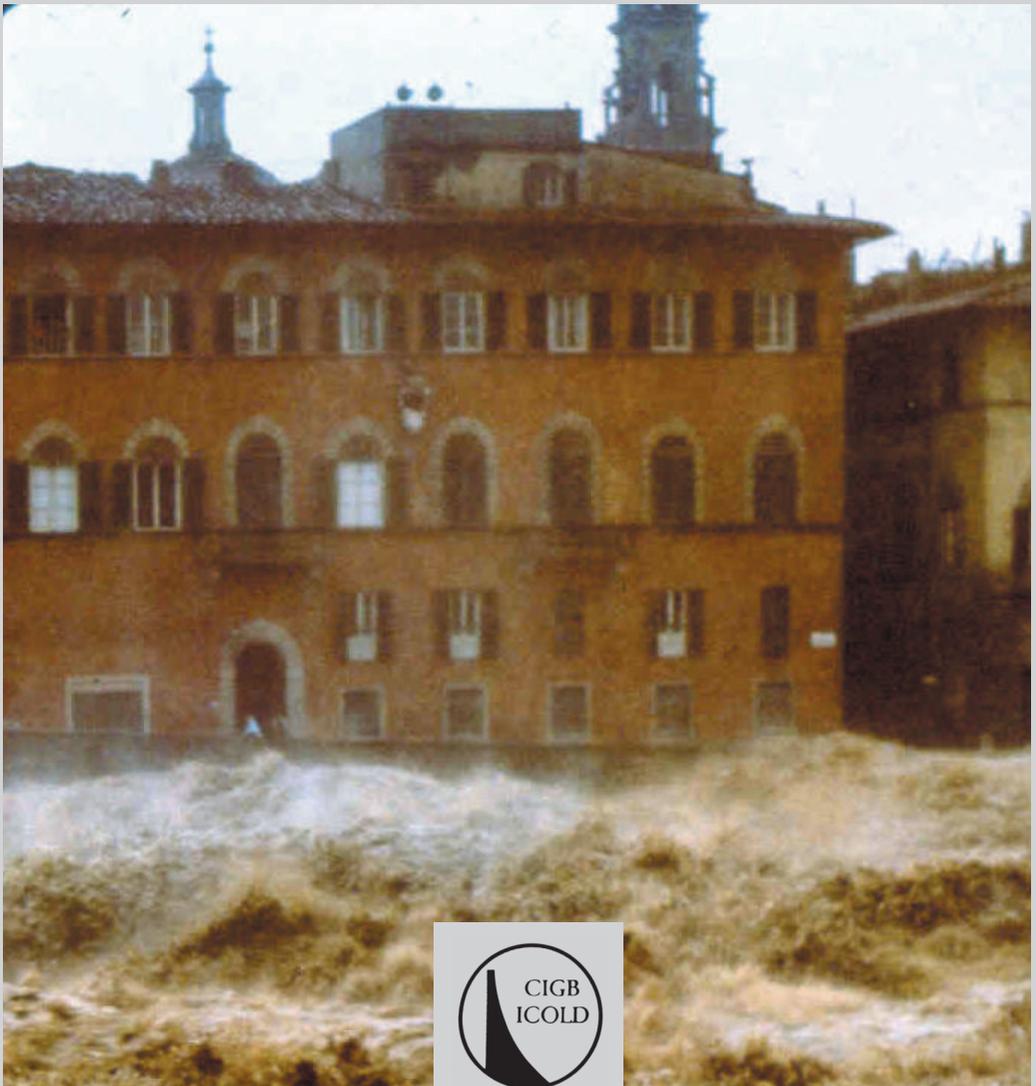
ROLE OF DAMS IN FLOOD MITIGATION

A review

RÔLE DES BARRAGES DANS L'ATTÉNUATION DES CRUES

Synthèse

Bulletin 131



2006

Cover photograph
Florence Flood in November 1966

*Photo de couverture
Inondation de Florence en novembre 1966*

AVERTISSEMENT – EXONÉRATION DE RESPONSABILITÉ :

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.

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 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.

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.

Original text in English
French translation by Adelinck.

*Texte original en anglais
Traduction en français par Adelinck.*

ROLE OF DAMS IN FLOOD MITIGATION

A review

RÔLE DES BARRAGES DANS L'ATTÉNUATION DES CRUES

Synthèse

Commission Internationale des Grands Barrages - 151, bd Haussmann, 75008 Paris
Tél. : (33-1) 53 75 16 52 - Fax : (33-1) 40 42 60 71
E-mail : secretaire.general@icold-cigb.org
Sites : www.icold-cigb.org & www.icold-cigb.net

COMMITTEE ON DAMS AND FLOODS
COMITÉ DES BARRAGES ET DES CRUES

Chairman/Président

Spain/Espagne

L. BERGA

Members/Membres

Australia/Australie

R. NATHAN

Brazil/Brésil

N. PINTO

Canada

C. GUILLAUD

China/Chine

C. KUNHUANG

Colombia/Colombie

C. OSPINA

Czech Rep./République Tchèque

J. POLÁČEK (1)

Dominican Rep./République Dominicaine

J.M. ARMENTEROS

France

M. POUPART (2)

P. ROYET (3)

D. ROULT (4)

Germany/Allemagne

A. SHUMANN (5)

India/Inde

K.V.S. SUBRAHMANYAM

Iran

A. K. KHAGEHMOGAHI

Ireland/Irlande

J. O'KEEFFE

Italy/Italie

G. GALEATI

Japan/Japon

R. ABE (6)

M. KASHIWAYANAGI (7)

Korea/Corée

J. SONU (8)

W. KIM (9)

Netherlands/Pays-Bas

J. VAN DUIVENDYK

Norway/Norvège

K. REPP

Pakistan

I. B. SHAIKH

Romania/Roumanie

O. GABOR

Russia/Russie

A. ASARIN

South Africa/Afrique du Sud

G.G.S. PEGRAM (10)

A. GORGENS (11)

Sweden/Suède

C. O. BRANDESTEN

Switzerland/Suisse

L. MOUVET (12)

B. JOSS (13)

United States/États-Unis

E. EIKER

(1) since/depuis 2003

(6) until/jusqu'à 2002

(11) since/depuis 2002

(2) until/jusqu'à 2004

(7) since/depuis 2002

(12) until/jusqu'à 2005

(3) 2004-2005

(8) until/jusqu'à 2003

(13) since/depuis 2005

(4) since/depuis 2005

(9) since/depuis 2003

(5) since/depuis 2004

(10) until/jusqu'à 2002

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS

1. INTRODUCTION –
CATASTROPHES
NATURELLES
2. CRUES
3. MESURES D'ATTÉNUATION
DE L'IMPACT DES CRUES
4. VERS UNE GESTION
INTÉGRÉE DES CRUES –
ÉTAPES DU DÉVELOPPEMENT
DE LA PROTECTION
CONTRE LES CRUES
5. RÔLE DES BARRAGES DANS
L'ATTÉNUATION DES CRUES
6. RÉSUMÉ
7. RÉFÉRENCES

CONTENTS

FOREWORD

1. INTRODUCTION –
NATURAL
DISASTERS
2. FLOODS
3. MEASURES TO MITIGATE
FLOOD IMPACTS
4. TOWARDS INTEGRATED
FLOOD MANAGEMENT –
STEPS OF DEVELOPMENT
OF FLOOD MITIGATION
5. ROLE OF DAMS IN FLOOD
MITIGATION
6. SUMMARY
7. REFERENCES

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	10
1. INTRODUCTION – CATASTROPHES NATURELLES	14
2. CRUES	20
3. MESURES D'ATTÉNUATION DE L'IMPACT DES CRUES	30
4. VERS UNE GESTION INTÉGRÉE DES CRUES – ÉTAPES DU DÉVELOPPEMENT DE LA PROTECTION CONTRE LES CRUES ..	38
5. RÔLE DES BARRAGES DANS L'ATTÉNUATION DES CRUES	44
5.1. Introduction	44
5.2. Classification des barrages suivant leur rôle dans l'atténuation des crues	48
5.3. Barrages d'atténuation des crues	52
5.4. Expériences et cas réels	56
5.5. Barrages d'atténuation des crues et changements climatiques	62
6. RÉSUMÉ	68
7. RÉFÉRENCES	74

TABLE OF CONTENTS

FOREWORD	11
1. INTRODUCTION – NATURAL DISASTERS	15
2. FLOODS	21
3. MEASURES TO MITIGATE FLOOD IMPACTS	31
4. TOWARDS INTEGRATED FLOOD MANAGEMENT – STEPS OF DEVELOPMENT OF FLOOD MITIGATION	39
5. ROLE OF DAMS IN FLOOD MITIGATION	45
5.1. Introduction	45
5.2. Classification of dams according to their role in the flood mitigation	49
5.3. Flood mitigation dams	53
5.4. Experiences and real cases	57
5.5. Flood mitigation dams and climate change	63
6. SUMMARY	69
7. REFERENCES	75

LISTE DES FIGURES

Fig. 1. Grandes catastrophes naturelles 1960-2000 (MuRe)	18
Fig. 2. Principales crues désastreuses.....	20
Fig. 3. Indicateur de crues – Victimes par an et par million d’habitants	26
Fig. 4. Pertes économiques par an/ PIB total par mille	28
Fig. 5. Mesures contre les crues	32
Fig. 6. Protection contre les crues : actions et mesures.....	42
Fig. 7. Situation d’inondation avec et sans barrages dans la région de Mizusawa	64

LIST OF FIGURES

Fig. 1. Great natural disasters 1960-2000 (MuRe).....	19
Fig. 2. Major flood disasters	21
Fig. 3. Flood indicator – Victims per year per million inhabitants.....	27
Fig. 4. Economic damages per year/ total GNP per thousand.....	29
Fig. 5. Measures in the face of floods.....	33
Fig. 6. Flood mitigation : actions and measures.....	43
Fig. 7. Inundated situation with and without dams at Mizusawa area.....	65

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Les principales catastrophes naturelles en fonction du nombre de victimes et de la population affectée (1975-2001)	16
Tableau 2	Les principales catastrophes naturelles en fonction des pertes économiques (1980-2001).....	18
Tableau 3	Les plus importantes crues catastrophiques (1990-2002).....	22
Tableau 4	Nombre moyen annuel de victimes (1990-2002)	24
Tableau 5	Pertes moyennes annuelles provoquées par les crues (1990-2003)..	24
Tableau 6	Réservoirs d'écrêtement des crues ayant un volume de protection contre les crues (PC) supérieur à 5 km ³	50

LIST OF TABLES

Table 1 Major natural disasters in relation to the number of victims and affected population (1975-2001)	17
Table 2 Major natural disasters in relation to economic damages (1980-2001).....	19
Table 3 Most important catastrophic floods (1990-2002).....	23
Table 4 Mean number of victims per year (1990-2002)	25
Table 5 Mean annual damages produced by floods (1990-2003).....	25
Table 6 Flood mitigation (FM) reservoirs with flood protection capacity over 5 km ³	51

AVANT-PROPOS

Les catastrophes naturelles posent un très grand danger pour la vie sur Terre et représentent une grave menace au développement durable. Elles ont un impact très fort sur les sociétés les plus pauvres et dans bien des cas, elles ont l'effet d'un frein majeur à leur développement.

Parmi les risques naturels, les crues sont un des principaux types de catastrophes naturelles. Elles représentent environ 30 % du nombre total des catastrophes naturelles, 30 % des pertes économiques, et 20 % des décès dus aux catastrophes naturelles. Chaque année, depuis 1975 à 2000, on dénombre en moyenne environ 100 crues importantes qui sont la cause de 11 000 décès par an et qui ont touché quelques 150 millions de personnes par an. En d'autres termes, au cours de la dernière décennie du 20^{ème} siècle, c'est environ 25 % de la population mondiale qui ont souffert des crues catastrophiques.

Compte tenu de la gravité de ce problème, on a engagé de nombreuses actions à tous les échelons de compétences: territoriales, régionales, nationales et internationales, actions destinées à réduire les impacts des catastrophes naturelles. Ainsi, en 2000, l'ONU lance la Stratégie internationale de Prévention des Catastrophes (ISDR), dont le but principal est d'aider les communautés à faire face aux catastrophes au moyen d'actions de sensibilisation vis-à-vis de la nécessité de la prévention des catastrophes dans le cadre d'un développement durable, l'objectif final étant la réduction des pertes humaines, sociales, économiques et environnementales causées par les catastrophes naturelles.

Dès 1994, la CIGB crée un Comité des Barrages et des Crues qui, en 2003, publie le Bulletin 125 sous le titre « Barrages et crues. Recommandations et études de cas ». En 2000, dans le cadre de ses contributions aux travaux de l'ISDR, la CIGB décide de réviser et mettre à jour les recommandations et publications éditées par les différents organismes (CIID, CIGB, WWF, CMB, IDNDR, ...), et de rédiger une publication sur le Rôle des barrages pour la Prévention des crues.

Le Bulletin sur « le Rôle des barrages pour la Prévention des crues – Une synthèse » rappelle les actions et les analyses entreprises, l'objectif principal étant de souligner le rôle que peuvent jouer les barrages au niveau de la maîtrise des crues dans la panoplie des choix possibles dans le cadre de la Gestion intégrée des Crues (GIC). Les barrages-réservoirs sont des outils de régulation très efficaces: en effet, un barrage peut stocker un grand volume d'eau en période de crue, modifier les courbes de propagation de la crue, et en abaisser fortement les pointes. Ce Bulletin présente des retours d'expériences et des cas vécus pour illustrer les avantages réels apportés par les barrages-réservoirs dans la maîtrise des crues, en Chine, aux E.-U., au Japon, en Corée du Sud, en Espagne et au Honduras. Cependant, bien que les barrages-réservoirs permettent le plus souvent de modifier les caractéristiques des crues récurrentes (fréquence, importance), comme avec toutes les autres options possibles, ils ne garantissent pas un niveau de protection totale.

Le Bulletin vise à présenter et expliquer le rôle des barrages-réservoirs dans la réduction des crues; il est destiné à un public plus large et moins spécialisé que les experts en la matière; ceux qui cherchent des informations techniques plus détaillées

FOREWORD

Natural disasters are a great danger to life on Earth and amount to a serious threat to sustainable development. They have a serious effect upon the poorest communities so they are often a major constraint to their development.

Amongst natural hazards, floods are one of the major types of natural disasters. They account for about 30% of the total number of natural disasters, 30% of all economic damage, and 20% of the fatalities caused by natural disasters. Every year between 1975 and 2000, there were an average of approximately 100 significant floods which caused about 11 000 fatalities per year and affected around 150 million people per year; this means that in the last decade of the 20th Century about 25% of the world population was affected by floods.

In view of the seriousness of this situation, numerous initiatives have been developed at all levels of government, local, regional, national and international, aimed at mitigating the impact of natural disasters. Thus, in 2000, the United Nations implemented the International Strategy for Disaster Reduction (ISDR), whose main purpose is “ building disaster resilient communities by promoting increased awareness of the importance of disaster reduction as an integral component of sustainable development, with the goal of reducing human, social, economic and environmental losses due to natural hazards ”.

In 1994, ICOLD set up a Committee on Dams and Floods, which in 2003 published Bulletin 125 concerning “ Dams and Floods. Guidelines and Case Histories ”. In 2000, and as part of its contribution to the ISDR, ICOLD decided to review and update the guidelines and publications issued by different organisations (ICID, ICOLD, WWF, WCD, IDNDR, etc.), with a view to preparing a publication on the Role of Dams in Flood Mitigation.

The Bulletin on “ The Role of Dams in Flood Mitigation – A Review ” shows a synthesis of the tasks performed and analyses conducted, its main purpose being to highlight the role that dams can play in flood mitigation, as one of the options to be taken into consideration within the framework of Integrated Flood Management (IFM). Dams and reservoirs constitute a very effective structural measure, since they are able to store large flood volumes, modify flood routing, and significantly reduce peak floods. This Bulletin contains relevant experiences and real cases of benefits that dams and reservoirs have brought where flood mitigation is concerned, in China, USA, Japan, South Korea, Spain and Honduras. It must not be forgotten that dams and reservoirs often reduce the frequency and severity of recurrent floods, but just like in any other alternative, the perception and presumption of total security should be avoided.

The Bulletin aims to demonstrate and put across the essential facts with respect to the role of dams and reservoirs in flood mitigation, and is aimed at a wider and more general audience than just dam experts, so any readers who are more

pourront consulter la bibliographie (dans ce Bulletin et dans les autres publications de la CIGB). Je crois que ce Bulletin constitue une synthèse objective présentant les avantages et les risques associés aux barrages-réservoirs dans le cadre d'une Gestion intégrée des crues.

Enfin, je remercie les membres du Comité des Barrages et des Crues qui ont rédigé ce Bulletin pour leur précieuse collaboration. Ces membres viennent de 25 pays différents et ont une grande expérience sur l'impact des crues et leur gestion en situation extrême.

Luis Berga
Président du Comité des Barrages et des Crues

interested in the technical details can refer to the bibliography contained therein and other ICOLD Bulletins that deal with a variety of matters concerning floods. I hope that the Bulletin will serve to objectively show the benefits and risks associated with dams and reservoirs as part of Integrated Flood Management.

Finally, I would like to thank members of the Committee on Dams and Floods who have prepared this Bulletin for their enthusiastic collaboration. The Committee members are from 25 countries, and they have great experience in the impacts of floods and flood management during flood events.

Luis Berga
Chairman, Committee on Dams and Floods

1. INTRODUCTION – CATASTROPHES NATURELLES

La vie sur la Terre est affectée par des catastrophes naturelles de toutes sortes. Chaque année, les séismes, éruptions volcaniques, glissements de terrain, lahars, raz-de-marée, ouragans, sécheresses et crues provoquent en moyenne 40 000 victimes, affectent 260 millions de personnes et entraînent des pertes économiques dépassant les 50 milliards de dollars. Ces valeurs moyennes ne doivent pas faire oublier que ces catastrophes surviennent en un laps de temps très court, avec une très grande intensité. Les catastrophes naturelles ont des conséquences beaucoup plus graves dans les pays en voie de développement, beaucoup plus vulnérables et moins aptes à mettre en œuvre des mesures préventives. Ces pays subissent plus de 90 % des pertes humaines dues aux catastrophes naturelles. D'autre part, ces dernières touchent gravement leur économie, avec très souvent une baisse du PIB, des exports, et de leur capacité à combattre la pauvreté et à se développer. L'ONU a estimé notamment que le cyclone Mitch en 1998 a retardé le développement économique des pays touchés (Honduras et Nicaragua) de près de 20 ans (1). Les crues du Mozambique de l'année 2000 ont provoqué une réduction de 23 % du PIB.

Les Tableaux 1 et 2 présentent le nombre de victimes et les pertes économiques dus aux principales catastrophes naturelles. L'impact de ces catastrophes et la forte incidence des catastrophes hydrométéorologiques peuvent y être observés.

L'impact des catastrophes naturelles est en constante augmentation au cours des dernières décennies, en raison d'une vulnérabilité accrue de sociétés se concentrant de plus en plus dans des plaines inondables et de centres urbains sensibles aux catastrophes naturelles. Le nombre de celles-ci a triplé depuis 1960, et doublé au cours de l'ultime décennie, pour atteindre environ 500 catastrophes notables par an. Dans le même temps le nombre moyen de victimes par an a légèrement baissé pendant la dernière décennie, grâce aux efforts de nombreux pays développés pour améliorer la prévision et l'atténuation des crues. Actuellement, la plupart des victimes de catastrophes naturelles sont touchées dans les pays en voie de développement. Ainsi, le nombre de personnes affectées par ces catastrophes a augmenté de 20 % au cours de la dernière décennie (2, 3, 4). Les pertes économiques ont augmenté de manière spectaculaire au cours des dix dernières années (9 000 % depuis 1960, et 3 000 % depuis 1980) (Fig.1) (5).

Les plus grandes pertes économiques se produisent en général dans les pays les plus développés, dont les infrastructures dans des zones à risque, notamment les plaines inondables, représentent de grands investissements. Toutefois, dans les pays en voie de développement, même si la valeur absolue des préjudices est inférieure, leur valeur relative par rapport au PIB est supérieure. Ceci entrave le développement durable et les mesures de réduction de la pauvreté.

Pour atténuer l'impact des catastrophes naturelles, des actions et initiatives nombreuses et variées sont mises en place à tous les échelons gouvernementaux : local, régional et international. Les activités au niveau international ont été énumérées dans la Décennie Internationale de la Prévention des Catastrophes (IDNDR 1990-2000), sous le parrainage de l'ONU, qui a développé de nombreuses

1. INTRODUCTION – NATURAL DISASTERS

Life on earth is affected by many kinds of natural disasters. Earthquakes, volcanic eruptions, landslides, lahars, tsunamis, tornados, typhoons, cyclones, droughts and floods produce an average of 40,000 fatalities per year, affect 260 M persons per year, and are the cause of mean economic damages of more than \$50B per year. Also, it must be taken into account that these data refer to “ average ” annual impacts, when the impacts that the natural disasters produce are more intense and occur in a short period of time. Natural disasters affect developing countries more severely, because of their great vulnerability and their reduced capability to implement preventive measures. More than 90% of all victims occur in these countries. Also, the effects on their economies are disastrous, reducing on numerous occasions their GNP, their exports, their capacity to alleviate poverty and their needs for development. For example, the UN estimated that Hurricane Mitch in 1998 imposed a delay in the economic development of the affected countries (Honduras and Nicaragua) of some 20 years (1). Mozambique Floods in 2000 produced a 23% reduction of GNP.

Tables 1 and 2, show major natural disasters related to number of victims and economic damages, respectively. The impacts of these disasters and the high incidence of hydrometeorological hazards can be observed.

