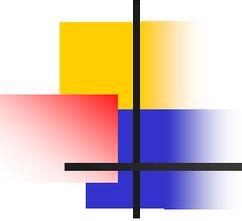


Aménagement et mise en valeur d'un bas-fond dans le Sahel



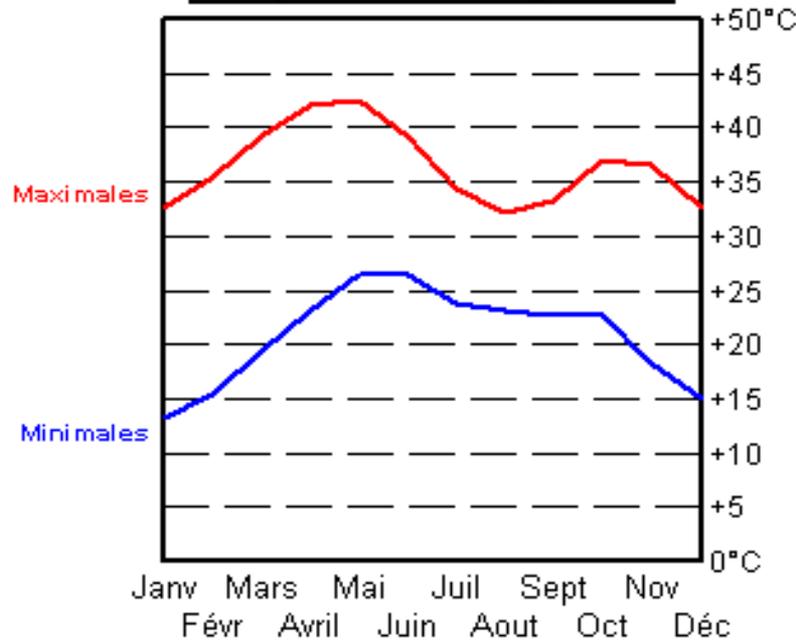
par Bernard CORBEL
Ingénieur hydraulicien
2009



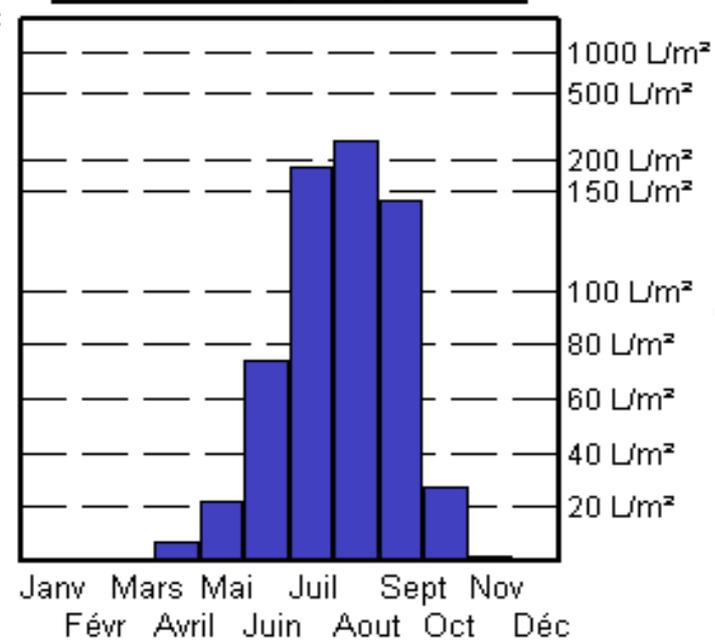
Sommaire

- climatologie, pluviométrie,
- bassins versants, cours d'eau et bas-fonds,
- hydrologie : débits et volumes des crues, débit de projet,
- sédimentologie,
- conception des ouvrages,
- hydraulique : fonctionnement hydraulique et dimensionnement des barrages.
- mise en valeur et impacts

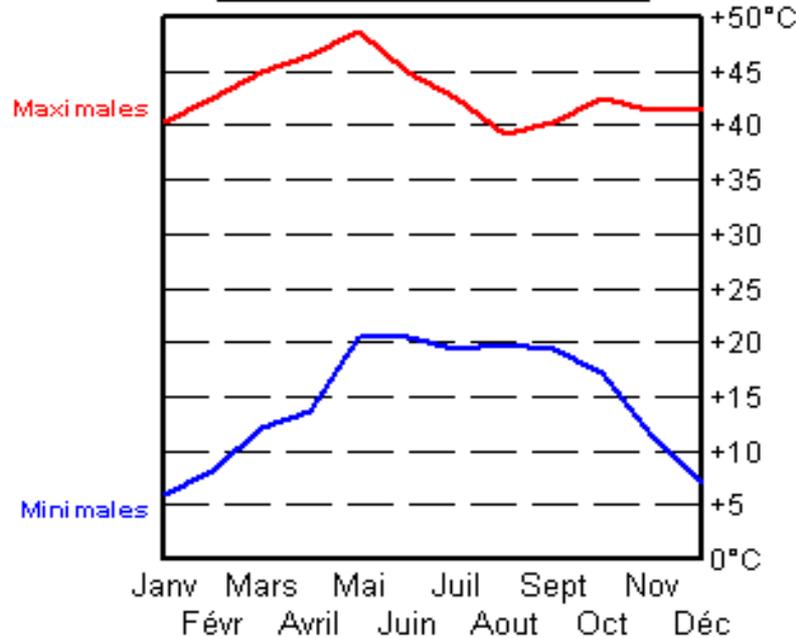
Températures moyennes



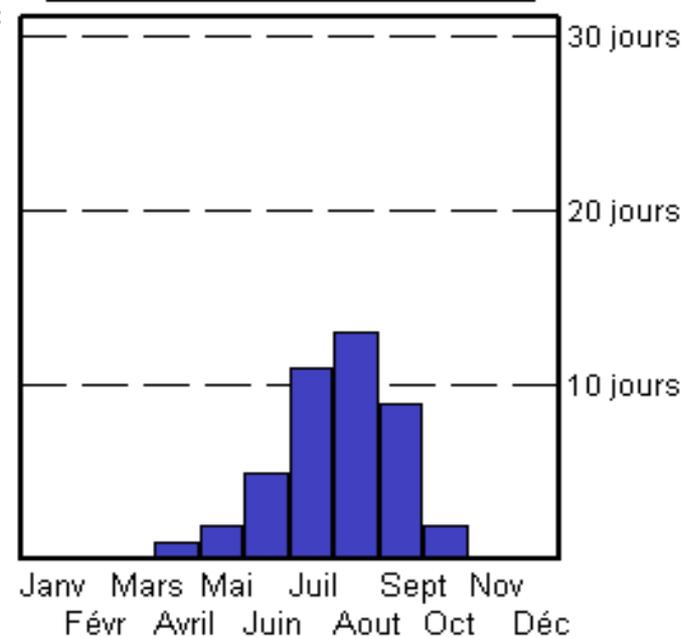
Quantité de précipitation



Températures records