The impacts of natural disasters show an increasing trend during the last few decades, due to a greater vulnerability of societies that concentrate more and more in floodplains and cities which are vulnerable to natural hazards. The number of natural disasters has tripled since 1960, and during the last decade it has doubled, to about 500 significant disasters per year. However, the “ mean ” number of victims per year has decreased slightly during the last decade, due to the efforts of many developed countries to increase their capability to anticipate floods and mitigate them. Currently most of the victims of natural disasters are produced in the developing countries. Thus, the number of people affected by disasters has increased by 20% in the last decade (2, 3, 4). The economic damages have increased in a spectacular manner during the last decade (a 9000% increase since 1960, and a 3000% increase since 1980) (Fig.1) (5).

Greater economic damages, in general, are produced in the most developed countries that have a large investment in infrastructure in risk areas such as floodplains. However, in the developing countries, although the absolute value of damages is less, the damages in relation to GNP are higher. This adversely impacts sustainable development, and works against reduction of poverty.

In order to mitigate the impacts of natural disasters numerous and varied actions and initiatives have been implemented at all levels of government: local, regional and international. Activity at the international level was spelled out in the International Decade for Natural Disaster Reduction (IDNDR 1990 - 2000), promoted by the UN, which developed numerous approaches and proposed diverse

Tableau 1
*Les principales catastrophes naturelles
en fonction du nombre de victimes et de la population affectée (1975-2001)*

Pays	Catastrophe naturelle	Année	Victimes	Personnes concernées
Éthiopie	Sécheresse	1984	300 000	7 750 000
République populaire de Chine	Séisme	1976	242 000	164 000
Soudan	Sécheresse	1984	150 000	8 400 000
Bangladesh	Cyclone	1991	138 866	15 438 849
Mozambique	Sécheresse	1985	100 000	2 466 000
République islamique d'Iran	Séisme	1990	40 000	605 000
Venezuela	Crue	1999	30 000	483 635
Arménie	Séisme	1988	25 000	1 642 000
Guatemala	Séisme	1976	23 000	4 993 000
Colombie	Éruption volcanique	1985	22 800	55 444
Inde	Séisme	2001	20 005	16 066 812
République islamique d'Iran	Séisme	1978	20 000	40 000
Turquie	Séisme	1999	17 200	1 358 953
Honduras	Cyclone	1998	14 600	2 112 000
Inde	Cyclone	1977	14 204	14 469 800
Bangladesh	Cyclone	1985	10 000	1 810 000
Inde	Cyclone	1999	9 843	12 628 312
Inde	Séisme	1993	9 782	195 566
Mexique	Séisme	1985	8 776	130 204
Japon	Séisme	1995	6 436	350 000
Afghanistan	Crue	1988	6 345	166 831
République populaire de Chine	Crue	1980	6 200	67 000

approches et proposé différentes actions et applications, rassemblées dans la « Stratégie de Yokohama » (1994) et dans la stratégie « Un monde plus sûr au xx^e siècle : prévention des risques et des catastrophes » (1999). Pour prolonger les activités développées par l'IDNDR et promouvoir la coopération internationale, l'ONU a mis en œuvre la Stratégie internationale pour la prévention des risques (ISDR), par sa résolution 54/219 de l'assemblée générale de l'année 2000. Parmi les principaux objectifs de l'ISDR, le développement ultérieur et l'utilisation des connaissances scientifiques et techniques existantes pour réduire la vulnérabilité aux catastrophes naturelles, en prenant en compte les besoins spécifiques des pays en voie de développement (6).

Table 1
*Major natural disasters in relation to the number of victims
and affected population (1975-2001)*

Country	Natural disaster	Year	Killed	Affected
Ethiopia	Drought	1984	300 000	7 750 000
China, P Rep	Earthquake	1976	242 000	164 000
Sudan	Drought	1984	150 000	8 400 000
Bangladesh	Cyclone	1991	138 866	15 438 849
Mozambique	Drought	1985	100 000	2 466 000
Iran, Islam Rep	Earthquake	1990	40 000	605 000
Venezuela	Flood	1999	30 000	483 635
Armenia	Earthquake	1988	25 000	1 642 000
Guatemala	Earthquake	1976	23 000	4 993 000
Colombia	Volcano	1985	22,800	55 444
India	Earthquake	2001	20 005	16 066 812
Iran, Islam Rep	Earthquake	1978	20 000	40 000
Turkey	Earthquake	1999	17 200	1 358 953
Honduras	Hurricane	1998	14 600	2 112 000
India	Cyclone	1977	14 204	14 469 800
Bangladesh	Cyclone	1985	10 000	1 810 000
India	Cyclone	1999	9 843	12 628 312
India	Earthquake	1993	9 782	195 566
Mexico	Earthquake	1985	8 776	130 204
Japan	Earthquake	1995	6 436	350 000
Afghanistan	Flood	1988	6 345	166 831
China, P Rep	Flood	1980	6 200	67 000

actions and applications, compiled in the “ Yokohama Strategy ” (1994) and in the strategy, “ A safer world in the 21st. Century: Risk and Disaster Reduction ” (1999). In order to continue the activities developed by the IDNDR and promote international co-operation, the UN implemented the International Strategy for Disaster Reduction (ISDR), by resolution 54/219 of the General Assembly in the year 2000. Among the principal objectives of the ISDR, is the urgent need to develop further and make use of the existing scientific and technical knowledge to reduce vulnerability to natural disasters, bearing in mind the particular needs of developing countries (6).

Tableau 2
*Les principales catastrophes naturelles en fonction
des pertes économiques (1980-2001)*

Pays	Date	Catastrophe	Victimes	Pertes économiques (M \$)
Japon	17/1/1995	Séisme	6 436	100 000
États-Unis	17/1/1994	Séisme	61	44 000
Chine	Mai-sept. 1998	* Crues	3 656	30 700
États-Unis	23-27/8/1992	Cyclone Andrew	62	26 500
Chine	27/6-13/8/1996	* Crues	3 048	24 000
Europe	Août 2002	* Crues	230	18 500
États-Unis	27/6-15/8/1993	* Crue	50	16 000
Venezuela	13-16/12/1999	* Crues subites, glissements de terrain	30 000	15 000
Corée du Nord	24/7-18/8/1995	* Crues	68	15 000
Chine	Mai-sept 1991	* Crues	3 074	15 000
EUROPE	25/1-1/3/1990	Tempêtes hivernales	230	14 800
Taiwan	20/9/1999	Séisme	2 474	14 000
Arménie	7/12/1988	Séisme	25 000	14 000
États-Unis	1/4-27/6/1988	Sécheresse		13 000
Turquie	17/8/1999	Séisme	17 200	12 000
Italie	23/11/1980	Séisme	2 914	11 800
Chine	21/6-20/9/1993	* Crues	3 300	11 000
AMÉRIQUE	20-30/9/1998	Cyclone Georges	4 000	10 000
Japon	26-28/9/1991	Cyclone Mireille (n° 19)	62	10 000

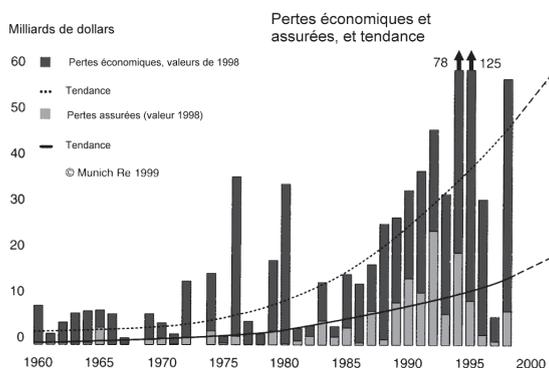


Fig. 1
Grandes catastrophes naturelles 1960-2000 (MuRe) (5)

Table 2
*Major natural disasters in relation
to economic damages (1980-2001)*

Country	Date	Disaster	Victims	Economic damage (M \$)
Japan	17.1.1995	Earthquake	6 436	100 000
United States	17.1.1994	Earthquake	61	44 000
China	May-Sep.1998	* Floods	3 656	30 700
United States	23-27.8.1992	Hurricane Andrew	62	26 500
China	27.6-13.8.1996	* Floods	3 048	24 000
Europe	Aug. 2002	* Floods	230	18 500
United States	27.6-15.8.1993	* Flood	50	16 000
Venezuela	13-16.12.1999	* Flash floods, landslides	30 000	15 000
Korea (North)	24.7-18.8.1995	* Floods	68	15 000
China	May-Sep.1991	* Floods	3 074	15 000
EUROPE	25.1-1.3.1990	Winter storms	230	14 800
Taiwan	20.9.1999	Earthquake	2 474	14 000
Armenia	7.12.1988	Earthquake	25 000	14 000
United States	1.4-27.6.1988	Drought		13 000
Turkey	17.8.1999	Earthquake	17 200	12 000
Italy	23.11.1980	Earthquake	2 914	11 800
China	21.6-20.9.1993	* Floods	3 300	11 000
AMERICA	20-30.9.1998	Hurricane Georges	4 000	10 000
Japan	26-28.9.1991	Typhoon Mireille (N° 19)	62	10 000

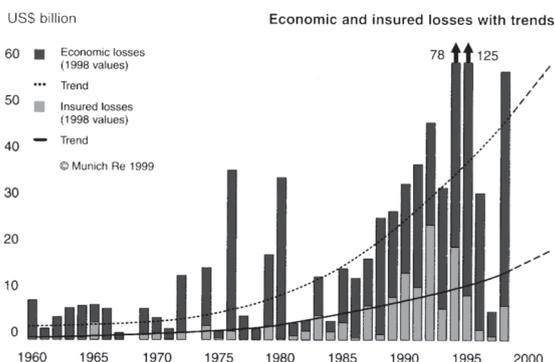


Fig. 1
Great natural disasters 1960-2000 (MuRe) (5)

2. CRUES

Les crues constituent l'une des catégories les plus importantes parmi les catastrophes naturelles. Elles représentent 30% environ du nombre total de catastrophes naturelles, 30 % des pertes économiques et pratiquement 20 % de toutes les victimes (2, 7, 8). Les données très complètes indiquent que, pendant la période 1975-2001, environ 95 crues importantes se produisent chaque année. Ces crues ont entraîné une moyenne de 11 000 victimes par an, et ont affecté pratiquement 150 millions de personnes chaque année (2, 9). Cela signifie que, au cours de la dernière décennie du xxe siècle, un quart de la population mondiale a été touchée par les crues.

Les effets des crues augmentent constamment et très rapidement au cours des dernières décennies. La Fig. 2 montre l'augmentation du nombre de crues désastreuses ayant produit des pertes importantes dans un pays : pertes économiques (1 % ou plus du PIB annuel), personnes concernées (1 % ou plus de la population du pays) et nombre de victimes (supérieur à 100). De manière générale, le nombre de crues désastreuses a quadruplé pendant les quatre dernières années (7).

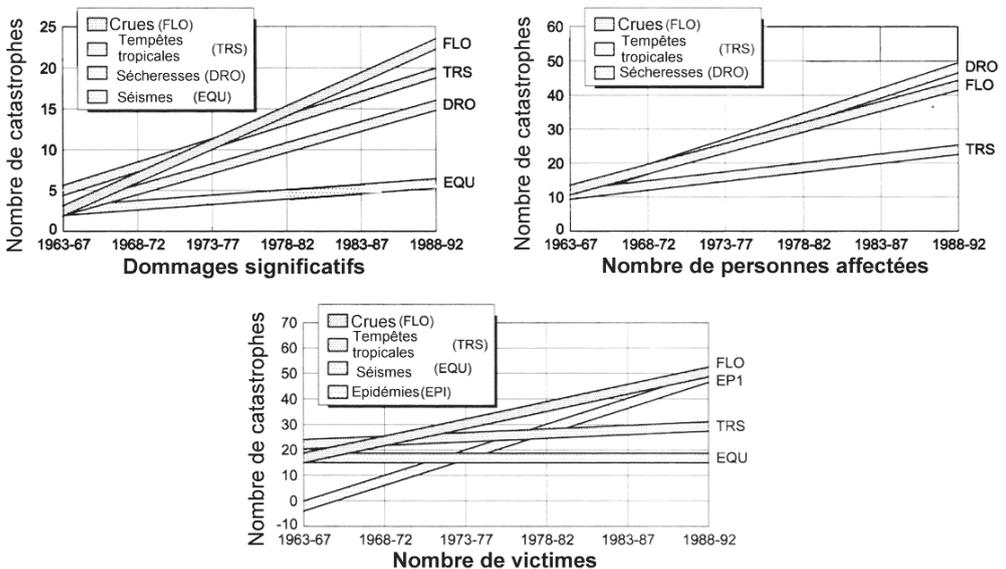


Fig. 2
Principales crues désastreuses (7)

Au cours des dernières décennies, l'impact des crues a été très important. Le Tableau 3 présente des informations concernant les crues les plus catastrophiques survenues pendant la période 1990-2002.

2. FLOODS

Floods constitute one of the most important categories among natural hazards. They represent about 30% of the total number of natural disasters, 30% of economic damages incurred and almost 20% of the fatalities produced by all natural disasters (2, 7, 8). The extensive data show that in the period 1975 - 2001, some 95 significant floods occurred each year. These floods have resulted in a mean value of some 11,000 fatalities per year, and have affected some 150 M people per year (2,9). That signifies that in the last decade of the 20th. Century about 25% of the world population has been affected by the floods.

Trends in flood impacts show a very important and progressive increase during the last several decades. Fig. 2 shows the increase in the number of flood disasters that produce significant damage in a country: economic damages (1% or more of the total annual GNP), affected persons (1% or more of the total population of the country), and numbers of deaths (100 or more). In general the number of flood disasters has quadrupled during the last four decades (7).

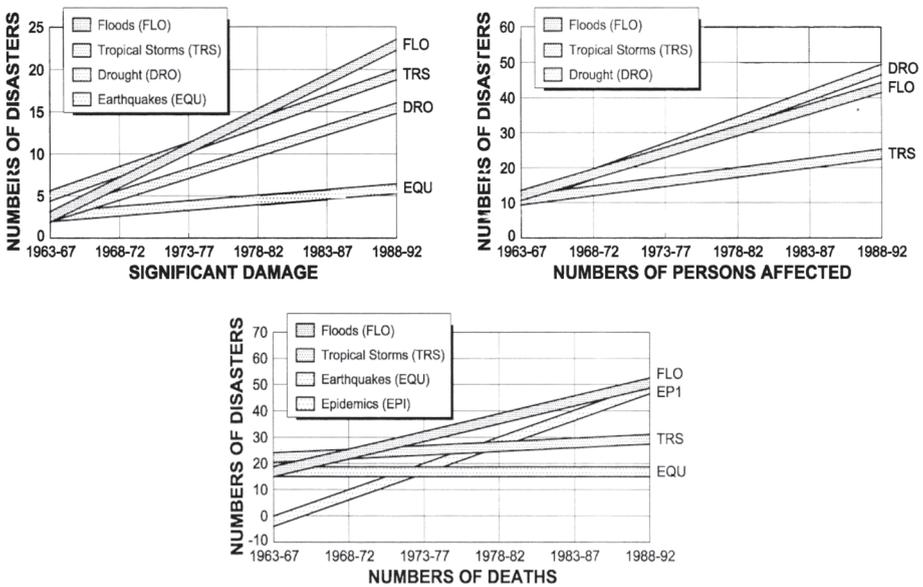


Fig. 2
Major disasters around the world (7)

In the last decades the impacts caused by floods have been very significant. Table 3 shows data from the most catastrophic floods that have occurred during the period from 1990 to 2002.

Tableau 3
Les plus importantes crues catastrophiques (1990-2002)

Pays	Année	Victimes	Pertes économiques (M \$)
Chine	juillet-août 1991	3 074	15 000
Chine	juin-septembre 1993	3 300	11 000
États-Unis	juillet-août 1993	38	15 600
Pays-Bas	janvier-février 1995	5	1 650
Norvège	mai-juin 1995	1	240
Corée du Nord	août-septembre 1996	68	15 000
Corée du Sud	juillet 1996	99	600
Chine	juin-août 1996	3 048	24 000
Chine	juillet-août 1998	4 150	30 000
Bangladesh	août-septembre 1998	1 655	13 000
Amérique Centrale (Ouragan Mitch)	octobre 1998	14 600	4 000
Amérique (Ouragan Georges)	septembre 1998	4 000	10 000
Venezuela	décembre 1999	30 000	15 000
Mozambique	février-mars 2000	929	1 000
Europe Centrale	août 2002	230	19 000
Corée du Sud (Typhon Rusa)	septembre 2002	150	4 900
Chine	juin-septembre 2002	750	4 800
France	septembre 2002	23	1 500

Le CIGB, pendant l'année 2000, a effectué une étude pour analyser l'impact des crues dans des pays présentant un grand nombre de barrages, et où les crues sont des catastrophes de très grande importance (10). Dans ces pays, la période de retour des crues importantes était de sept années. Le nombre d'années séparant des crues importantes était inférieur dans 85 % des cas à 10 ans. Ces valeurs traduisent une fréquence élevée de crues importantes. Le nombre moyen annuel de victimes des crues est présenté dans le Tableau 4. On notera toutefois qu'il s'agit de moyennes, et que l'occurrence de crues extrêmes peut se traduire en un nombre beaucoup plus élevé de victimes.

Ce sont les pays d'Asie qui déplorent la majorité des victimes. Cependant, les États-Unis et le Japon sont également fortement touchés (93 et 115 victimes par an respectivement). Ces deux pays sont très développés, avec une très forte urbanisation des plaines inondables et de fréquentes crues subites : ceci explique ces chiffres.

Table 3
Most important catastrophic floods (1990-2002)

Country	Year	Victims	Economic losses (M\$)
China	July-August 1991	3,074	15,000
China	June-September 1993	3,300	11,000
USA	July-August 1993	38	15,600
Netherlands	January-February 1995	5	1,650
Norway	May-June 1995	1	240
North Korea	August- September 1996	68	15,000
South Korea	July 1996	99	600
China	June-August 1996	3,048	24,000
China	July-August 1998	4,150	30,000
Bangladesh	August-Sep. 1998	1,655	13,000
Central America (Hurricane Mitch)	October 1998	14,600	4,000
America (Hurricane Georges)	September 1998	4,000	10,000
Venezuela	December 1999	30,000	15,000
Mozambique	February -March 2000	929	1,000
Central Europe	August 2002	230	19,000
South Korea (Typhoon Rusa)	September 2002	150	4,900
China	June- September 2002	750	4,800
France	September 2002	23	1,500

ICOLD, in the year 2000 carried out a survey to analyse the flood impacts in the countries that had a large number of dams and where floods are very significant natural disasters (10). In these countries the average recurrence interval between major floods was seven years. The number of years between important floods in 85% of the cases was less than a ten year recurrence interval between major floods. These values represent a great incidence of large floods. The “ mean number ” of fatalities per year caused by floods is shown in Table 4. However, it must be remembered that these are averages and the occurrence of extreme floods often results in a much higher number of victims.

The majority of fatalities occur in the Asian countries. Nevertheless, the USA and Japan also stand out (93 and 115 victims per year respectively). Both are very developed countries, with intense development of floodplains, which together with the occurrence of flash floods gives rise to these figures.

Tableau 4
Nombre moyen annuel de victimes (1990-2002)

Victimes	Pays
0 – 10	Argentine, Australie, Brésil, Canada, Irlande, Italie, Pays-Bas, Norvège, Afrique du sud, Suède, Russie.
10 – 20	Espagne, France.
50 – 100	Indonésie, République Tchèque, États-Unis.
100 – 150	Japon
> 150	Corée (250), Bangladesh * (200), Inde (1500), Chine (2 000 – 3 000).
* ne comprend que les crues provoquées par les rivières et par les précipitations locales simultanées. Les crues provoquées par les marées de tempête et par les cyclones, entraînant de nombreuses victimes, n'ont pas été incluses.	

Le Tableau 5 présente l'évaluation des préjudices économiques annuels moyens provoqués par les crues dans différents pays.

Tableau 5
Pertes moyennes annuelles provoquées par les crues (1990-2003)

Pays	Pertes (M\$ par an)
Brésil, France, Irlande, Afrique du Sud & Suède	< 10
Norvège	27
Argentine	30
Roumanie	100
Canada	100
Bangladesh *	135
Pays-Bas	150
Inde	240
République Tchèque	300
Australie	320
Russie	380
France	420
Corée	500
Espagne	600
Italie	800
Chine	3 000
États-Unis	3 400
Japon	7 200
* Uniquement les crues provoqués par les rivières	

Table 4
Mean number of victims per year (1990-2002)

Victims	Country
0 – 10	Argentina, Australia, Brazil, Canada, Ireland, Italy, Netherlands, Norway, South Africa, Sweden, Russia.
10 – 20	Spain, France.
50 – 100	Indonesia, Czech Republic, USA.
100 – 150	Japan
> 150	Korea (250), Bangladesh * (200), India (1500), China (2,000 – 3,000).
* Includes only floods caused by rivers and simultaneous local rainfall. Flooding caused by storm surges and by cyclones and resulting in many victims has not been included.	

Table 5 shows the evaluation of the mean annual economic damages produced by floods in diverse countries.

Table 5
Mean annual damages produced by floods (1990-2003)

Country	Damages (M\$ per year)
Brazil, France, Ireland, South Africa & Sweden	< 10
Norway	27
Argentina	30
Romania	100
Canada	100
Bangladesh *	135
Netherlands	150
India	240
Czech Republic	300
Australia	320
Russia	380
France	420
Korea	500
Spain	600
Italy	800
China	3,000
USA	3,400
Japan	7,200
* Only floods caused by rivers	

Le fort montant des préjudices observés au Japon et aux États-Unis est dû à la valeur économique élevée des biens et infrastructures situés dans les zones sujettes aux inondations. Les fortes pertes subies par certains pays en voie de développement, couplées avec la désorganisation sociale provoquée par ces crues, peut devenir un facteur limitant de développement.

Pour évaluer l'impact des crues dans différents pays, l'utilisation d'indicateurs peut être utile.

La Fig. 3 présente l'indicateur des victimes annuelles, par million d'habitants. La République de Corée est très touchée, avec plus de 5 victimes par an et par million d'habitants, ainsi que la Chine avec 2 victimes par an et par million d'habitants.

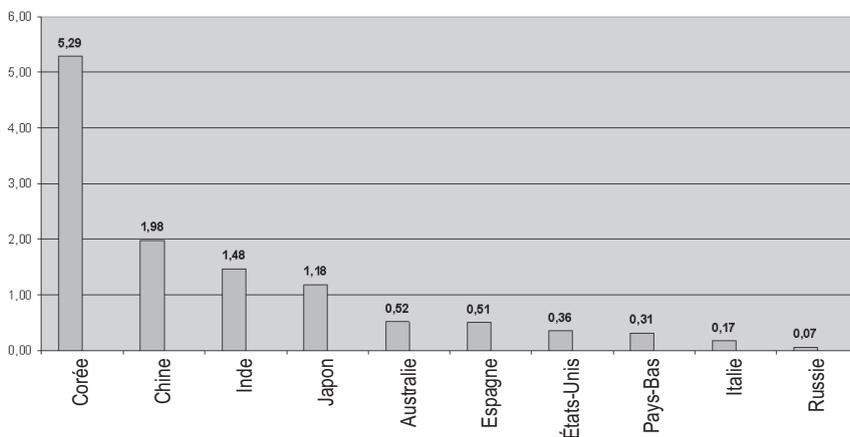


Fig. 3
Indicateur de crues – Victimes par an et par million d'habitants

La Fig. 4 présente l'indicateur lié aux pertes économiques provoquées par les crues (pertes économiques par an, en proportion du PIB de chaque pays en %). L'impact économique des dommages liés aux crues en Chine y est confirmé, avec une valeur moyenne annuelle proche de 0,3 % du PIB. De la même manière, on observe des valeurs supérieures à 0,15 % du PIB au Japon et en Russie.

Les dommages produits par les crues augmentent partout dans le monde, en raison des facteurs suivants :

- Augmentation de la population et concentration de celle-ci dans les zones urbaines.
- Installation de la population dans les zones de plaines inondables. Utilisation sans discernement des plaines inondables, réglementations insuffisantes et absence de zonage des sols susceptibles d'être inondés.
- Évolution de l'exploitation des bassins versants. Urbanisation et déforestation massive.
- Constructions et infrastructures nombreuses dans les plaines inondables.

The high value of the damages observed in Japan and the USA is due to the high economic value of the property and infrastructure in flood prone areas. The high value of damages incurred in some developing countries, coupled with the social disruption caused by these floods, could become a limiting development factor.

In order to evaluate the impact of floods in different countries, the use of flood impact indicators which gives a value of relative impacts of flood is useful.

Fig. 3 shows the indicator of the fatalities per year, per million inhabitants. The Korean Republic stands out, with more than 5 fatalities per year, per million inhabitants, and China with 2 fatalities per year, per million inhabitants.

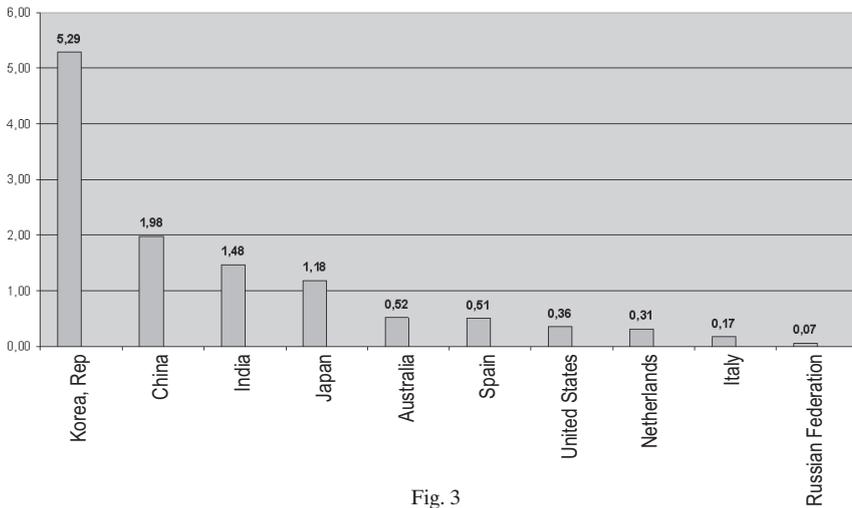


Fig. 3
Flood indicator – Victims per year per million inhabitants

Fig. 4 shows the economic indicator of incidence of damages produced by floods (economic damages per year, relative to the GNP of each country in %). The economic incidence of flood damages in China can be observed, with a value of the “ mean ” annual damages close to 0.3% of the GNP. Also, values higher than 0.15% of the GNP in Japan and Russia are shown in the Fig.

Damages produced by floods show a growing tendency in the world, due to the following factors:

- Increase in population and its concentration in urban areas.
- Establishment of the population in the floodplain areas. Indiscriminate use of the floodplains, lack of regulation, and zoning of flood prone areas.
- Changes in watershed land use. Massive urbanization and deforestation.
- Great numbers of buildings and infrastructure in floodplains.

- Construction ne permettant pas de résister aux crues.
- Concentration des réseaux d'infrastructures de transport dans les plaines inondables.
- Canalisation des rivières pouvant reporter les dangers en aval. Maintenance insuffisante des digues et remblais. Vieillesse des infrastructures hydrauliques.
- Prévion des crues, systèmes d'alerte et plans d'urgence inadapés.
- Sentiment de sécurité non garanti en ce qui concerne les crues.

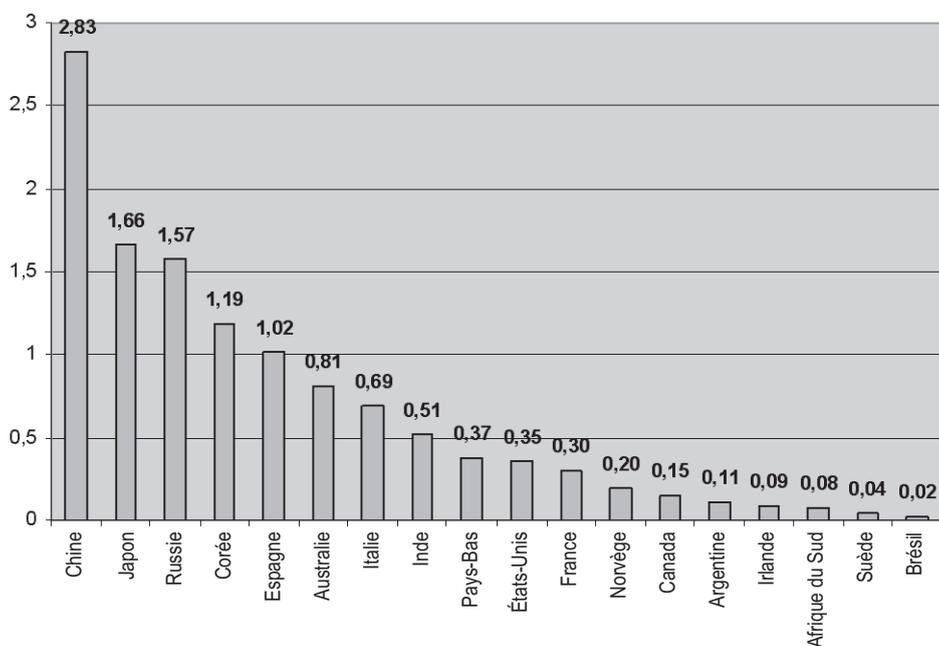


Fig. 4
Pertes économique par an / PIB total par mille

- Unsafe construction in the face of floods.
- Concentration of networks of transport infrastructure in floodplains.
- Channelling of rivers that could create downstream hazards. Lack of maintenance of dikes and levees. Ageing of hydraulic infrastructure.
- Inadequate flood forecasting, flood warning systems and emergency action plans.
- Unwarranted feeling of safety in regard to floods.

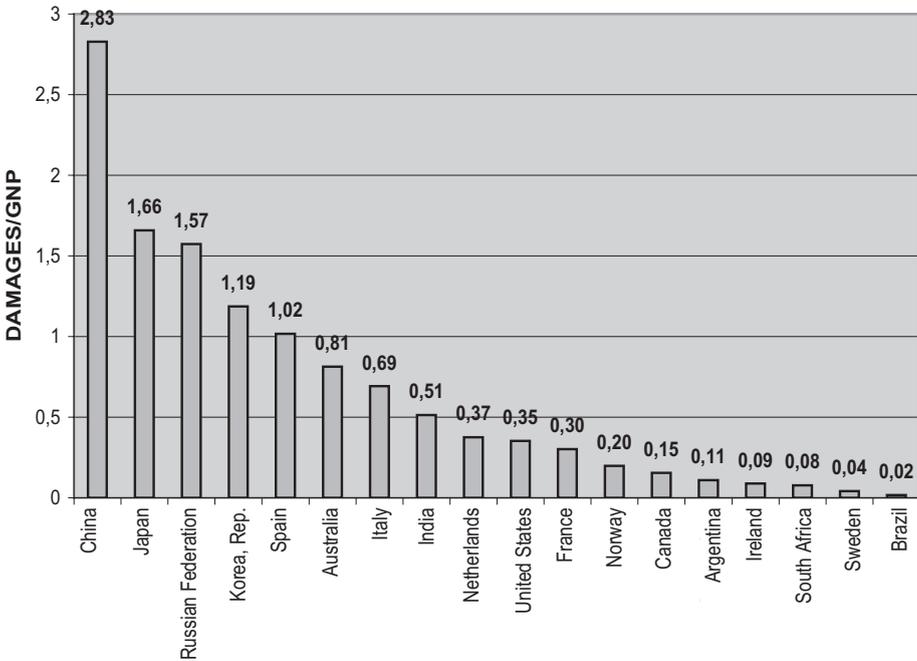


Fig. 4
Economic damages per year / total GNP per thousand

3. MESURES D'ATTENUATION DE L'IMPACT DES CRUES

Par analyse de l'historique des crues naturelles, les actions et mesures permettant de réduire les dégâts provoqués par les crues peuvent être classées en deux grands groupes :

1) *Structurelles* et 2) *Non-Structurelles*.

1) Les *actions Structurelles* sont les mesures permettant d'intervenir sur le phénomène de formation et de cheminement de la crue.

- Entretien des sols et corrections des bassins. Reforestation.
- Barrages et réservoirs. Contrôle des crues et réservoirs de régulation. Exploitation des réservoirs.
- Infrastructures hydrauliques construites dans les rivières (digues, levées, dérivations, canalisation, dragage, canaux de drainage, etc.)

2) Les *mesures Non-Structurelles* peuvent être réparties en trois groupes :

A. La *gestion non-structurelles des plaines inondables*, notamment les mesures pour atténuer les dangers des crues dans les plaines inondables :

- Cartographie des risques et dangers des crues.
- Zonage et caractéristiques d'utilisation des sols.
- Programmes d'assurance.
- Réglementation juridique de la plaine inondable. Réglementations de construction (codes).
- Réduction de vulnérabilité des constructions existantes dans les plaines inondables (résistance aux crues).
- Relogement des populations hors des plaines inondables.

B. Les *systèmes de prévision des crues*, permettant de mieux prévoir les crues, et donc de réduire les dommages éventuels de celles-ci.

- Système de prévision des crues et d'alerte.
- Plans d'action d'urgence.

C. Le *développement d'une culture du risque*

- Repères rappelant les crues historiques
- information du public, notamment informations obligatoires au moment de l'acquisition, de la location ou de la vente de propriétés
- Exercices d'urgence.

3. MEASURES TO MITIGATE FLOOD IMPACTS

Analysing the natural history of floods, the actions and measures to reduce flood damages, could be classified in two large groups:

1) *Structural* and 2) *Non-Structural*.

1) *Structural Actions*, which are measures to interfere in the phenomena of flood formation and flood routing.

- Soil conservation and correction of basins. Reforestation.
- Dams and reservoirs. Flood control and regulating reservoirs. Reservoir operation.
- Hydraulic infrastructure built in rivers (Dikes, levees, diversions, channelization, dredging, drainage channels, etc.).

2) *Non-Structural measures* can be classified in three groups:

A. *Non-Structural floodplain management*, which includes measures to mitigate or reduce the flood hazard in the flood prone areas:

- Flood hazard and flood risks maps.
- Zoning and land-use patterns.
- Insurance programs.
- Legal regulation of the floodplain. Building regulations (Codes).
- Reducing vulnerability of existing construction in floodplains (flood proofing).
- Resettlement outside the floodplain areas.

B. *Flood forecasting systems*, that constitute actions to forecast floods, and thus to be able to reduce the damages that the floods could produce.

- Flood forecasting and flood warning systems.
- Emergency action plans.

C. *Developing risk culture*

- Historical flood marks
- Information to the public including mandatory information at the time of acquiring housing, rental or sales.
- Emergency exercises.

Pour que les mesures d'atténuation des dangers des crues puissent être effectives, une étude de planification doit être effectuée au niveau du bassin en prenant en compte l'ensemble de ce dernier. Voir Fig. 5.

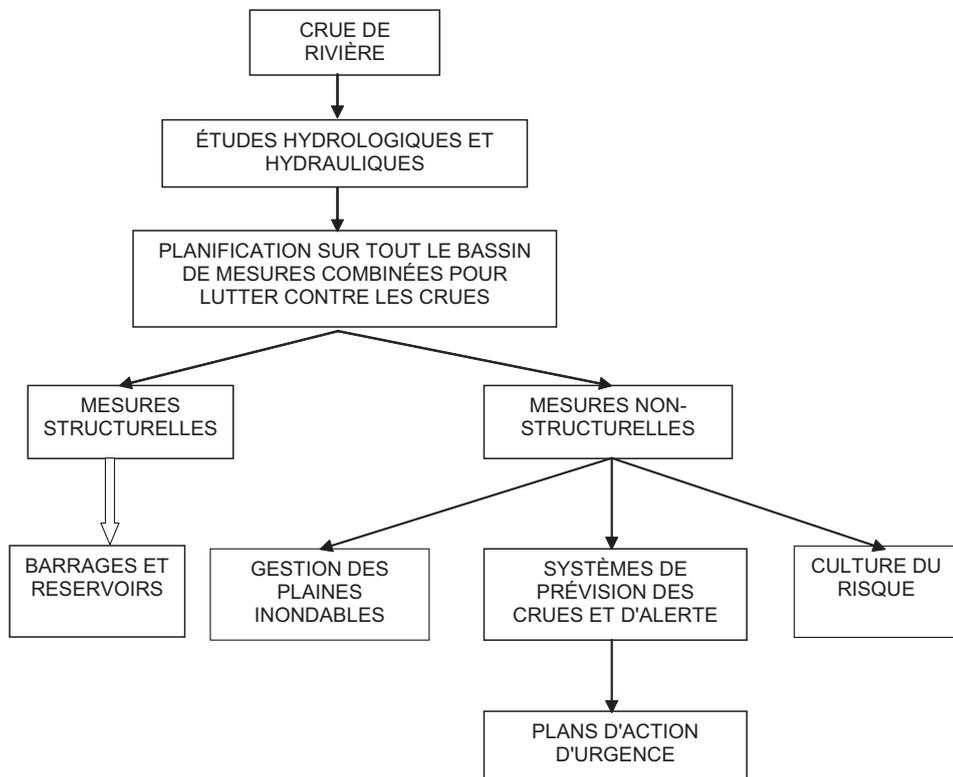


Fig. 5
Mesures contre les crues

La base d'un plan de bassin consiste en une étude technique, hydrologique et hydraulique de l'apparition des crues et du cheminement de celles-ci, et en une analyse des conséquences et des dommages potentiels pouvant être provoqués par les crues. Cette étude technique doit également comprendre les aspects économiques, environnementaux et sociaux des cours d'eau et crues du bassin, pour permettre d'identifier la combinaison appropriée d'actions structurelles et de mesures non-structurelles nécessaires. Il est souvent nécessaire de considérer la mise en œuvre d'actions structurelles, accompagnées du développement du zonage et des restrictions pour l'utilisation des sols dans les plaines inondables. Le développement de systèmes de prévision des crues et d'alerte est crucial pour la préparation de plans d'action d'urgence efficaces. Les plans d'atténuation des dangers des crues doivent être complets, et inclure tout type de mesures, depuis les actions de prévention, jusqu'aux actions post-catastrophe pour porter assistance aux populations concernées.

L'humanité a engagé depuis toujours des actions pour lutter contre les crues. Aujourd'hui, considérant les problèmes potentiels économiques et sociaux

So that the measures of flood hazard mitigation will be effective, a planning study should be carried out at basin level, with a vision of the whole of the basin. See Fig. 5.

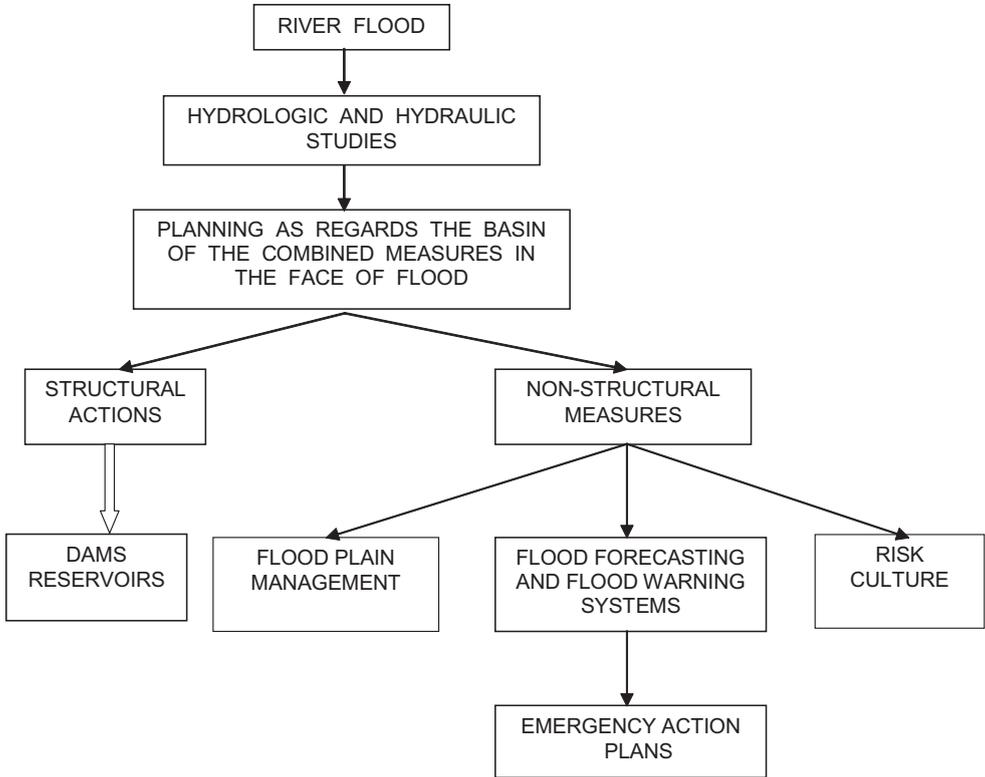


Fig. 5
Measures in the face of floods

The base of the basin plan is a technical study, hydrological and hydraulic, of flood formation and flood routing, and an analysis of the consequences and potential damages that floods could produce. This technical study should also include the economic, social and environmental aspects of the water and floods in the basin in order to allow identification of the appropriate combination of structural actions and non-structural measures needed (32). It is often necessary to consider the joint implementation of structural actions together with the development of zoning and land-use restrictions in floodplains. Also, the development of flood forecasting and flood warning systems is essential to the preparation of effective emergency action plans. Flood hazard mitigation plans should be comprehensive and include all measures from actions of prevention to the post-disaster measures of help and relief to the affected population in order to mitigate the damages of flood disasters.

Mankind has always developed actions to deal with floods, and at the present time, in view of the potentially grave economic and social problems that floods

provoqués par les crues, de nombreuses initiatives de gestion de crues ont été mises en route. L'étude présentée au 3^e Forum Mondial de l'Eau à Kyoto en mars 2003, concernant les actions mondiales sur l'eau (11), présente la synthèse des actions et mesures mises en œuvre dans de nombreux pays, notamment :

- Construction de barrages et réservoirs. Réservoirs d'atténuation des crues.
- Réservoirs de rétention. Utilisation de zones naturelles d'inondation. Restauration des zones humides pour l'acheminement des crues.
- Mesures d'entretien des sols. Emboisement et reboisement. Refus de la surexploitation des sols.
- Développement et gestion des infrastructures. Digue et remblais. Exploitation et maintenance. Intégration de l'infrastructure dans l'environnement fluvial. Infrastructure respectueuse de l'environnement à long terme.
- Cartographie des risques. Application à la répartition de l'exploitation des sols et aux plans d'action d'urgence.
- Planification de l'exploitation des sols des plaines inondables et autres zones susceptibles d'être inondées.
- Établissement d'un cadre juridique. Renforcement des institutions concernées. Amélioration de la coordination entre les institutions et les organismes.
- Réduction de la vulnérabilité de la population aux crues.
- Meilleure prise de conscience publique. Développement d'une culture de prévention. Lutte contre le syndrome d'oubli rapide qui se développe souvent après les crues catastrophiques.
- Implication de nombreuses personnes dans les procédures de décision. Participation des personnes concernées dans la planification, le développement et la mise en œuvre d'actions et de mesures pour l'atténuation des crues.
- Développement de prévisions fiables des crues et systèmes d'alerte précoces.
- Planification d'actions d'urgence.
- Amélioration des données et des informations. Partage de connaissances. Établissement de réseaux et de partenariats. Coopération régionale et internationale.
- Recherche et développement d'actions et de mesures pour l'atténuation des crues. Mise en œuvre d'innovations technologiques.

Une mesure non-structurelle importante est la planification de l'utilisation des sols, dont l'objectif est de réduire l'impact des crues en évitant le développement des villes et infrastructures dans des plaines inondables et autres zones susceptibles de l'être. Ces mesures supposent en général une attention plus grande portée aux propriétés privées, et une coordination étroite entre les différentes organisations et

signify, there are numerous initiatives underway to deal with floods. The study presented in the 3rd. World Water Forum of Kyoto in March, 2003, on World Water Actions (11), describes a synthesis of the actions and measures that are being implemented in numerous countries, among which are the following:

- Construction of dams and reservoirs. Flood mitigation reservoirs.
- Retention reservoirs. Use of natural inundation areas. Application of the wetlands restoration to flood routing.
- Soil conservation measures. Afforestation and reforestation. Avoid land overexploitation.
- Development and management of infrastructure. Dykes and levees. Operation and maintenance. Integration of the infrastructure in the fluvial environment. Environmental and sustainable infrastructure.
- Elaboration of risk maps. Application to land use patterns and to the emergency action plans.
- Land use planning of floodplains and flood prone areas.
- Establishment of the legal framework. Reinforcing of relevant institutions. Improvement of the coordination between the institutions and organizations.
- Increase in the capability of the population to reduce their vulnerability to floods.
- Increase public awareness. Develop a culture of prevention. Fight against the short memory syndrome that often arises after flood disasters.
- Involvement of a broad range of people in the process of decision-making. Participation of stakeholders in the planning, development and implementation of actions and measures for flood mitigation.
- Development of reliable flood forecasting and early flood warning systems.
- Planning of emergency response actions.
- Improvement of data and information. Sharing knowledge. Establishment of networks and partnerships. Regional and international cooperation.
- Research and development of actions and measures for the flood mitigation. Application of technological innovations.

An important non-structural measure is land use planning, the object of which is to reduce flood impacts impeding the development of cities and infrastructure in floodplains and in flood prone areas. These measures, in general, suppose a greater affection for private properties and require close coordination between the diverse organizations and institutions with land interests. In spite of its effectiveness, this

institutions concernées par la gestion des sols. Malgré son efficacité, cette stratégie présente des difficultés de mise en œuvre pratiques, parmi lesquelles nous pouvons mentionner celles qui suivent :

- L'occurrence aléatoire des crues, et la rareté des crues extrêmes. Les populations pouvant être touchées ne croient pas en l'occurrence de telles crues. Après quelques années, l'impact d'une crue est souvent oublié, et il est fréquent de négliger la possibilité d'une nouvelle occurrence.
- Incompatibilité avec le développement urbain et industriel des zones susceptibles d'être inondées. Dans de nombreux cas, la pression foncière est importante dans les plaines inondables, et les demandes sont importantes en raison des ressources naturelles abondantes et de la proximité avec les systèmes de transport et de communication. Qui plus est, dans de nombreux pays surpeuplés, il n'y a souvent pas d'autre solution que de s'établir dans les plaines inondables (Inde, Chine, Bangladesh, etc.).
- Atteinte à la propriété privée. Il est nécessaire de développer des mesures juridiques et d'établir des mesures économiques compensatoires.
- Le besoin de règles générales, impliquant une bonne coordination entre les différentes organisations et les organismes publics.

Dans de nombreux cas, les villes se sont développées historiquement à proximité des rivières, et il est difficile d'établir de nouvelles règles de zonage et d'utilisation des sols dans les régions urbaines et industrielles déjà colonisées. En ce cas, la planification de l'utilisation des sols peut être principalement établie dans les nouvelles zones d'expansion des villes, ou dans des zones de remodelage urbain de la ville historique.

approach presents in practice difficulties in implementation, among which the following can be mentioned:

- The random occurrence of floods, and rarity of extreme floods. Populations potentially affected do not believe in the occurrence of extreme floods. After a few years, the impacts of the flood are often forgotten and there is a tendency to ignore the possibility of their reoccurrence.
- Incompatibility with the urban and industrial development of flood prone areas. In many cases the floodplains are subjected to strong pressures and great demands for development since they are areas with abundant natural resources and are close to important transportation and communication systems. In addition, in many overcrowded countries, there is often no alternative to living in the floodplains. (India, China, Bangladesh, etc.).
- Affection to private property. It is necessary to develop legal measures and to establish compensatory economic measures.
- The need of general formulations, which implies good coordination between different organizations and public institutions.

In many cases cities have developed historically next to rivers, making it difficult to establish new zoning and land use patterns in the urban and industrial areas already settled. On these occasions land use planning may be implemented principally in the new areas of growth and expansion of the cities, or in areas of urban modification of the old parts of the city.

4. VERS UNE GESTION INTÉGRÉE DES CRUES ÉTAPES DU DÉVELOPPEMENT DE LA PROTECTION CONTRE LES CRUES

Avec le temps, l'expérience en matière de crues et l'amélioration des connaissances sur leur nature ont permis la mise en place progressive d'actions et de mesures pour faire face à celles-ci. Nous pouvons distinguer quatre générations ou phases d'activité :

1. Adaptation naturelle.
2. Maîtrise des crues. Actions structurelles.
3. Gestion des crues. Mesures non-structurelles.
4. Gestion intégrée des crues. Vision holistique. Approche intégrale.

Lors des périodes d'adaptation naturelle, les hommes vivent essentiellement sur les plaines d'inondation, au bord du fleuve. Les populations adoptent un style de vie agraire ou deltaïque, en occupant les « plaines d'inondation fertiles » et en utilisant les ressources naturelles. Les inondations sont bénéfiques car elles apportent des sédiments et des nutriments, mais elles représentent également un danger face auquel les hommes ont du s'adapter en cultivant, par exemple, des plantes résistant aux inondations et en construisant des bâtiments surélevés, au-dessus du niveau du fleuve. Les mesures de réaction aux inondations se limitent alors à porter aide ou assistance.

Au fur et à mesure, les pouvoirs publics commencent à s'impliquer pour essayer de trouver une solution aux problèmes d'inondations. Lors de cette seconde phase, on tente de maîtriser et de gérer les événements hydrologiques extrêmes ainsi que de distribuer l'eau pour répondre à d'autres demandes telles que l'alimentation en eau, l'irrigation, l'énergie hydraulique, etc. Le point culminant de cette deuxième phase est atteint dans les années 60 et 70. Les efforts se concentrent alors principalement sur la maîtrise des crues, principalement par le biais de mesures structurelles. Il s'agit d'une approche technique de gestion des fleuves et des crues. Elle insiste sur la maîtrise de ces dernières et peut mener à croire que toutes les crues peuvent être maîtrisées et que leurs conséquences peuvent être prévenues. Cette approche se traduit par des solutions techniques caractérisées par une régulation ou une canalisation des cours d'eau, des barrages d'écrêtement des crues, des digues, des remblais de protection contre les crues, etc. Cette approche structurelle a été adoptée dans la majorité des pays et a permis de réduire considérablement les dommages causés par les inondations ainsi que d'améliorer le développement socio-économique et la prospérité. Néanmoins, cette stratégie a des faiblesses inhérentes : elle crée une illusion de sécurité absolue, elle favorise l'occupation des plaines d'inondation et bien souvent, elle a des conséquences indésirables sur l'environnement.

Pendant les années 80, la troisième phase, appelée gestion des crues, a débuté avec des approches basées sur des mesures non structurelles. Les groupes de

4. TOWARDS INTEGRATED FLOOD MANAGEMENT STEPS OF DEVELOPMENT OF FLOOD MITIGATION

Over time, experience with floods and advances in knowledge of the nature of floods, have given rise to a progressive implementation of actions and measures in the face of floods. It is possible to distinguish four generations or stages of activity:

1. Natural adaptation.
2. Flood control. Structural actions.
3. Flood management. Non-structural measures.
4. Integrated Flood Management. Holistic vision. Integral approach.

In the period of natural adaptation, mankind lived primarily on the floodplains along the river. The people adopted an agrarian or deltaic style of life, occupying the “productive floodplains” and using the natural resources. Floods provided benefits by carrying sediments and nutrients, but also presented a hazard, to which they had to adapt through efforts such as the cultivation of crops that were resistant to the floods and elevated construction above the river level. Responses to floods were mostly limited to measures of help and assistance.

As time continued, public authorities began to intervene in an attempt to resolve flood problems, and we reached what could be called the second stage, in which control and management of extreme hydrological events was attempted, and distribution of water was undertaken in order to satisfy other demands such as water supply, irrigation, hydropower, etc.. The peak of this second stage was reached in the 1960s and 1970's. Most efforts were directed at control of floods. This stage focused on flood control with structural measures. It is an engineering approach to manage the floods and the rivers. It stresses control of floods and may lead to the belief that all floods can be controlled and impacts prevented. This approach leads to engineering solutions characterized by river regulation, flood control dams, channelization, dykes, levees, etc... This structural approach has been pursued in most countries of the world and has significantly reduced the damages produced by floods and enhanced socio-economic development and welfare. But, in and of itself it has some serious shortcomings: it creates a false sense of absolute safety, it favours the occupation of floodplains and it often produces undesirable environmental impacts.

During the 1980's the third stage referred to as flood management emerged, with approaches based on non-structural measures. Conservationist groups

défense de l'environnement ont proposé que des mesures de ce type, telles que le zonage, l'aménagement de l'espace, la régulation des plaines d'inondation, les systèmes de prévision et d'annonce des crues et les mesures d'urgence, soient en principe exclusivement utilisées pour résoudre les problèmes de crues. Ces solutions et mesures étaient souvent présentées comme solutions alternatives complètes aux mesures structurelles et leurs partisans étaient aussi optimistes que les partisans des solutions techniques quant au fait que les problèmes de crues pouvaient être résolus avec des mesures de gestion uniquement. Des expériences dans le monde entier montrent que ces mesures présentent également d'importants défauts. Dans les pays où elles ont été les plus utilisées, principalement dans les pays développés, l'expérience montre que, dans la plupart des cas, ni les mesures structurelles seules, ni les mesures non structurelles seules ne peuvent résoudre les problèmes de protection contre les crues à un degré satisfaisant, mais que seule l'association de ces deux types de mesures le peut.

C'est au début du XXI^e siècle que la quatrième phase a été proposée. Cette phase propose une vision holistique, une approche coordonnée appelée Gestion Intégrée des Crues (GIC), laquelle est plus réaliste, plus critique et moins optimiste (1,12,13). Dans cette approche, la gestion des crues doit être mise en œuvre comme une approche intégrée, aussi bien en ce qui concerne le bassin que le type de mesures. Lorsque l'on prend en considération le type de mesures, toutes les mesures viables, qu'elles soient structurelles ou non structurelles, doivent être évaluées. Cette approche se différencie du concept de maîtrise des crues en se basant plutôt sur la protection contre les crues, son objectif étant d'apprendre à vivre avec les sécheresses et les inondations en réduisant le plus possible leurs impacts. À l'heure actuelle, les connaissances en la matière indiquent que l'approche de la Gestion Intégrée des Crues (GIC) est le moyen le plus efficace pour résoudre le problème de la protection contre les crues.

Bien souvent, la GIC est considérée comme une approche très technique et spécialisée uniquement. Il convient d'inclure la GIC dans les approches plus générales de la Gestion Intégrée de l'Eau (GIE). La GIE examine les éléments essentiels de la gestion, non seulement les questions techniques mais aussi les questions d'ordre économique, social et environnemental, ainsi que celles ayant trait au développement durable du bassin.

Toutes les actions et mesures appropriées doivent être analysées dans le cadre du puzzle global de la gestion des crues, dans lequel la conservation et la restauration de l'environnement et des écosystèmes agressés occupent une place centrale de l'analyse. De plus, dans les pays en voie de développement, les autres objectifs principaux incluent le développement économique et la réduction de la pauvreté.

Autour de ces principaux thèmes, il est nécessaire de continuer à introduire les éléments fondamentaux de la Gestion Intégrée des Crues : tranche de stockage de crue, barrages et digues de protection contre les crues, construction et entretien, zonage, aménagement de l'espace, conformité aux dispositions légales, organisations institutionnelles, systèmes de prévision et d'annonce des crues, mesures d'urgence, etc. Toutes les actions et mesures pouvant jouer un rôle dans l'atténuation des effets et des conséquences des crues doivent être étudiées (Fig. 6).

proposed that in principle non-structural measures such as zoning, land-use planning, floodplain regulation, flood forecasting and flood warning systems and emergency action plans should be exclusively used for resolution of flood problems. These solutions and measures were often presented as total and complete alternatives to structural actions, and supporters were equally optimistic as those preferring the engineering solutions that all flood problems could be solved with only measures of management. Experience around the world shows that these measures also have important shortcomings. In the countries in which they have had greater implementation, principally in developed countries, experience shows that in most cases neither structural nor non-structural measures alone, but only their combination are able to solve the problems of flood mitigation to a satisfying degree.

At the beginning of the 21st century, the fourth stage was proposed. This stage proposes a holistic vision, a coordinated approach termed Integrated Flood Management (IFM), which is more realistic, more critical and less optimistic (1, 12, 13). In this approach, flood management should be applied as an integrated approach both at the basin level, as to type of measures. When the type of measures are being considered, all measures which are viable, structural as well as non-structural, should be evaluated. This approach changes from the concept of control to that of mitigation, and the objective is to learn to live with droughts and floods, reducing their impacts to the maximum extent possible. The state of knowledge suggests that the Integrated Flood Management (IFM) approach is the most efficient means to solve the flood mitigation issue.

On numerous occasions, IFM has been seen only as a very technical and specialized approach. It is appropriate that IFM be included in the broadest approaches of the Integrated Water Management (IWM). IWM considers essential elements of management, not only the technical issues, but also economic, social, and environmental issues, and the sustainable development of the basin.

All appropriate actions and measures should be analysed in the framework of comprehensive flood management puzzle, in which the conservation and restoration of the environment and stressed ecosystems occupy a central position in the analysis. In addition, in developing countries other main objectives include economic enhancement and the alleviation of poverty.

Around these main topics, it is necessary to continue inserting the basic elements of Integrated Flood Management: flood storage, flood mitigation dams, levees and dikes, development and maintenance, zoning, land-use planning, insuring legal regulations, institutional organizations, flood forecasting and flood warning systems, emergency action plans, etc. All the actions and measures that can play a role in mitigating flood impacts and consequences should be investigated. Fig. 6.

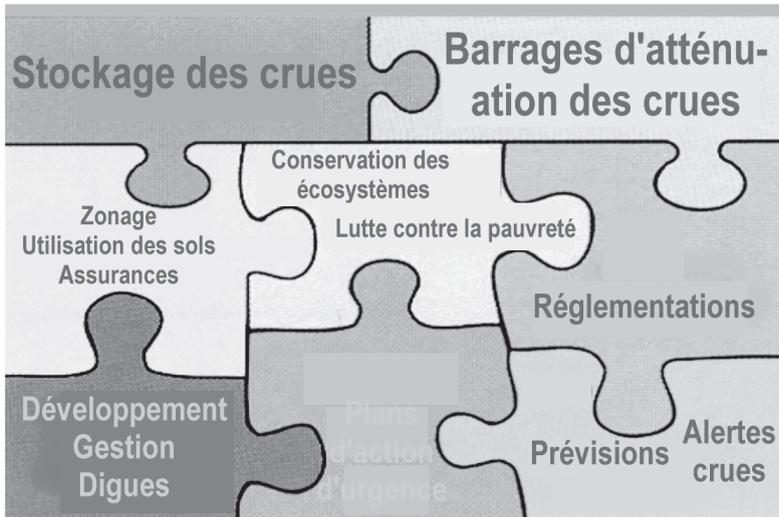


Fig. 6
Protection contre les crues : actions et mesures

Pour que la GIC fonctionne, il est indispensable de faire la distinction entre ceux qui soutiennent exclusivement des actions structurelles et ceux qui soutiennent les mesures de gestion et de conservation pour faire face aux problèmes de crues. D'un côté, les partisans des mesures non structurelles affirment que la seule solution au problème est la gestion des crues et la conservation, en rejetant toutes les approches structurelles, et d'un autre côté, les partisans des mesures structurelles soutiennent que seul ce type de mesures permet d'atténuer les effets des inondations (barrages, digues, projets hydrauliques).

Dans la GIC, il est essentiel d'avoir la participation continue du public. Les parties prenantes, qui connaissent et subissent les problèmes et les conséquences des inondations, doivent participer activement au processus d'analyse des alternatives et au processus décisionnel, depuis les phases initiales de la planification jusqu'à la mise en œuvre et l'application finale des actions et des mesures choisies.

Lors de la planification dans des bassins internationaux, il est essentiel que la GIC repose sur la coopération régionale. Plus particulièrement, la planification et l'application coordonnées du calcul de l'amortissement de la crue, des systèmes de prévision et d'annonce des crues et des mesures d'urgence sont d'une extrême importance. Au cours des dernières années et généralement après des inondations catastrophiques, il est apparu clairement que la coopération régionale avait besoin d'être améliorée. Les récents exemples du Plan d'Action du Rhin de 1998, du Bas Mékong, du Nil et du Mozambique en sont la preuve.

Étant donné les effets dévastateurs des inondations sur les pays en voie de développement et sur les populations pauvres, la communauté internationale soutient de nombreuses initiatives et déclarations de principes afin de faire connaître aux organismes publics du monde entier le besoin de mettre au point des politiques actives en matière de protection contre les crues, dans le cadre de la Gestion Intégrée des Crues, ainsi que de leur expliquer comment ce processus permettra de réduire la pauvreté mondiale.

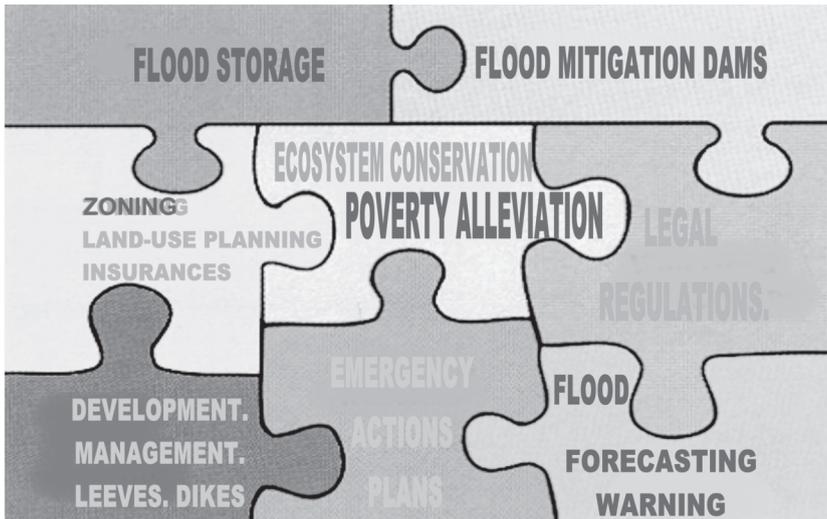


Fig. 6
Flood mitigation: actions and measures

For IFM to succeed, it is necessary to break down the antagonisms between those who exclusively support structural actions and those who support management and conservation measures to overcome flood problems. On the one hand, non-structural supporters claim that the only solution to the problem is flood management and conservation, rejecting all structural approaches, and on the other hand the structural supporters take the position that the only way of mitigating the floods is with structural measures (dams, dikes, hydraulic projects).

In IFM it is essential to have continual public participation. The affected stakeholders, who know and live the problems and the impacts of the floods, must participate broadly in the process of analysis of the alternatives and decision making, from the initial phases of planning until the implementation and eventual operation of the chosen actions and measures.

For planning in international basins it is indispensable for IFM to be based on regional cooperation. Specifically, the planning and coordinated operation of flood routing, flood forecasting, flood warning systems, and emergency action plans is extremely important. In the last few years, and generally after catastrophic floods have occurred, it has been obvious that there is a need for improved regional cooperation. This is demonstrated by the recent examples of the 1998 Rhine Action Plan, the Lower Mekong, the Nile, and Mozambique.

The international community, in view of the devastating effects of floods in developing countries and in the poor populations, is promoting numerous initiatives and declarations of principles with the aim of disseminating to public institutions around the world the need to develop active policies for flood mitigation, within the framework of Integrated Flood Management and how this process will help to alleviate worldwide poverty.

5. RÔLE DES BARRAGES DANS L'ATTÉNUATION DES CRUES

5.1. INTRODUCTION

Dans le domaine de la Gestion Intégrée des Crues (GIC), les barrages et réservoirs peuvent être considérés comme une solution viable et efficace, plus particulièrement lorsqu'il y a de nombreuses installations dans les plaines d'inondation, ce qui rend la restriction de l'utilisation des terres ou l'application d'autres mesures non structurelles impossibles. Les caractéristiques locales et les conditions spécifiques du site doivent être analysées dans tous les cas. Cependant l'expérience montre que dans les circonstances appropriées, les barrages et réservoirs sont des mesures très efficaces pour réduire les effets des inondations. Lors du 3e Forum Mondial de l'Eau qui s'est tenu à Kyoto en 2003 (12), « Les participants étaient tous d'accord sur le fait que les barrages devraient être considérés comme l'un des nombreux éléments infra-structuraux de la mise en valeur des ressources hydrauliques et qu'en tant que tels, ils devraient être conçus de manière juste et durable du point de vue économique, social et environnemental ».

La CIGB met souvent en évidence, lors de Colloques, Congrès et Déclarations (10, 14), les énormes avantages que représentent les barrages en matière de lutte contre les inondations. Dans l' « Exposé de Position sur les Barrages et l'Environnement » (15), il est affirmé que « la maîtrise des crues a toujours été un motif particulièrement important pour la construction de barrages et que c'est fréquemment l'objectif principal » et dans l'Argumentaire sur les « Avantages et Problèmes liés aux Barrages » (16), il est souligné que « l'un des avantages les plus exceptionnels des barrages est l'importante protection contre les crues qu'ils assurent. Il est prouvé que les barrages réduisent le risque d'inondation en aval. Néanmoins, il est important d'informer le public des avantages des barrages et réservoirs en matière de protection contre les crues ainsi que des conséquences auxquelles il faudrait faire face si les barrages existants n'étaient pas en place ». De même, la Commission Internationale des Irrigations et du Drainage (CIID), dans son exposé de position sur le « Rôle des barrages pour l'irrigation, le drainage et la maîtrise des crues », (17) a souligné que « Les barrages et réservoirs réduisent le quantum de débit ainsi que la taille et la fréquence des crues de pointe, réduisant ainsi les risques de crues dus à l'inondation des terres agricoles et des propriétés pouvant se traduire par des bouleversements économiques. Les plaines d'inondation des fleuves Damodar, Mississippi, Missouri, Nil et Tennessee, pour n'en citer que quelques-unes, ont connu un développement économique intensif uniquement grâce à la protection contre les crues qu'assurent les barrages ».

La GIC est une approche intégrée qui prend en considération l'intégralité du bassin ainsi que toutes les mesures structurelles et non structurelles possibles et viables afin de maximiser les avantages sociaux et environnementaux des crues et de minimiser les dommages. Cependant, nous devons signaler que même lorsque toutes les mesures possibles sont appliquées conjointement et avec la coordination

5. ROLE OF DAMS IN FLOOD MITIGATION

5.1. INTRODUCTION

In the field of Integrated Flood Management (IFM), dams and reservoirs can be considered a viable and effective alternative, specially when there are extensive settlements in the floodplains which make it impossible to restrict land uses or implement other non-structural measures. The particular local characteristics and the specific conditions of the site must be analyzed in every case, but, nevertheless, experience has shown that given the appropriate circumstances, dams and reservoirs are highly effective measures for reducing flood impacts. In the 3rd World Water Forum of Kyoto (2003) (12), “ There was consensus among participants that dams should be considered as one of many infrastructural elements in water resources development and as such should be developed in an economically, socially and environmentally just and sustainable way ”.

ICOLD has often demonstrated, in Symposiums, Congresses and Declarations (10,14), the great benefits of dams in the fight against floods. In the “ Position Paper on Dams and the Environment ”(15) it is stated that “ Flood control has always been a particularly significant motive for dam construction and frequently its primary purpose ” and in the Argumentaire on “ Benefits and Concerns about Dams ” (16), it is pointed out that “ one of the more outstanding benefits of a dam is the significant protection that dams provide against floods. Dams have been proven to reduce the risk of floods downstream. However, it is important to educate the public on the benefits of dams and reservoirs with respect to flood mitigation, as well as the consequences that would be faced if the existing dams were not in place ”. Equally, The International Commission on Irrigation and drainage (ICID) in its position paper on “ Role of dams for irrigation, drainage and flood control ” (17) underlined that “ Dams and reservoirs reduce the quantum of flow and size and frequency of peak floods, reducing flood hazard due to inundation of lands crops and property which may result in economic upheaval. Intensive economic development has been realized, for instance in floodplain areas of Damodar, Mississippi, Missouri, Nile and Tennessee rivers, only because of flood protection by the dams ”.

IFM is an integrated approach which takes into account the whole of the basin and all possible and viable structural and non-structural measures, so as to maximize the social and environmental benefits of floods, and minimize damage. However, we must point out that even when all feasible measures are applied, together and with

nécessaire, il reste impossible de se protéger totalement contre les crues et que le risque d'inondations, tout comme tout autre risque naturel, ne peut jamais être réduit à zéro. Dans ce contexte, il est important de ne pas penser que la GIC fournit une protection totale contre toutes les crues extrêmes et il serait donc recommandé de remplacer le terme actuel de « gestion et maîtrise des crues » par le terme « gestion et protection contre les crues », lequel reflète mieux l'efficacité des mesures structurelles et non structurelles sur la réduction des effets et dommages causés par les inondations, sans impliquer une maîtrise totale lors de crues extrêmes.

De plus, les barrages d'écrêtement des crues sont conçus et exploités pour protéger les régions en aval contre les inondations. Cette protection est assurée contre la crue de projet ; c'est pourquoi ils ne peuvent pas garantir une sécurité totale et complète en cas de crues extrêmes. Ils ne peuvent être extrêmement efficaces que pour les crues pour lesquelles la protection a été prévue. Cette efficacité peut être améliorée en appliquant d'autres mesures structurelles et non structurelles. Pour cette raison, il serait également opportun de remplacer le terme actuellement utilisé de « barrages de maîtrise des crues » par « barrages de protection contre les crues », qui décrit mieux la capacité des barrages et réservoirs à réduire considérablement mais pas complètement les effets et les dommages causés par les inondations.

Les systèmes de prévision des crues font partie des mesures pouvant multiplier l'efficacité et la capacité des barrages de protection contre les crues. Ces systèmes sont de plus en plus intégrés et fiables et permettent diverses exploitations avec des barrages de protection contre les crues, ce qui améliore leur capacité à réduire les conséquences des inondations.

Voici quelques-unes de ces exploitations :

- 1) Anticipation du débit de restitution du réservoir avec pour objectif un calcul optimal de l'amortissement de la crue qui arrive dans le réservoir.
- 2) Coordination de l'exploitation de tous les réservoirs du bassin pendant une situation de crue, avec pour objectif la minimisation des dommages en aval.
- 3) Création de systèmes d'alerte afin de pouvoir mettre en place les actions nécessaires en cas de danger pour les populations et propriétés.

Les avantages et problèmes des barrages font l'objet de nombreux désaccords depuis quelques décennies, (18, 19, 20) et les opposants des barrages contestent que les barrages et réservoirs atteignent leurs objectifs. En règle générale, leurs arguments se fondent sur l'analyse de quelques cas très particuliers et spécifiques, à partir desquels ils tirent des conclusions générales sur les avantages et les inconvénients des barrages. Ces extrapolations n'ont aucun fondement scientifique ou technique (21).

Dans le contexte des barrages et des crues, on reproche parfois aux barrages d'augmenter le risque et les dommages causés par les inondations avec des arguments de ce type : « Bien que la maîtrise des crues soit une des justifications des projets de grands barrages, le risque d'inondation ainsi que les coûts liés aux dommages causés par les inondations augmentent souvent à la suite de la construction d'un barrage. Les partisans trop zélés des barrages donnent l'impression que les barrages seuls peuvent éliminer le risque de tous les dommages

the appropriate coordination, it is still impossible to fully protect against floods, and that the risk of floods, just like the risk from any other hazard, can never be reduced to zero. Because of this, one must avoid thinking that IFM provides total protection against all extreme floods, and thus it would be advisable to change, the currently used term, flood control management to flood mitigation management, which would be more indicative of the efficiency of structural and non-structural measures in reducing the impact and the damage caused by floods, without implying total control during extreme floods.

Also, flood control dams are designed and operated for protection against floods downstream. This protection is against the design flood, and so they cannot provide total and complete safety in the case of all extreme floods. It can only be extremely efficient for the floods for which the protection was designed. This efficiency can be improved by applying other structural and non-structural measures. For this reason it would also be appropriate to change the current term of Flood Control dams to that of Flood Mitigation dams, which better describes the ability of dams and reservoirs to significantly, but not completely, reduce flood impacts and damage.

Flood forecasting systems are amongst the measures that can multiply the efficiency and capacity of flood mitigation dams. These systems are becoming more integrated and reliable every day, and they enable various operations with the flood mitigation dams, which improve their ability to reduce flood impacts.

Some of these operations could include:

- 1) Anticipation of reservoir discharge with the objective of obtaining an optimum reservoir routing for the flood which will arrive at the reservoir.
- 2) Coordination of the operations of all the reservoirs of the basin during a flood situation, with the objective of minimizing downstream damages.
- 3) Establishment of alarm systems, in order to be able to develop the necessary actions in the case of danger to people and properties.

The benefits and concerns about dams have been the subject of much disagreement in the last few decades, (18, 19, 20), and dam opponents deny the ability of dams and reservoirs to achieve their purposes. In general, their arguments are based in the analysis of some specific and very particular cases from which they draw general conclusions about dam benefits and downfalls. These extrapolations are carried out with no scientific or technical basis (21).

In the issue of dams and floods, dams have been blamed for increasing flood damages and risk, with arguments such as the following: “ Although flood control is one of the justifications for large dam projects, the risk of flooding, and actual flood damage costs often increase as a result of dam construction. Over-zealous dam proponents create the impression that dams alone will eliminate the risk of all flood damages downstream, thereby encouraging development of the floodplain ” (22), or

causés par les inondations en aval, encourageant de ce fait le développement de la plaine d'inondation » (22), ou que « Les barrages construits avec la promesse de réduire les inondations peuvent souvent aggraver le problème avec des conséquences catastrophiques » (23). Comme indiqué précédemment, aucune solution existante ne peut totalement éliminer le risque d'inondations, mais les barrages et réservoirs de protection contre les crues représentent une mesure très efficace pour réduire les conséquences des inondations sans en éliminer tous les risques. Dans bon nombre de pays, au fil des années, de grandes populations et mégalopoles se sont installées dans les plaines d'inondation, sur les rives des fleuves. Ces plaines d'inondation constituent la charpente du pays, mais l'application de certaines mesures non structurelles peut s'avérer impossible (par exemple, déplacement, zonage, mode d'utilisation des terres). Dans ces circonstances, la seule action possible consiste à réduire la fréquence des inondations récurrentes. Ceci ne peut être accompli qu'avec des barrages de protection contre les crues, en association avec d'autres mesures structurelles (terre, conservation, reboisement, digues, etc.). Mais, comme pour toute autre solution, l'impression de sécurité totale devrait être évitée, bien que cette sécurité soit plus importante que sans barrage de protection contre les crues. Dans tous les cas, avec ou sans barrage, dans le développement futur des plaines d'inondation, des mesures structurelles et non structurelles, telles que : le zonage, le contrôle de l'utilisation du sol, les systèmes de prévision et d'annonce des crues et la conservation d'espaces libres dans les plaines d'inondation, doivent être prévues et appliquées. Lors de la construction de barrages et de réservoirs d'écrêtement des crues, le développement futur des plaines d'inondation en aval doit également être planifié et contrôlé attentivement.

5.2. CLASSIFICATION DES BARRAGES EN FONCTION DE LEUR RÔLE DANS LA PROTECTION CONTRE LES CRUES

Les barrages et réservoirs peuvent être classés en 4 grandes catégories en fonction de leur rôle dans la protection contre les crues :

1) Les réservoirs ayant comme seul but la régulation (alimentation en eau, irrigation, énergie hydroélectrique, débit de navigation ou débit environnemental) et ayant une faible incidence dans la protection contre les crues.

2) Les réservoirs à buts multiples pour lesquels la protection contre les crues est un objectif important, mais moins toutefois que le stockage de l'eau.

3) Les réservoirs à buts multiples pour lesquels la protection contre les crues est l'objectif principal, combiné à d'autres objectifs secondaires.

4) Les réservoirs ayant pour seul but la protection contre les crues et la réduction des effets et des dommages causés par les inondations en aval.

De plus, dans certains cas, le but de protection contre les crues est lié à une saison des inondations. Dans ces réservoirs, le barrage est exploité principalement pour gérer et réduire les dommages causés par les inondations pendant la saison des inondations et pour d'autres objectifs le reste de l'année. En raison de ce caractère saisonnier, ces barrages pourraient être appelés « barrages de protection contre les crues pendant la saison des inondations ».

that “ Dams built with the promise of reducing flooding can often exacerbate the problem with catastrophic consequences ” (23). As previously stated no solution exists which will totally eliminate the risk of floods, but flood mitigation dams and reservoirs constitute a very effective measure to reduce flood impacts, without eliminating all the risk. In many countries of the world, large populations and megacities have been established over the years on the floodplains along the rivers. These floodplains form the backbone of the country, but the application of some of the non-structural measures may not be feasible (i.e., resettlement, zoning, land use patterns). The only possible action in these circumstances is to reduce the frequency of the recurrent floods, which is something that can only be achieved with flood mitigation dams, together with other structural measures (soil, conservation, reforestation, dikes, etc.). But, as with any other solution, the perception of total safety should be avoided, although safety will be greater than without the flood mitigation dam. In any case, with or without a dam, in the future development of the floodplains, structural and non-structural measures such as: zoning, land use control, flood forecasting, flood warning systems and maintaining open space in floodplains must be planned and implemented. In the construction of flood mitigation dams and reservoirs the future development of the downstream floodplains must also be carefully planned and controlled.

5.2. CLASSIFICATION OF DAMS ACCORDING TO THEIR ROLE IN FLOOD MITIGATION

Dams and reservoirs can be classified in four broad categories according to their role in flood mitigation:

1) Reservoirs with the single purpose of regulation (water supply, irrigation, hydropower, navigation or environmental flows), in which the incidence in flood mitigation could be small.

2) Multipurpose reservoirs in which flood mitigation is an important objective, but secondary to purposes associated with water storage.

3) Multipurpose reservoirs in which flood mitigation is the principal objective, combined with other secondary objectives.

4) Reservoirs with the single purpose of flood mitigation and reduction of downstream flood impacts and damages.

Furthermore, in some cases, the purpose of flood mitigation is related to a flood season. In these reservoirs, the dam is operated mainly to manage and reduce flood damages during the flood season and for other purposes during the rest of the year. Due to this high seasonality these could be called flood season mitigation dams.

En règle générale, les barrages offrent des avantages en matière de protection contre les crues s'ils sont bien conçus et correctement exploités, mais plus la proportion du volume du réservoir dédié à la protection contre les crues est élevée par rapport au volume de la crue et plus ces avantages sont importants. Les avantages maximaux de protection contre les crues sont obtenus dans les barrages et réservoirs où cela est le but principal, mais même si ce n'est qu'un objectif secondaire, il se peut qu'ils répondent à toutes les exigences dans ce domaine.

La conception et le coût des nouveaux barrages consacrés uniquement à la protection contre les crues peuvent être différents de ceux d'autres barrages parce qu'ils ne retiennent l'eau qu'exceptionnellement et pour une courte durée, et de ce fait, quelques petites fuites et d'autres adaptations structurelles peuvent être acceptées.

Il est extrêmement important de tenir compte du fait que les barrages d'écrêtement des crues ont une très faible incidence sur l'environnement. Les réservoirs peuvent être remplis seulement quelques jours par décennie, et dans de pareils cas, la zone du réservoir inondée est plus petite que la zone inondée en aval.

À l'échelle mondiale, environ 20 % de tous les grands barrages ont été conçus pour assurer une protection contre les crues, parmi d'autres objectifs. Pour seulement 12 % de tous les grands barrages, la protection contre les crues est l'objectif principal.

Le dernier Registre Mondial des Barrages de la CIGB, datant de 2003 (24) indique que sur les 33 105 grands barrages recensés, 6 266 barrages ont pour but la protection contre les crues et 2 742 barrages réservent une partie du volume de leur réservoir à la protection contre les crues. À l'échelle mondiale, le volume de stockage dédié exclusivement à la protection contre les crues est d'environ 300 km³, ce qui représente environ 5 % du volume total de retenue. Il existe 37 grands barrages totalisant plus d'1 km³ dédié à la protection contre les crues. Le Tableau 6 montre cinq grands barrages qui consacrent plus de 5 km³ à la protection contre les crues, soit en moyenne 32 % du volume de la retenue.

Tableau 6
Réservoirs d'écrêtement des crues ayant un volume de protection contre les crues (PC) supérieur à 5 km³

Pays	Nom du barrage	Fleuve	Hauteur (m)	Volume (km³)	Volume de protection contre les crues (VPC) (km³)	Rapport VPC/ Volume
Égypte	Barrage d'Aswan	Nil	111	162	47	0,29
Chine	Sanxia (Projet des Trois Gorges)	Changjiang	181	39,3	22	0,56
Chine	Danjiangkou	Hanjiang	97	20,89	8,87	0,42
Brésil	Sobradinho	Sao Francisco	43	34,1	6	0,18
Chine	Sanmenxia	Huanghe	105	35,4	6	0,17

In general dams provide flood mitigation benefits, if they are well designed and correctly operated, but these flood mitigation benefits are more important according to the ratio of the volume of the reservoir dedicated to flood mitigation to the volume of the flood. Maximum benefits for flood mitigation are obtained in those dams and reservoirs where it is the main objective, but even if it is only a secondary objective, they may fulfill all requirements in this respect.

The design and cost of new dams devoted only to flood mitigation could be different from other dams because they impound water only exceptionally and for short time, and therefore some minor leakage and other structural adaptations could be accepted.

It is very important to take into account that flood mitigation dams have very little environmental impact. The reservoir could be filled only few days per decade, and in these events the reservoir inundated area will be less than the downstream inundated areas.

Globally, about 20% of all large dams have been designed, amongst other purposes, for flood mitigation. Only 12% of all large dams have flood mitigation as one of their main purposes.

The latest ICOLD World Register of Dams from 2003 (24), shows that of the 33,105 large dams registered, 6,266 dams have as their purpose flood mitigation, and 2,742 dams reserve part of their reservoir volume for flood protection. Total global reservoir capacity dedicated exclusively to flood protection is around 300 km³, approximately 5% of the total reservoir capacity. There are 37 large dams with over 1 km³ dedicated to flood protection. Table 6 shows five large dams with over 5 km³ of flood protection, with a mean flood protection to reservoir capacity ratio of 0.32.

Table 6
*Flood mitigation (FM) reservoirs
 with flood protection capacity over 5 km³*

Country	Dam name	River	Height (m)	Capacity (km ³)	Volume FM (km ³)	Ratio VFM/C
Egypt	Aswan dam	Nile	111	162	47	0.29
China	Sanxia (Three Gorges Project)	Changjiang	181	39.3	22	0.56
China	Danjiangkou	Hanjiang	97	20.89	8.87	0.42
Brazil	Sobradinho	Sao Francisco	43	34.1	6	0.18
China	Sanmenxia	Huanghe	105	35.4	6	0.17

Les barrages et réservoirs ayant pour seul but la régulation de l'eau, comme c'est le cas pour la plupart des barrages hydroélectriques, ne sont pas conçus et exploités principalement pour la protection contre les crues. Dans ce cas, la population en aval doit être informée et avisée de la véritable efficacité du barrage et du réservoir en matière de protection contre les crues. En règle générale, ces réservoirs ne sont efficaces que pour des crues ayant des périodes de retour comprises entre 10 et 20 ans et ils parviennent moins bien à atténuer les dommages causés par des crues extrêmes. Pour une meilleure protection, il serait nécessaire d'appliquer d'autres mesures structurelles et non structurelles envisagées dans la GIC. Dans ces cas, il se peut également que des conflits apparaissent entre les différents buts et celui de la protection contre les crues. Ces conflits doivent être conciliés dans les directives d'exploitation du réservoir afin de parvenir à un calcul efficace de l'amortissement de la crue. Le règlement d'exploitation change souvent au fil du temps, pour adopter de nouvelles procédures de régulation et systèmes de prévision des crues, lesquels améliorent la protection contre les crues. C'est le cas pour le règlement d'exploitation des barrages du bassin fluvial de Paraná, où l'attribution d'environ 17 % de la réserve active totale des réservoirs (88 km³), au début de la saison des pluies, n'a pas réduit de manière significative la fiabilité de l'approvisionnement énergétique mais a permis d'améliorer considérablement la protection contre les crues, en augmentant la période naturelle de retour des crues de 10 ans à environ 100 ans (10). Pour les barrages hydroélectriques en Suisse, on prévoit d'inclure des restrictions dans le règlement d'exploitation afin d'améliorer la protection contre les crues. Dans certains cas, les gouvernements ont négocié avec le propriétaire du barrage l'achat saisonnier d'une partie du volume de la retenue (environ 10 %) pour la protection contre les crues. Dans la Province du Québec au Canada, chaque propriétaire de barrage doit présenter son « plan opérationnel » en cas de fortes crues et doit expliquer comment ces crues seront atténuées. Les détails présentés dans ces plans dépendent de la classification des risques du barrage et de la taille de population concernée par les inondations en aval. Dans certains bassins fluviaux, il existe des règlements d'exploitation qui fixent le volume de protection contre les crues à 20 %, en fonction des saisons, afin d'améliorer la protection contre les crues. Au Maroc, la protection contre les crues pour les terres situées en aval du barrage Al Wahda s'effectue en modifiant, d'un mois à l'autre, l'espace de retenue réservé au débit entrant des eaux de crue, en dessinant des courbes correspondant aux relevés de crues historiques.

5.3. BARRAGES D'ATTÉNUATION DES CRUES

Les avantages maximaux en matière de protection contre les crues sont obtenus grâce aux barrages d'écrêtement des crues ayant pour seul but ou ayant pour principal objectif la réduction des effets et des dommages causés par les inondations.

La quantité de protection contre les crues qu'assure un barrage d'écrêtement est souvent exprimée en termes probabilistes ou par la période de retour des crues pour lesquelles le barrage sera capable de réduire les inondations en aval à un niveau non dommageable. La Crue de Projet de Protection et la détermination des besoins en matière de tranche de crue sont particulières à chaque site. Généralement, les valeurs pour mesurer la quantité de protection sont les suivantes :

Zones rurales : dans les régions agricoles, la protection contre les crues est généralement prévue pour des périodes de retour comprises entre 20 et 50 ans.

Dams and reservoirs with a single purpose of water regulation, as is the case for most hydropower dams, were not designed and are not operated mainly for flood mitigation. In these cases the downstream population must be informed and made aware of the real effectiveness of the dam and reservoir for flood mitigation. In general these reservoirs are only effective for floods with return periods of between 10 and 20 years, and they are less capable of mitigating the damage caused by extreme floods. A better protection would require the implementation of other structural and non-structural measures contemplated in the IFM. In these cases, conflicts may also arise amongst the different purposes and that of flood mitigation. These conflicts should be reconciled in the reservoir's operating procedures in order to achieve an effective flood routing. The dam's operation rules will have often changed over time, adopting new schemes of regulation and flood forecasting systems which will enhance flood mitigation. This is the case with the flood operation rules of the dams of the Paraná River Basin, where the allocation of about 17% of the total net storage of the reservoirs (88 km³), early in the wet season, has not measurably reduced the reliability of energy supply, but has greatly improved protection against floods, changing the natural flood return period of 10 years to about 100 years (10). In hydropower dams in Switzerland there are plans to include restrictions in the operation rules in order to improve flood protection. In some cases governments have negotiated the seasonal purchase, from the dam owner, of part of the reservoir capacity (around 10% of reservoir volume) for flood protection. In the Province of Quebec, in Canada, each dam owner must present its "operating plan" for large floods, and demonstrate how those floods will be mitigated. The details presented in these plans depend on the dam risk classification, and on the size of the population affected by floods downstream. In some river basins there are operational rules which set flood volume protection reserves of about 20%, seasonally, in order to provide more effective flood mitigation. In Morocco, flood protection for areas downstream of Al Wahda Dam is achieved by varying the storage space reserved for inflow of flood waters from month to month by using hedging curves drawn up on the basis of historical flood records.

5.3. FLOOD MITIGATION DAMS

Maximum benefits in flood mitigation are obtained with flood mitigation dams, whose single or by far predominant purpose is to reduce the impact and damage caused by floods.

The amount of flood mitigation provided by a flood mitigation dam is often expressed in probabilistic terms or as a given return period for which the dam is designed to reduce downstream floods to non-damaging levels. The Protection Design Flood and the determination of flood storage requirements is site specific. Usually, the values measuring the amount of protection are the following:

Rural areas : Flood protection in agricultural areas has typically been provided for return periods between 20 and 50 years.

Zones urbaines : dans les zones aménagées, la protection contre les crues est généralement prévue pour des périodes de retour comprises entre 50 et 200 ans. Cependant, en fonction des facteurs économiques, sociaux et environnementaux, et dans le cas de grandes villes en aval, des périodes de retour de l'ordre de 500, voire 1 000 ans peuvent être justifiées. Aux Pays-Bas, la période de retour pour la protection contre les crues est de 1 250 ans.

Les méthodes traditionnelles d'analyse des facteurs hydrologiques et hydrauliques de formation des crues, de calcul d'amortissement des crues et d'estimation des dommages pour la conception hydrologique des barrages d'écrêtement des crues présentent quelques incertitudes en raison de la nature stochastique du phénomène. Il est toujours conseillé de mener des études de sensibilité des paramètres et d'appliquer des méthodologies basées sur l'analyse des risques, dans lesquelles on réalise des analyses probabilistes de l'incertitude et on détermine le risque résiduel.

Dans les études sur les barrages d'écrêtement des crues, on envisage bien souvent la construction d'un plus grand barrage sur le fleuve principal, près de la zone à protéger ou de plusieurs petits barrages situés en tête du fleuve ou sur le tronçon du milieu du bassin et sur les affluents du fleuve. En règle générale, les plus petits barrages, éparpillés sur le bassin, bien qu'en nombre important, protègent moins qu'un seul grand barrage situé immédiatement en amont de la zone à protéger. Parfois, la construction d'un barrage d'écrêtement des crues sur le cours du fleuve, immédiatement en amont de la zone à protéger, peut rencontrer des difficultés d'ordre économique, social ou environnemental.

Dans de nombreux pays, la construction des barrages d'écrêtement des crues est souvent réalisée à l'échelle nationale ou fédérale, étant donné que les barrages représentent d'importantes actions d'intérêt public. Cependant, il est fréquent que la construction soit menée en coopération entre les gouvernements nationaux et les collectivités locales et que ses coûts soient partagés entre les bénéficiaires.

En règle générale, dans de nombreux bassins fluviaux, la protection contre les crues est assurée par l'utilisation combinée de barrages et réservoirs d'écrêtement des crues, de digues de protection contre les crues, d'aménagements des canaux, d'ouvrages de dérivation, d'ouvrages de retenue hors-canal, ainsi que de mesures non structurelles.

Un des aspects les plus importants devant être pris en compte lors de la conception et de l'exploitation d'un barrage d'écrêtement des crues est la sécurité et l'exploitation appropriée du barrage, des évacuateurs de crue et de leurs vannes pendant les crues. Au cours des dernières décennies, la CIGB a fait d'énormes efforts pour encourager les améliorations concernant la sécurité des barrages et a publié de nombreuses études et bulletins promouvant des niveaux de sécurité élevés pour les barrages (25, 26). De ce fait, les ruptures de barrage ont considérablement diminué au cours des dernières décennies. Alors qu'avant 1950, le pourcentage de ruptures s'élevait à 2,3 %, le pourcentage de ruptures de barrages construits après 1950 a baissé à 0,5 % et le pourcentage de ruptures de barrages construits après 1980 a encore chuté considérablement à 0,2 %. Cela indique clairement que d'énormes progrès ont été accomplis dans le domaine de la sécurité des barrages. De nombreux pays ont effectué des modifications importantes en ce qui concerne leur législation, leurs dispositions réglementaires et leurs directives au sujet de la sécurité des barrages et plus particulièrement de la sécurité hydrologique.

Urban areas : Flood protection in developed areas has typically been provided for return periods between 50 and 200 years. However if economic, social and environmental considerations are favorable, and in the cases of important cities downstream, return periods of 500 or even 1000 years may be justified. In the Netherlands the return period for protection against river floods is 1250 years.

The traditional methods of analysis of hydrologic and hydraulic factors of flood formation, flood routing and damage evaluation for the hydrologic design of the flood mitigation dams, presents some uncertainties due to the stochastic nature of the phenomenon. It is always recommended to carry out sensitivity analyses of the parameters, and to apply methodologies based on risk analyses, in which probabilistic analyses of the uncertainty are conducted, and residual risk is determined.

In studies of flood mitigation dams, often the alternatives of constructing a larger dam on the main river, close to the area to be protected, or several small dams located in the headwaters or middle stretch of the basin and on the tributaries of the river are investigated. In general, the smaller dams scattered over the basin, although numerous, give less protection than one single large dam situated immediately upstream of the area to be protected. Nevertheless, on some occasions economic, social and environmental considerations may present a problem in constructing a flood mitigation dam in the reach of the river immediately upstream of the area to be protected.

The construction of flood mitigation dams is often carried out in many countries at a national or federal level, as dams constitute major actions of public interest. It is usual, however, for construction to be carried out in cooperation with state, regional, provincial and local governments and with the cost shared by the beneficiaries.

In general, flood protection is provided in many rivers basins through the combined use of flood mitigation dams and reservoirs, levee-flood wall systems, channel improvements, diversion structures, off-channel storage facilities, together with non-structural measures.

One of the most important aspects that must be taken into account when designing and operating a flood mitigation dam is dam safety and the proper operation of the dam, spillways and flood gates during flood events. ICOLD has made huge efforts in recent decades to promote substantial improvements in dam safety and has published numerous studies and bulletins to promote high dam safety levels. (25, 26). In fact, dam failures have significantly decreased during the last decades. Whereas before 1950 the percentage of failures was 203%, the percentage of dams constructed after 1950 has dropped to 0.5% and the percentage of the dams constructed after 1980 has dropped significantly to 0.2%. This is a clear indication of the achievements in the field of dam safety. Many countries have carried out significant changes in their legislation, regulations and guidelines on dam safety, and specially on hydrological safety.

En 2003, la CIGB a publié un bulletin sur les « Barrages et Crues. Recommandations et exemples », dans lequel la relation entre les barrages et les crues est analysée en détail. Il fournit également des recommandations pour évaluer et améliorer la sécurité hydrologique (10).

Ces Recommandations peuvent être résumées de la manière suivante :

1. Les critères généraux, applicables à tous types de barrages, sont en train de disparaître et sont remplacés par des formulations dont le critère principal pour évaluer la crue de projet est la classification d'un barrage en fonction de son danger potentiel en aval (Classification des Risques des Barrages).

2. En général, la classification des barrages est répartie en trois catégories (barrages à haut risque, à risque Important et à faible risque), les victimes potentielles étant le facteur déterminant pour la classification.

3. La possibilité de prendre en considération deux crues pour les barrages : la crue de projet et la crue extrême ou crue de sécurité. La crue de projet est la crue qui doit être prise en compte lors de la conception hydraulique des évacuateurs de crue et des ouvrages de dissipation d'énergie, avec une marge de sécurité indiquée par la revanche. La crue de sécurité représente les conditions de crue les plus extrêmes auxquelles le barrage peut être soumis sans se rompre, mais également avec une faible marge de sécurité (limite du scénario).

4. Les mesures et normes de sécurité maximales sont adoptées pour les barrages à haut risque. Dans ce cas, la crue de sécurité est la crue maximale probable ou une crue ayant une période de retour très longue (10 000 ans).

Les critères basés sur l'analyse de risque représentent aussi un outil important dans le domaine de la sécurité hydrologique des barrages et sont complémentaires aux critères basés sur les normes hydrologiques. Leur application principale est l'évaluation de la sécurité hydrologique des barrages existants.

Afin d'évaluer la performance et l'efficacité des barrages d'écrêtement des crues, il est utile d'établir des indicateurs. Le principal paramètre de performance est l'importance de la réduction du débit de pointe de crue. Cependant, il est également important d'évaluer les avantages de la protection contre les crues tels que la réduction de la zone inondée, la prévention des pertes de vies humaines, la prévention des perturbations sociales et environnementales, la réduction des effets sur la santé ou la réduction des dommages et pertes économiques. Une manière d'évaluer la réduction des dommages et pertes économiques consiste à établir ce que l'on peut appeler l'efficacité économique du barrage en termes de prévention et réduction des crues.

5.4. EXPÉRIENCES ET CAS RÉELS

Partout dans le monde, les barrages et réservoirs procurent de nombreux avantages en matière de protection contre les crues. Il est difficile de quantifier ces avantages à l'échelle mondiale et aucune étude n'existe d'ailleurs au niveau régional ou national. Cependant, il est possible de quantifier l'efficacité des barrages au niveau du bassin. Il existe de nombreuses études et publications qui soulignent les

ICOLD published in 2003 a Bulletin on “ Dams and Floods. Guidelines and case histories ”, in which they analyze in great detail the relationship between dams and floods, and provide guidelines for assessing and improving hydrological safety (10).

These Guidelines can be summarized as follows:

1. The general criteria, valid for any type of dam, are disappearing and are being replaced by formulations in which the principal criterion for assessing the design flood is the classification of a dam according to its potential downstream hazard (Dam Hazard Classification).

2. In general, the classification of dams is established in three categories (High, Significant and Low hazard dams), the potential loss of lives being the determining factor for the classification.

3. The possibility of considering two floods on the dams, the design flood and the extreme flood or safety check flood. The design flood is the flood that has to be taken into account in the hydraulic design of spillways and energy dissipating structures, with a safety margin provided by the freeboard. The safety check flood represents the most extreme flood conditions to which the dam could be subjected without failure, but also with a low safety margin (scenario limit).

4. Maximum safety measures and standards are adopted for High hazard dams. In this case, the safety check flood is the PMF or a flood having a very long return period (10,000 years).

Criteria based on risk analysis also represent an important tool in the field of hydrological safety of dams, and are complementary to the criteria based on hydrological standards. Their main application is the evaluation of the hydrological safety of existing dams.

In order to assess the performance and effectiveness of flood mitigation dams it is useful to establish Indicators. The main performance parameter is the extent of reduction of the flood peak. Nevertheless, it is also important to evaluate indicators of the benefits of flood mitigation, such as the reduction of the area flooded, the prevention of loss of lives, the prevention of social and environmental disruptions, the reduction of health impacts, or the reduction of economic damages and losses. A way of assessing the reduction of economic damages and losses is the establishment of the so-called economic effectiveness of the dam in terms of flood prevention and reduction.

5.4. EXPERIENCES AND REAL CASES

Dams and reservoirs throughout the world have provided large benefits in flood mitigation. It is difficult to quantify these benefits at a global level, nor do studies exist at a regional or national level. However, it is possible to quantify the effects of dams at basin level, and there are many studies and publications that show the effects of dams in flood mitigation. Recently ICOLD's Committee on Dams and

avantages des barrages sur la protection contre les crues. Récemment, le Comité sur les Barrages et les Crues de la CIGB a choisi plusieurs cas significatifs, dans le monde entier (au Japon, aux États-Unis, en Chine, en Espagne, au Brésil, en Norvège, en Corée, en Tunisie, etc.), qui illustrent le rôle important des barrages et des réservoirs dans la protection contre les crues et dans la réduction des effets des inondations (10). Dans ces cas, l'efficacité des barrages d'écrêtement des crues était appréciable, avec des valeurs comprises entre 25 % et 82 % pour la réduction de la crue de pointe et entre 10 % et 73 % pour la réduction du volume de crue. Dans de nombreuses situations, la réduction de la crue de pointe dépassait 50 %. Les valeurs les plus élevées ont été relevées pour les barrages ayant les plus grands volumes de retenue consacrés à la protection contre les crues et dont c'était l'un des objectifs principaux. Il est également intéressant de souligner que, dans plusieurs cas de barrages et réservoirs conçus uniquement pour la production d'énergie hydraulique, ces ouvrages ont contribué de façon significative à la protection contre les crues, grâce à la modification de leur règlement d'exploitation de manière saisonnière et à la mise en place de systèmes de prévision des crues.

Le barrage d'El Cajón, au Honduras, qui a considérablement réduit les dommages causés par l'ouragan Mitch en 1998, est un cas significatif. L'ouragan Mitch a fait plus de 14 000 morts et environ deux millions de personnes ont été affectées en Amérique centrale, principalement au Honduras et au Nicaragua, où le développement régional a pris 20 ans de retard. L'ouragan est passé sur le bassin versant du réservoir d'El Cajón. En amont du réservoir, les dommages étaient considérables. La crue qui est arrivée vers le réservoir était de 9 800 m³/s, ce qui correspond à une crue ayant une période de retour de 500 ans et à 70 % de la crue maximale probable. Le réservoir a retenu environ 1,5 km³ et grâce à l'atténuation des effets de la crue, le débit maximal enregistré en aval n'était que de 1 200 m³/s, soit une réduction de 88% du débit de pointe de crue. Grâce à l'exploitation du réservoir, les deux plaines alluviales densément peuplées, en aval du barrage, ont échappé à ce qui aurait pu être une immense catastrophe. On peut alors soutenir que la protection contre les crues assurée par le réservoir d'El Cajón pendant l'ouragan Mitch justifie complètement, à elle seule, la construction du barrage (27, 28).

En 2002, le typhon Rusa, en Corée du Sud, a fait 246 morts et a causé des dommages estimés à plus de 5 200 milliards de won. Cependant, les barrages et réservoirs situés sur les fleuves principaux ont empêché l'inondation de nombreuses régions, dans lesquelles les dommages ont été relativement faibles. Le débit de crue entrant dans les 14 barrages nationaux à buts multiples, dont l'un des buts est la protection contre les crues, était de 4,2 km³ et ces barrages ont retenu 1,4 km³ d'eau, ce qui représente une réduction de 34 %. Sur le fleuve Han, le plus grand fleuve du pays, les réservoirs ont permis de réduire la crue de pointe de 32 % (18 910 m³/s) et sur le fleuve Nakdong, de 51 % (20 970 m³/s).

Il est important de reconnaître le rôle que jouent les barrages et réservoirs dans le calcul de l'amortissement de la crue sous diverses conditions et d'analyser la performance des barrages d'écrêtement des crues pendant toute la vie d'un projet, plus particulièrement quand ces barrages sont conçus principalement pour cet objectif. Le barrage de Danjiangkou est situé sur le fleuve Han, en Chine. Le fleuve Han est l'un des plus gros affluents du fleuve Yangtze et se jette dans ce dernier au niveau de la ville de Wuhan. La région a subi de fortes et récurrentes inondations,

Floods has selected diverse significant cases around the world (In Japan, USA, China, Spain, Brazil, Norway, Korea, Tunisia, etc) which demonstrate the important role of dams and reservoirs in flood mitigation and in the reduction of flood impacts (10). In these cases the effects of flood mitigation dams were significant, with values varying between 25% and 82% in the reduction of the peak flood, and between 10% and 73% in the reduction of flood volume. For numerous flood situations the reduction of peak flow surpassed 50%. The highest values were in those cases in which more reservoir capacity was dedicated to flood mitigation and when one of the main purposes of the dam was flood mitigation. It is also interesting to point out that in several cases of hydropower dams and reservoirs, which were designed with the single purpose of hydropower production, they nevertheless contributed very significantly to flood mitigation, modifying their flood operation rules seasonally and implementing flood forecasting systems.

A significant case is that of the El Cajón dam, which greatly reduced the damage caused by Hurricane Mitch in Honduras in 1998. Hurricane Mitch was responsible for over 14.000 fatalities and about two million people were affected in Central America, mostly in Honduras and Nicaragua, where regional development was set back 20 years. The hurricane passed over the catchment of the El Cajón reservoir. Upstream of the reservoir the damages were substantial. The incoming flood to the reservoir was 9800 m³/s, which corresponds to a flood with a 500 year return period, and 70 per cent of the PMF. The reservoir retained some 1,5 km³, and as a result of this flood mitigation the maximum discharge downstream was only 1 200 m³/s, a reduction of the flood peak by 88%. Downstream of the dam two intensely populated alluvial plains exist, and the operation of the reservoir prevented a major disaster in this area. One could argue that flood mitigation provided by the El Cajón reservoir only during Hurricane Mitch, fully justifies the construction of the dam (27, 28).

Typhoon Rusa in South Korea in 2002, caused 246 fatalities, and damage of over 5200 billion won. However, the dams and reservoirs located on the main rivers, prevented flooding of many areas in which the damage was relatively small. The inflow of water into the 14 nation-wide multipurpose dams that have a flood mitigation purpose was 4.2 km³, and dams retained 1,4 km³, a 34% reduction. In the Han River, the country's largest river, the effect of the reservoirs reduced the peak flood by 32% (18.910 m³/s), and on the Nakdong river 51% (20.970 m³/s).

As well as recognizing the role of dams and reservoirs in flood routing under different flood conditions, it is also interesting to analyze the performance of flood mitigation dams during the complete life of a project, specially in those cases where the dams were designed mainly for flood mitigation. Danjiangkou dam is located on the Han River in China. The Han River is one of the biggest tributaries of the Yangtze River, and flows into the Yangtze in the city of Wuhan. The area suffered strong recurrent flooding, which affected 13 million people and an area of farmland

lesquelles ont touché 13 millions de personnes et une zone de 1,1 millions d'hectares de terres cultivées. La grande crue de 1935, avec un débit de pointe supérieur à 50 000 m³/sec a coûté la vie à 84 000 personnes, a touché environ 3,7 millions de personnes, a inondé 430 000 hectares de terres cultivées et a causé des dommages estimés à 800 millions de dollars. Le barrage a été achevé en 1968 et le projet a pour principal objectif la protection contre les crues. Le réservoir a un volume de retenue de 20,9 km³, sur lesquels 8,8 km³ sont consacrés à la protection contre les crues. Pendant ses 22 ans d'exploitation (1968-1989), 58 crues ont été recensées avec des débits supérieurs à 10 000 m³/s, avec une pointe de 34 300 m³/s. La réduction moyenne de la crue de pointe était de 0,64, avec un maximum de 0,96 et un minimum de 0,15 et pour la plupart des crues (83 % des crues), la réduction était supérieure à 50 %. Pour cette raison, dans la plupart des cas (90 %), le réservoir a transformé les crues en un débit normal allant se jeter dans le Yangtze, protégeant ainsi la ville de Wuhan.

Aux États-Unis, les barrages et réservoirs d'écêtement des crues ont produit des avantages considérables en réduisant les dommages économiques causés par les inondations. Lors de la grande crue de 1993 dans le Middle West, on estime que les réservoirs du bassin supérieur du fleuve Mississippi ont empêché des pertes supérieures à 11 milliards de dollars. Une série de six barrages sur le fleuve Missouri, construits pour 13 milliards de dollars actuels, a évité des pertes économiques de 25 milliards de dollars causées par les inondations, sur une période d'environ 50 ans. Le projet Oroville en Californie a évité plus de 1,3 milliards de dollars de dommages causés par les inondations, au cours des 12 dernières années uniquement. Les barrages de Portugués et de Cerrillos au Porto Rico ont évité 450 millions de dollars de dommages causés par les inondations à la suite des ouragans Hortense en 1996 et Georges en 1998 (10).

Le fleuve Columbia draine une région de 670 000 km² aux États-Unis et au Canada. L'exploitation d'un vaste système de réservoirs, qui fournit 53 km³ de tranche de crue utilisable, sur le bassin du fleuve Columbia, a permis de réduire considérablement les effets et les dommages causés par les inondations au fil des années. Le long du tronçon principal du fleuve, l'exploitation en crue est principalement axée sur la maîtrise de l'écoulement de la fonte des neiges, au printemps, au-dessus de The Dalles, dans l'Oregon et est étroitement coordonnée par les deux pays. Il existe huit grands projets de réservoirs et de nombreux projets plus petits pour maîtriser les inondations sur le Bas-Columbia. Trois d'entre eux (Duncan, Mica et Keenlyside) sont au Canada et cinq (Libby, Hungry Horse, Albeni Falls, Grand Coulee et Dworshak) sont aux États-Unis. Aux États-Unis, la coordination générale de l'exploitation en crue du fleuve Columbia est placée sous la responsabilité de la division nord-ouest du United States Army Corps of Engineers (Corps militaire d'ingénieurs des États-Unis) (USACE, NWD). Les réservoirs du bassin du fleuve Columbia sont également exploités pour assurer la protection contre les crues, principalement celles causées par les précipitations, des régions situées en aval.

La crue la plus dévastatrice s'étant produite le long du Bas-Columbia est celle de mai et juin 1948. La crue avait pour cause un enneigement supérieur à la normale dans le bassin supérieur, associé à de fortes précipitations. Pour aggraver la situation, le fleuve Snake a atteint son niveau maximum presque en même temps que le Bas-Columbia. La ville de Vanport dans l'Oregon, en amont de Portland,

of 1.1 million hectares. The big flood of 1935, with a peak discharge of over 50,000 m³/sec, caused 84,000 fatalities, affected about 3.7 million people, flooded 430,000 ha of farmland, and caused 800 M\$ in damages. The dam was finished in 1968 and the project has been in operation mainly for flood control. The reservoir has a storage capacity of 20.9 km³, of which some 8.8 km³ are preserved for flood mitigation. During its 22 years in operation (1968-1989), 58 floods occurred with discharges over 10,000 m³/s, with a peak of 34,300 m³/s. Mean peak flood reduction was 0.64, with a maximum of 0.96 and a minimum of 0.15, and in most floods (83% of the floods), the reduction was of over 50%. Because of this, in most cases (90%) the reservoir has transformed the floods into normal flows into the Yangtze, thus safeguarding Wuhan City.

Flood mitigation dams and reservoirs have brought about substantial benefits in the USA by reducing the economic damage caused by floods. In the 1993 great Midwest flood, it was estimated that the flood storage reservoirs in the Upper Mississippi River basin prevented losses of over 11 B\$. A series of six dams on the Missouri River, built for 13 B\$ in current dollars, has prevented 25 B\$ in flood damages over about a 50 year period. The Oroville Project in California has prevented more than 1.3 B\$ in flood damages over the last 12 years alone. Portugués and Cerrillos dams in Puerto Rico have prevented 450 M\$ in flood damage by Hurricanes Hortense in 1996, and Georges in 1998 (10).

The Columbia River drains an area of 670,000 km² in the USA and Canada. The operation of an extensive system of reservoirs which provides 53 km³ of useable flood storage in the Columbia River basin has resulted in substantial flood reductions and damages prevented over the years. Flood operation along the main stem of the river is primarily focused on controlling the spring snowmelt runoff above the Dalles, Oregon and is closely coordinated by the two countries. There are eight major reservoir projects and numerous smaller ones that control flooding on the lower Columbia. Three, Duncan, Mica and Keenlyside are in Canada, and five, Libby, Hungry Horse, Albeni Falls, Grand Coulee and Dworshak are in the USA. Overall coordination of Columbia River flood operation in the USA is the responsibility of the United States Army Corps of Engineers (USACE), Northwest Division (NWD). Reservoirs in the Columbia basin are also operated to provide flood protection to local areas downstream, primarily from rainfall generated floods.

The most devastating flood to occur along the Lower Columbia River was the flood of May-June 1948. This flood was generated by higher than normal snow pack in the upper basin combined with heavy rainfalls. To make matters worse, the Snake River peaked at nearly the same time as the Lower Columbia. The city of Vanport, Oregon, upstream from Portland, Oregon, was completely destroyed when its'

dans l'Oregon, a été complètement détruite lorsque la crue s'est déversée par-dessus les digues. Lors de la crue de 1948, le débit de pointe journalier moyen à The Dalles, dans l'Oregon, a été estimé à environ 28 600 m³/sec.

Entre 1949 et 1998, l'exploitation du système de barrages et de réservoirs a permis une réduction moyenne annuelle de 27 % des crues de pointe journalières maximales. La plus forte réduction était de 50 % et la plus faible de 3 %. Les avantages économiques de la protection contre les crues sont très importants. On estime que, pendant ses 50 ans d'exploitation (entre 1949 et 1998), le système de barrages et de réservoirs a évité des dommages économiques de l'ordre de 2,35 milliards de dollars, sans ajustement compte tenu de l'inflation. En 1998, la prévention des dommages causés par les inondations a été estimée à environ 20,2 milliards de dollars. Les informations mentionnées ci-dessus au sujet du fleuve Columbia sont communiquées par l'USACE, NWD (29).

Le fleuve Kitakami, l'un des plus grands fleuves japonais, coule du nord au sud du pays, en passant par le centre de la préfecture d'Iwate, au nord du pays. De nombreuses crues se sont produites périodiquement le long du fleuve et ont causé d'énormes dommages. Les typhons de 1947 et de 1948 ont coûté la vie à 4 862 personnes et ont entraîné 1,6 milliards de dollars de dommages. Le plan d'aménagement du fleuve a été élaboré en 1951 avec pour but la protection contre les crues et la production d'énergie hydraulique. Cinq barrages furent construits, avec un volume consacré à la protection contre les crues de 242 millions de m³ (62 % de la capacité totale de retenue). Le projet avait pour objectif de réduire le débit de pointe de crue de 13 000 m³/s à 8 500 m³, en amortissant 2 600 m³/s grâce aux réservoirs et 1 900 m³/s grâce à un bassin de contrôle. Une étude virtuelle de la crue de 1947 a évalué les avantages que les barrages et réservoirs auraient pu fournir pendant cette crue. La réduction des dommages est estimée à 2 900 hectares d'agglomération urbaine inondée, à 4 800 maisons inondées et une réduction totale des dommages s'élevant à 4,1 milliards de dollars. Lors des crues les plus récentes de 2002, ces barrages et réservoirs ont réellement permis une réduction de 2 900 hectares de terres inondées, de 5 900 maisons inondées et une réduction totale des dommages estimée à 2,3 milliards de dollars. Sur la Fig. 7, vous pouvez voir la zone inondée du complexe industriel de Mizusawa et ce qu'il se serait produit sans les barrages d'écrêtement des crues.

Pour se faire une idée plus complète et générale sur les avantages des barrages et des réservoirs en matière de protection contre les crues, des recherches plus approfondies ainsi que des études globales à l'échelle régionale ou nationale sont nécessaires. Par exemple, une estimation générale des avantages des barrages d'écrêtement des crues en Chine montre qu'entre 1998 et 2002, les 85 130 barrages actuels ont retenu un volume de crue total de 155,7 km³, ayant empêché l'inondation de 13,36 millions d'hectares de terres agricoles, de 1 845 villes et ayant épargné plus de 220 millions de personnes. Les avantages économiques liés à ces réductions sont estimés à 62,3 milliards de dollars.

5.5. BARRAGES D'ÉCRÈTEMENT DES CRUES DANS UN CLIMAT CHANGEANT

Certains problèmes et crises liés aux crues peuvent être attribués à une plus grande variabilité du climat. Dans l'avenir, il sera nécessaire de réfléchir aux

levees were overtopped. The mean daily peak flow at The Dalles, Oregon for the 1948 flood was estimated to be about 28,600 m³/s.

The operation of the system of dams and reservoirs has meant that between 1949 and 1998 an average reduction of 27% of maximum annual mean daily peak floods was realized. The highest reduction was 50% and the lowest of 3%. The economic benefits of flood mitigation are very substantial. It has been estimated that during the fifty years of operation between 1949 and 1998, the system of dams and reservoirs prevented economic damages of about 2.35 B\$, without adjustment for inflation. In 1998 dollars flood damage prevented was estimated to be about 20.2 B\$. The above information on the Columbia River provided by USACE, NWD (29).

The Kitakami River, which is one of the largest rivers in Japan, runs from north to south through central Iwate prefecture in the northern part of the country. Many floods have periodically occurred along Kitakami River and have caused enormous damage. Typhoons in 1947 and 1948 caused 4,862 fatalities, and over 1,6 B\$ in damages. The river development plan was formulated in 1951 for the purpose of flood mitigation and hydropower. Five dams were constructed, with a volume for flood protection of 242 million m³ (62% of total reservoir capacity). The project was planned to reduce the peak flood discharge of 13,000 m³/s to 8,500 m³, by routing 2,600 m³/s through the reservoirs, and 1,900 m³/s through a control basin. A virtual study of the 1947 flood evaluated the benefits that dams and reservoirs would have realized during this flood event. The damage reduction is estimated at 2900 Ha of the urbanized area inundated, 4800 houses flooded, and a total damage reduction amounting to 4.1 B\$. The real benefits during the most recent floods in 2002 were impact reductions of 2900 ha of area inundated, 5,900 houses, and a total damage reduction amount of 2.3 B\$. In the Fig. 7 you can see the flooded area in the Mizusawa industrial complex, and what would have happened without the flood mitigation dams.

In order to have a more complete and general overview of the benefits of dams and reservoirs in flood mitigation, more in depth research is required, as well as global studies at a regional or national scale. For example, a general estimate of benefits of flood mitigation dams in China shows that between 1998-2002, the current 85,130 dams stored a total flood volume of 155,7 km³, preventing the flooding of 13.36 Million ha of farmland, of 1,845 cities, and the affection over 220 million people. The economic benefits of these reductions are estimated to be 62.3 B\$.

5.5. FLOOD MITIGATION DAMS IN A CHANGING CLIMATE

Some of the problems and crises involving floods may be attributed to greater climate variability. In the future it will necessary to think about the possible

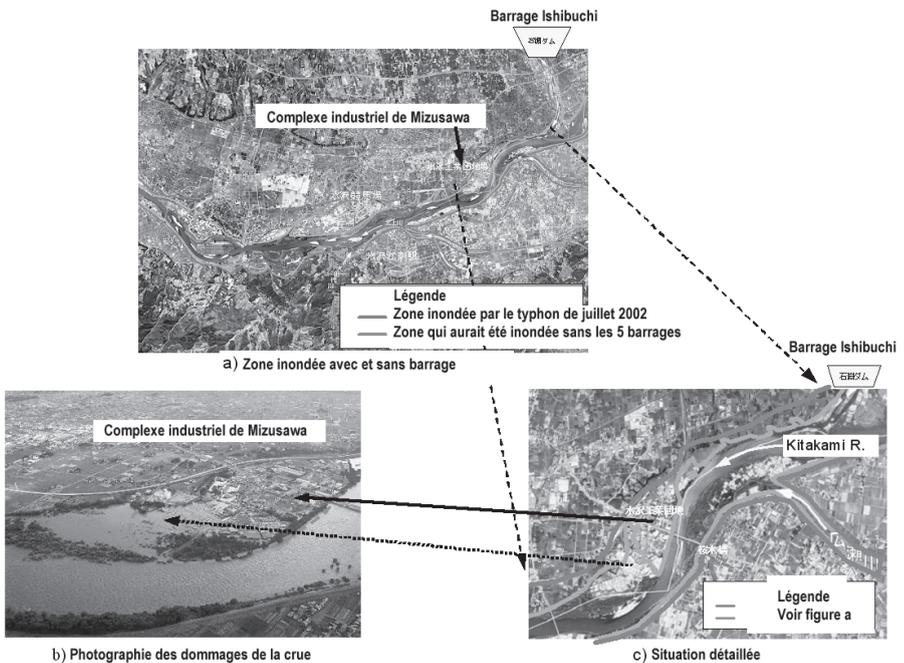


Fig. 7
Situations d'inondation avec et sans barrages dans la région de Mizusawa

adaptations possibles pour faire face aux effets des changements climatiques. Il se peut que les changements climatiques se traduisent par une intensification du cycle hydrologique mondial, ce qui pourrait engendrer des changements au niveau des quantités totales de précipitations. De plus, ces changements peuvent avoir pour conséquence de plus grandes irrégularités en ce qui concerne les précipitations, avec des périodes plus sèches et des périodes de pluies plus courtes mais plus intenses. À cause de tous ces phénomènes, les ressources en eau pourraient subir des variations saisonnières de plus en plus importantes.

En ce qui concerne les crues, il est probable que leur intensité et fréquence augmentent dans la plupart des régions du monde, avec une occurrence de plus en plus prononcée des événements climatiques extrêmes. Cela pourrait se traduire par une capacité insuffisante des systèmes de production actuels.

Le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), dans son Bilan 2001 des Changements Climatiques (30), prévoit les changements suivants liés aux crues :

- Changements au cours du xx^e siècle :
 - Fortes précipitations : augmentation aux moyennes et hautes latitudes Nord (probable)
 - Pertes économiques liées au climat : les pertes mondiales ajustées pour l'inflation ont augmenté d'un ordre de magnitude au cours des 40 dernières

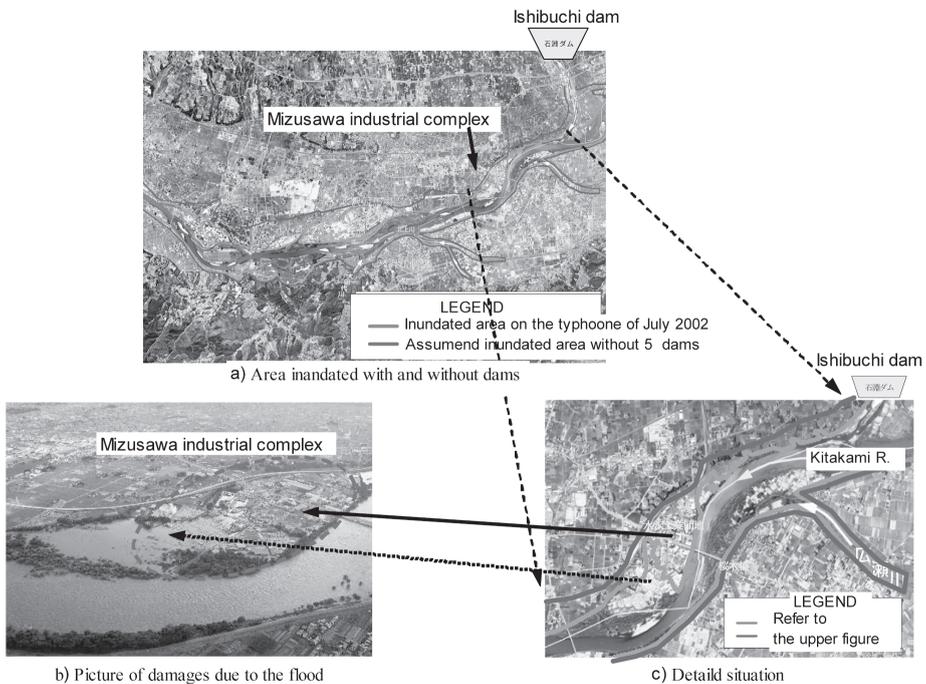


Fig. 7
Inundated situation with and without dams at Mizusawa Area

adaptations that could be needed to address the effects of climate change. Changes in climate may mean an intensification of the global hydrological cycle, which could cause changes in total amounts of precipitation. In addition, such change may result in greater irregularity of rainfall with drier periods and shorter, but more intense, rainy periods, all of which would entail increasing seasonal variations in water resources.

As for floods, it is likely that they will increase in intensity and frequency in most regions of the world, with a growing presence of extreme weather events. This could mean an insufficient capacity of current protection systems.

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), in its 2001 Report on Climate Change (30) forecast the following changes connected with floods:

- 20th century changes:
 - Heavy Precipitation events: Increase at mid and high northern latitudes (likely)
 - Weather-related economic losses: Global inflation-adjusted losses rose an order of magnitude over the last 40 years. Part of the observed upward

années. Une partie de cette tendance à la hausse est liée aux facteurs économiques et sociaux et l'autre partie est liée aux facteurs climatiques.

- Changements prévus au cours du XXI^e siècle en ce qui concerne les phénomènes climatiques extrêmes :
 - Précipitations plus intenses (très probables, dans de nombreuses régions). Dommages causés par les inondations, glissements de terrain, avalanches et coulées de boue en augmentation. Pressions de plus en plus fortes sur les systèmes gouvernementaux et privés d'assurance contre les inondations et sur les secours en cas de catastrophe.
 - Augmentation de l'intensité des pointes de vent et des précipitations moyennes et de pointe lors de cyclones tropicaux (probable, dans certaines régions).
 - Augmentation de la variabilité des précipitations lors de la mousson d'été en Asie (probable). Augmentation de l'ampleur des inondations et des sécheresses, ainsi que de leurs dommages, en Asie tempérée et tropicale.
 - Intensification des sécheresses et des inondations liées à El Niño dans de nombreuses régions (probable).

Ce sont des prévisions générales ; les études détaillées sur l'augmentation probable de l'ampleur et de la fréquence des inondations dans des régions et bassins spécifiques font défaut. Cela est dû à l'échelle des modèles climatiques actuels, lesquels, en règle générale, ne produisent que des scénarios grossiers et des moyennes mensuelles avec une grande résolution temporelle et spatiale d'environ 200 km. Pour cette raison, la vitesse des changements attendus reste incertaine (31).

À cause de la possibilité de changements climatiques, de nouveaux scénarios doivent être élaborés et considérés dans la relation entre les crues et les barrages. Si, lors des crues extrêmes, l'ampleur et l'intensité des débits de pointe changent, la sécurité hydrologique des barrages devra être reconsidérée et les barrages devront être adaptés aux nouvelles circonstances. La fonction des barrages d'écrêtement des crues et le degré de protection qu'ils assurent devront également être modifiés. D'une manière générale, il faudra s'adapter à un nouveau scénario avec des crues plus fréquentes et extrêmes, et de ce fait, il faudra valoriser et accentuer le rôle important que jouent les barrages et réservoirs dans la protection contre les crues.

trend is linked to social and economic factors and part is linked to climate factors.

- Projected changes during the 21st Century in extreme climate phenomena:
 - More intense precipitation events (very likely, over many areas). Increased flood, landslide, avalanche and mudslide damage. Increased pressure on government and private flood insurance systems and disaster relief.
 - Increase in tropical cyclone peak wind intensities, mean and peak precipitation intensities (likely, over some areas).
 - Increased Asian summer monsoon precipitation variability (likely). Increase in flood and drought magnitude and damages in temperate and tropical Asia.
 - Intensified droughts and floods associated with El Niño events in many different regions (likely).

These are general forecasts; and we lack detailed studies of the probable increases in the magnitude and frequency of floods in specific regions and basins. This is due to the scale of current climate models, which, in general, only produce coarse scenarios, and monthly averages with a wide temporal and spatial resolution of about 200 km. For this reason, there is still uncertainty about the rate of changes that can be expected. (31).

Given the possibility of climate change, new scenarios must be developed and considered in the relationship between floods and dams. If the magnitude and intensity of peak flows during extreme floods change, the hydrological safety of dams will have to be reconsidered and the dams adapted to the new circumstances. The function of flood mitigation dams and the degree of protection they afford will also have to be revised. In general terms we will need to adapt to a new scenario with more frequent and extreme floods, and so we will need to develop and enhance the important role that dams and reservoirs may play in flood mitigation.

6. RÉSUMÉ

- Les catastrophes naturelles représentent une sérieuse menace pour la vie sur Terre et pour le développement durable de l'humanité. Parmi les risques naturels, les inondations représentent l'une des catégories les plus importantes.
- Les inondations sont à l'origine de 33 % du nombre total de catastrophes naturelles, de 30 % de tous les dommages économiques et de 20 % des décès causés par les catastrophes naturelles. Entre 1975 et 2000, on a recensé chaque année, en moyenne, 95 inondations importantes, lesquelles ont coûté la vie à environ 11 000 personnes et ont touché environ 150 millions de personnes par an. Au cours des dix dernières années du xxe siècle, environ 25 % de la population mondiale a été concernée par les inondations.
- Les études et enquêtes de la CIBG montrent que la majorité des accidents mortels a lieu dans les pays asiatiques en voie de développement (> 90 %). Cependant, on recense également de nombreuses victimes dans des pays développés comme les États-Unis et le Japon.
- Les pertes économiques engendrées par les crues sont très importantes, de l'ordre de 20 milliards de dollars par an. Les plus grosses sommes sont recensées au Japon et aux États-Unis (7 200 et 3 400 millions de dollars par an respectivement). Dans les pays en voie de développement, l'estimation des pertes totales est moins importante mais l'impact économique sur le PIB peut être très grave et devenir un obstacle pour le développement futur.
- Les indicateurs de crue, qui donne les effets relatifs des crues, sont utiles pour évaluer la fréquence des crues dans divers pays et leur développement au fil du temps. Les premiers indicateurs sont le nombre de victimes par an et par million d'habitants, ainsi que les dommages économiques par an, par rapport au Produit intérieur brut (PIB). Les valeurs supérieures à un mort par an et par million d'habitants ou supérieures à 0,5 % du PIB en dommages par an indiquent que les crues ont d'importantes conséquences.
- Les actions et mesures pour atténuer les effets des crues peuvent être classées en deux grands groupes : 1) Les actions structurelles qui tentent d'agir sur les phénomènes de formation et d'amortissement des crues (ex : conservation du sol, reboisement, barrages, réservoirs de maîtrise des crues et réservoirs régulateurs, infrastructure hydraulique) ; et 2) Les actions non structurelles qui prévoient, évitent ou atténuent les effets des crues (gestion des plaines d'inondation, modes de zonage et d'utilisation de l'espace, assurance, réglementation des constructions, codes, systèmes de prévision et d'alerte en cas de crue, mesures d'urgence et sensibilisation sur les risques d'inondations).
- Dans l'application d'actions et de mesures pour atténuer les effets des inondations, on peut distinguer quatre phases ou générations. Au départ, il n'y avait que l'adaptation naturelle, ensuite les tentatives pour maîtriser les crues grâce à des actions structurelles, puis la gestion des crues basée uniquement sur

6. SUMMARY

- Natural disasters are a serious threat to life on Earth and to mankind's sustainable development. Amongst natural hazards, floods are one of the most important categories of natural disasters.
- Floods are responsible for 30% of the total number of natural disasters, 30% of all economic damages, and for 20% of fatalities caused by natural disasters. Between 1975 and 2000, each year on average there were some 95 significant floods, which caused about 11,000 fatalities, and affected around 150 M people per year. In the last decade of the 20th Century about 25% of the world population was affected by floods.
- ICOLD studies and surveys shows that the majority of the fatalities have occurred in Asian developing countries (> 90%). However, there were significant numbers of victims in some developed countries, like the USA and Japan.
- The economic losses produced by floods are very significant, about 20 B\$ per year. The largest amounts are in Japan and the USA (7,200 M \$ and 3,400 M \$ per year respectively). In developing countries the assessment of total losses is less, but the economic impact on their GDP can be very severe and become an obstacle for their future development.
- Flood Indicators, which give the relative flood impacts, are useful in assessing the incidence of floods in different countries, and their development over time. The first level indicators are the number of fatalities per year per million inhabitants, and the economic damages per year in relation to Gross National Income (GNI). Values over one fatality per year, per million inhabitants or over 0.5% of the GNI in damages per year indicate major flood impacts.
- Actions and measures to mitigate the impact of floods can be classified in two large groups: 1) Structural actions, which attempt to act on the phenomena of flood formation and flood routing (e.g. soil conservation, reforestation, dams, flood control and regulating reservoirs, hydraulic infrastructure), and 2) Non-structural measures, which foresee, prevent, and mitigate the floods impacts (floodplains management, zoning and land-use patterns, insurance, building regulations, codes, flood forecasting and flood warning systems, emergency action plans and developing a flood risk culture).
- In the implementation of actions and measures to cope with floods, there have been four stages or generations. Initially there was only natural adaptation, then the attempts to control floods through structural actions, later flood management based only on non-structural measures, and finally today the trend toward more

des mesures non structurelles et enfin, de nos jours, la tendance est aux approches intégrées holistiques. Ces approches plus récentes font toutes partie de ce que l'on nomme actuellement la Gestion Intégrée des Crues (GIC).

- L'approche de la GIC est plus réaliste, plus critique et moins optimiste. Dans la gestion des crues, une approche intégrée doit être appliquée aussi bien au niveau du bassin que lors de la prise de décisions quant au type d'actions et de mesures. Au niveau du bassin, les divers aspects liés à l'aménagement et à la gestion doivent être pris en considération (eau, terre, planification physique, utilisation du sol, zonage, agriculture, transports, environnement, loisirs, etc.). Les projets et la gestion du bassin doivent prendre en compte tous les aspects hydrologiques et hydrauliques de la formation et de l'amortissement de la crue, ainsi que les aspects d'ordre économique, social et environnemental. Lorsque l'on évalue des alternatives pour la protection contre les crues, toutes celles qui sont possibles et faisables doivent être considérées et appliquées conjointement aux mesures structurelles et non structurelles.
- La GIC se différencie du concept de maîtrise des crues et se base plutôt sur celui de protection contre les crues, tout en soulignant qu'il est impossible d'assurer une protection totale contre les crues extrêmes et que le risque de crue ne peut jamais être réduit à zéro. Nous devons donc apprendre à vivre avec les crues, en réduisant leurs effets autant que possible. Dans la GIC, la participation du public et la forte implication de toutes les parties prenantes sont indispensables. Dans les bassins internationaux, la coopération régionale est également indispensable. Le processus de la GIC nécessite l'attribution de ressources financières.
- Les barrages et réservoirs doivent être considérés comme une alternative efficace dans le cadre de la GIC, plus particulièrement dans les cas où il y a de vastes installations dans les plaines d'inondation, rendant l'application de mesures non structurelles et la modification ou la restriction des modes d'utilisation du sol difficiles, voire même impossibles. Les barrages et réservoirs constituent une mesure structurelle très efficace puisqu'ils peuvent retenir de grands volumes de crue, modifier l'amortissement de la crue et réduire considérablement les débits de pointe.
- À l'échelle mondiale, environ 20 % de tous les grands barrages ont été conçus, parmi d'autres buts, pour la protection contre les crues et environ 12 % de tous les grands barrages mondiaux ont pour but principal la protection contre les crues. Depuis plusieurs décennies, l'augmentation exponentielle des effets des inondations indique que, dans l'avenir, il sera nécessaire de mettre en œuvre d'autres actions et mesures pour empêcher ou atténuer les effets des inondations. Dans ce contexte, les barrages et réservoirs, et plus particulièrement les barrages d'écrêtement des crues, peuvent jouer un rôle décisif.
- L'expérience mondiale ainsi que de nombreux cas concrets démontrent les avantages considérables que les barrages et réservoirs peuvent apporter en matière de protection contre les crues et de lutte contre les inondations. Les avantages des barrages et des réservoirs peuvent être améliorés en appliquant conjointement des mesures structurelles et non structurelles, plus particulièrement en mettant au point des projets de gestion des crues, en appliquant des modes d'utilisation du sol et en instaurant des systèmes de

holistic integrated approaches. These more recent approaches all form part of what is currently known as Integrated Flood Management (IFM).

- The IFM approach is more realistic, more critical and less optimistic. In flood management an integrated approach should be applied both at basin level and in deciding the type of actions and measures. At the basin level the various development and management aspects must be considered (water, land, physical planning, land use, zoning, farming, transport, environment, recreation, etc.). Basin plans and management must take into account all the hydrological and hydraulic aspects of flood formation and flood routing, together with the economic, social and environmental aspects. When assessing alternatives in flood mitigation all possible and feasible alternatives must be considered and implemented jointly with both structural and non-structural measures.
- IFM moves from the concept of flood control to that of flood mitigation, pointing out that it is impossible to fully protect against extreme floods, and that the risk of floods can never be reduced to zero. We must therefore learn to live with floods, reducing their impacts as much as possible. In IFM it is essential to have public participation, and the broadest involvement of all stakeholders. In the international basins regional cooperation is indispensable. The IFM process requires the allocation of financial resources.
- Dams and reservoirs must be considered an effective alternative within the IFM framework, specially in those cases in which there are extensive settlements in the floodplains which make it difficult or impossible to apply some non-structural measures and to modify or restrict land use patterns. Dams and reservoirs constitute a very effective structural measure, since they are able to store large flood volumes, modify flood routing, and significantly reduce peak flows.
- Globally, about 20% of all large dams have been designed, amongst other purposes, for flood mitigation, and some 12% of all large dams in the world have flood mitigation as a main purpose. The exponential increase of flood impacts in the last several decades indicates that in the future it will be necessary to implement further actions and measures to prevent or reduce flood impacts. In this role dams and reservoirs, specially Floods Mitigation (FMD) Dams can play a major part.
- Experiences around the world and numerous real cases demonstrate the great benefits that dams and reservoirs can provide in flood mitigation and in the fight against floods. The beneficial effects of dams and reservoirs can be improved by jointly applying structural and non-structural measures, specially in development of flood management plans, implementation of land-use patterns, and the establishment of flood forecasting and flood warning systems. This paper describes significant real cases of flood mitigation by dams and reservoirs, in

prévision et d'alerte en cas de crue. Cet article décrit des cas concrets et significatifs de protection contre les crues assurée par des barrages et réservoirs au Japon, aux États-Unis, en Chine, en Corée, au Brésil, en Espagne, en Amérique centrale, etc. Ces cas illustrent leur efficacité en ce qui concerne la réduction du débit de pointe, ainsi que pour les indicateurs tels que la zone inondée, la prévention des pertes de vies humaines, la prévention des bouleversements sociaux et environnementaux et la réduction des dommages économiques.

- Les barrages et réservoirs réduisent souvent la fréquence et la gravité des crues récurrentes, mais comme pour d'autres solutions, l'illusion de sécurité totale doit être évitée. La sécurité est néanmoins plus importante avec les barrages et réservoirs maîtrisant la propagation de la crue. Dans la gestion des barrages et réservoirs d'écêtement des crues, l'aménagement des plaines d'inondation en aval doit être attentivement planifié et contrôlé.
- Les barrages et réservoirs procurent des avantages en matière de protection contre les crues s'ils sont bien conçus et correctement exploités, mais plus le rapport entre le volume du réservoir consacré à la protection contre les crues est grand par rapport à celui de la crue et plus ces avantages sont importants. Les avantages maximaux sont obtenus par les barrages et réservoirs dont le but principal ou unique est la protection contre les crues.
- Dans les barrages d'écêtement des crues, la crue de projet de protection et la détermination des besoins en matière de tranche de crue sont spécifiques à chaque site et dépendent des conditions techniques, économiques, sociales et environnementales. En règle générale, dans les régions agricoles, le niveau de protection se situe entre des périodes de retour de 20 et 50 ans. Dans les régions urbaines, la protection contre les crues est assurée pour des périodes de retour comprises entre 50 et 200 ans. Cependant, si les facteurs économiques, sociaux et environnementaux sont favorables, cette protection peut être assurée contre des crues ayant des périodes de retour de 500, voire 1 000 ans.
- Certains problèmes et crises liés aux crues peuvent être attribués à une plus grande variabilité du climat. Il est probable que, dans l'avenir, le réchauffement planétaire se traduira par des crues plus intenses et plus fréquentes dans la plupart des régions du monde, avec de plus en plus de crues extrêmes. C'est pourquoi de nouveaux scénarios doivent être envisagés dans la relation qui existe entre les crues et les barrages. En général, il sera nécessaire de s'adapter à des crues plus fréquentes et plus graves et, dans ce contexte, les barrages et réservoirs joueront un rôle important dans la protection contre les crues.

Japan, USA, China, Korea, Brazil, Spain, Central America, etc. These cases demonstrate their effectiveness in peak flow reduction, as well as in the indicators such as area flooded, prevention of loss of life, prevention of social and environmental disruption, and the reduction of economic damages.

- Dams and reservoirs often reduce the frequency and severity of recurrent floods, but just like in any other alternative, the perception of total safety must be avoided, although there will be greater safety than without the effect of dams and reservoirs in flood routing. In the management of flood mitigation dams and reservoirs the development of the downstream flood plains must be carefully planned and controlled.
- Dams and reservoirs produce flood mitigation benefits, if they are well designed and correctly operated, but these flood mitigation benefits are more important according to the ratio of the volume of the reservoir dedicated to flood mitigation to the flood volume. Maximum benefits are obtained by those dams and reservoirs whose main or single purpose is flood mitigation.
- In flood mitigation dams the “ protection ” design flood and the determination of flood storage requirements are site specific, and depend on technical, economic, social and environmental conditions. Usually, the amount of protection in agricultural areas varies between 20 and 50 year return periods. In urban areas flood protection has been provided for return periods between 50 and 200 years. However if economic, social and environmental considerations are favourable, protection might be provided for floods with return periods of 500 years or even 1000 years.
- Some of the current problems and crises involving floods may be attributed to greater climate variability. It is likely that in the future, global warming will increase the intensity and frequency of floods in most regions of the world, with a growing occurrence of extreme floods. Thus, new scenarios should be considered in the relationship between floods and dams. In general, it will be necessary to adapt to more frequent and severe floods, and in this context dams and reservoirs will play an important role in flood mitigation.

7. REFERENCES

- (1) NATIONS UNIES (2004). Mesures d'atténuation des effets des Inondations. Stratégie Internationale de Prévention des Catastrophes. SIPC. Genève.
- (2) CENTRE DE RECHERCHE SUR L'ÉPIDÉMIOLOGIE DES DÉSASTRES (CRED). (2005). *International disaster database* (base de données internationale sur les catastrophes naturelles). <http://www.cred.be>.
- (3) FÉDÉRATION INTERNATIONALE DES SOCIÉTÉS DE LA CROIX-ROUGE ET DU CROISSANT ROUGE. FICR (2004). *World Disaster Report* (Rapport sur les Désastres dans le Monde). Genève.
- (4) PROGRAMME ENVIRONNEMENTAL DES NATIONS UNIES. UNEP. (2002). *Global Environment Outlook.Geo-3 Report* (Rapport sur l'Avenir de l'Environnement Mondial). Earthscan. Londres.
- (5) MUNICH RE. (2004). Sujets. Bilan annuel des catastrophes naturelles. Munich.
- (6) NATIONS UNIES. (2000). Assemblée Générale. *International Strategy for Disaster Reduction*. New York. A/RES/54/219.
- (7) ZUPKA, D. (1998). *Economic impact of disasters* (Impact économique des catastrophes). UNDRO News. Jan-Fév.
- (8) CONSEIL MONDIAL DE L'EAU. CME. (2000) Vision Mondiale pour l'Eau. Une vision pour assurer des ressources en eau durables pour demain. 2^e Forum Mondial de l'Eau. La Haye.
- (9) STRATÉGIE INTERNATIONALE DE PRÉVENTION DES CATASTROPHES. ISDR. (2002). Faire face au risque : Examen des initiatives prises à l'échelle mondiale pour prévenir les catastrophes. ONU. Genève.
- (10) COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES CIGB. (2003). Barrages et Crues. Recommandations et exemples. Bulletin 125. Paris.
- (11) CONSEIL MONDIAL DE L'EAU. CME. (2003) Actions pour l'Eau dans le Monde. Making water flow for all (Faire couler l'eau pour tous). 3^e Forum Mondial de l'Eau. Kyoto.
- (12) CONSEIL MONDIAL DE L'EAU. CME. (2003). Analyse du 3^e Forum Mondial de l'Eau. Kyoto.
- (13) RAPPORT MONDIAL DES NATIONS UNIES SUR LA MISE EN VALEUR DES RESSOURCES EN EAU. (2003) L'eau pour les hommes, l'eau pour la vie. UNESCO. Paris.
- (14) BERGA, L. (2000) Avantages des barrages en matière de protection contre les crues. 20^e Congrès International sur les Grands Barrages. R35. Q77.
- (15) COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES CIGB. (1995-1997). Exposé de position sur les Barrages et l'Environnement. Paris.

7. REFERENCES

- (1) UNITED NATIONS.UN (2004). Guidelines for reducing Flood Losses. International Strategy for Disaster Reduction. ISDR. Geneva.
- (2) CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS.CRED. (2005). *International disaster database*. <http://www.cred.be>.
- (3) INTERNATIONAL FEDERATION OF RED CROSS AND RED CRESCENT SOCIETIES. IFRC.(2004). *World Disasters Report*. Geneva.
- (4) UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAM. UNEP. (2002). *Global Environment Outlook.Geo-3 Report*. Earthscan. London.
- (5) MUNICH RE. (2004). Topics. Annual review of Natural Catastrophes. München.
- (6) UNITED NATIONS. (2000). General Assembly. *International Strategy for Disaster Reduction*. New York.A/RES/54/219.
- (7) ZUPKA,D. (1998). *Economic impact of disasters*. UNDRO News. Jan-Feb.
- (8) WORLD WATER COUNCIL. WWC. (2000) World Water Vision. Making water everybody's business. 2nd World Water Forum. The Hague.
- (9) INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION. ISDR. (2002). Living with Risk: A global review disaster reduction initiatives. UN. Geneva.
- (10) INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. ICOLD. (2003). Dams and Floods. Guidelines and cases histories. Bulletin 125. Paris.
- (11) WORLD WATER COUNCIL. WWC. (2003) World Water Actions. Making water flow for all. 3rd World Water Forum. Kyoto.
- (12) WORLD WATER COUNCIL. WWC. (2003). Analysis of the 3rd World water Forum. Kyoto.
- (13) UNITED NATIONS WORLD WATER DEVELOPMENT REPORT. (2003) Water for people, water for life. UNESCO. Paris.
- (14) BERGA,L. (2000) Benefits of dams in flood mitigation. 20th International Congress on Large Dams. R35. Q77.
- (15) INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. ICOLD. (1995-1997). Position Paper on Dams and Environment. Paris.

- (16) COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES CIGB. (1997). Avantages et Problèmes liés aux Barrages. Un Argumentaire. Paris.
- (17) COMMISSION INTERNATIONALE DES IRRIGATIONS ET DU DRAINAGE. CIID. (2000) Rôle des barrages pour l'Irrigation, le Drainage et la Maîtrise des Crues. Exposé de position de la CIID.
- (18) GOLDSMITH, E., HILDYARD, N. (1984). Les Effets Sociaux et Environnementaux des Grands Barrages. Sierra Club Books. San Francisco.
- (19) COMMISSION MONDIALE DES BARRAGES. (2000). Barrages et Développement : Un nouveau cadre pour la prise de décision. Earthscan. Londres.
- (20) UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAM. UNEP. (2003). Rapport Provisoire du Projet Barrages et Développement (PBD). Nairobi.
- (21) COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES. CIGB. (2001). À propos du Rapport de la CMB. Paris.
- (22) SKLAR, L., WILLIAMS, P. ((1991). One dozen Problems... World Rivers Review. Mai-juin San Francisco.
- (23) PEARCE, F. (2001). Barrages et crues WWF International. Article de Recherche. Gland.
- (24) COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES CIGB. (2003) Registre Mondial des Barrages. Paris.
- (25) COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES CIGB. (1995). Ruptures de barrages. Analyse statistique. Bulletin 99. Paris.
- (26) COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES CIGB.(2005). Évaluation des risques dans la Gestion de la Sécurité des Barrages. Bulletin. Paris.
- (27) ÉNERGIE HYDRAULIQUE ET BARRAGES. (1998). El Cajón réduit les dommages causés par les ouragans au Honduras. Actualité. 6, 3.
- (28) WORLD COMMISSION ON DAMS. (2000). Évaluation de la Maîtrise des Crues et des Options de Gestion. CMD. Revues thématiques. Évaluation des options. IV. 4
- (29) UNITES STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE). (1999) Effet de la Régulation du Réservoir sur les Débits de Pointe de Crue et les Dommages. Bassin du fleuve Columbia. Service hydrologique. Portland. OU.
- (30) GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'ÉVOLUTION DU CLIMAT. GIEC. (2001). Changement Climatique. Rapport de synthèse. Presse Universitaire de Cambridge.
- (31) APPLETON, B. (Éd.). (2003). Dialogue sur l'Eau et le Climat. Le climat change les règles de l'eau. 3ème Forum Mondial de l'Eau. Kyoto.
- (32) DUIVENDIJK, J. VAN. (2005). *Manual of planning of structural approaches to flood management* (Manuel de planification d'approches structurelles de la gestion des crues). ICID. Commission Internationale des Irrigations et du Drainage.

- (16) INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. ICOLD. (1997). Benefits and Concerns about Dams. An Argumentaire. Paris.
- (17) INTERNATIONAL COMMISSION ON IRRIGATION AND DRAINAGE. ICID. (2000) Role of dams for Irrigation, Drainage and Flood Control. ICID Position Paper.
- (18) GOLDSMITH,E., HILDYARD,N. (1984). The Social and Environmental effects of Large Dams. Sierra Club Books. San Francisco.
- (19) WORLD COMMISSION ON DAMS. (2000). Dams and Development: A New Framework for Decision-Making. Earthscan. London.
- (20) UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAM. UNEP. (2003). Dams and Development Project (DDP) Interim Report. Nairobi.
- (21) INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. ICOLD. (2001). About the WCD Report. Paris.
- (22) SKLAR, L., WILLIAMS,P. (1991). One dozen Problems... World Rivers Review. May-June. San Francisco.
- (23) PEARCE, F. (2001). Dams and Floods. WWF International. Research Paper. Gland.
- (24) INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. ICOLD. (2003) World Register of Dams. Paris.
- (25) INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. ICOLD. (1995). Dam failures. Statistical Analysis. Bulletin 99. Paris.
- (26) INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. ICOLD.(2005). Risk Assessment in Dam Safety Management. Bulletin. Paris.
- (27) HYDROPOWER AND DAMS. (1998). El Cajon reduces hurricane damage in Honduras. News. 6, 3.
- (28) WORLD COMMISSION ON DAMS. (2000). Assessment of Flood Control and Management Options. WCD. Thematic Reviews. Options Assessment: IV. 4
- (29) UNITED STATE ARMY CORPS OF ENGINEERS.USACE. (1999).Effect of Reservoir Regulation on Flood Peaks and Damages. Columbia River Basis. Hydrologic Branch. Portland. OR.
- (30) INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. IPCC. (2001). Climate Change. Synthesis Report. Cambridge University Press.
- (31) APPLETON,B. (Ed). (2003). Dialogue on Water and Climate. Climate changes the water rules. 3rd World water Forum. Kyoto.
- (32) DUIVENDIJK, J. VAN. (2005). *Manual of planning of structural approaches to flood management*. ICID. International Commission on Irrigation and Drainage.

Imprimerie de Montligeon
61400 La Chapelle Montligeon
Dépôt légal : Janvier 2007
N° 24025
ISSN 0534-8293



INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS
COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES
151, boulevard Haussmann - 75008 Paris - France
Téléphone : (33) 01 53 75 16 52 - Fax : (33) 01 40 42 60 71
<http://www.icold-cigb.org/>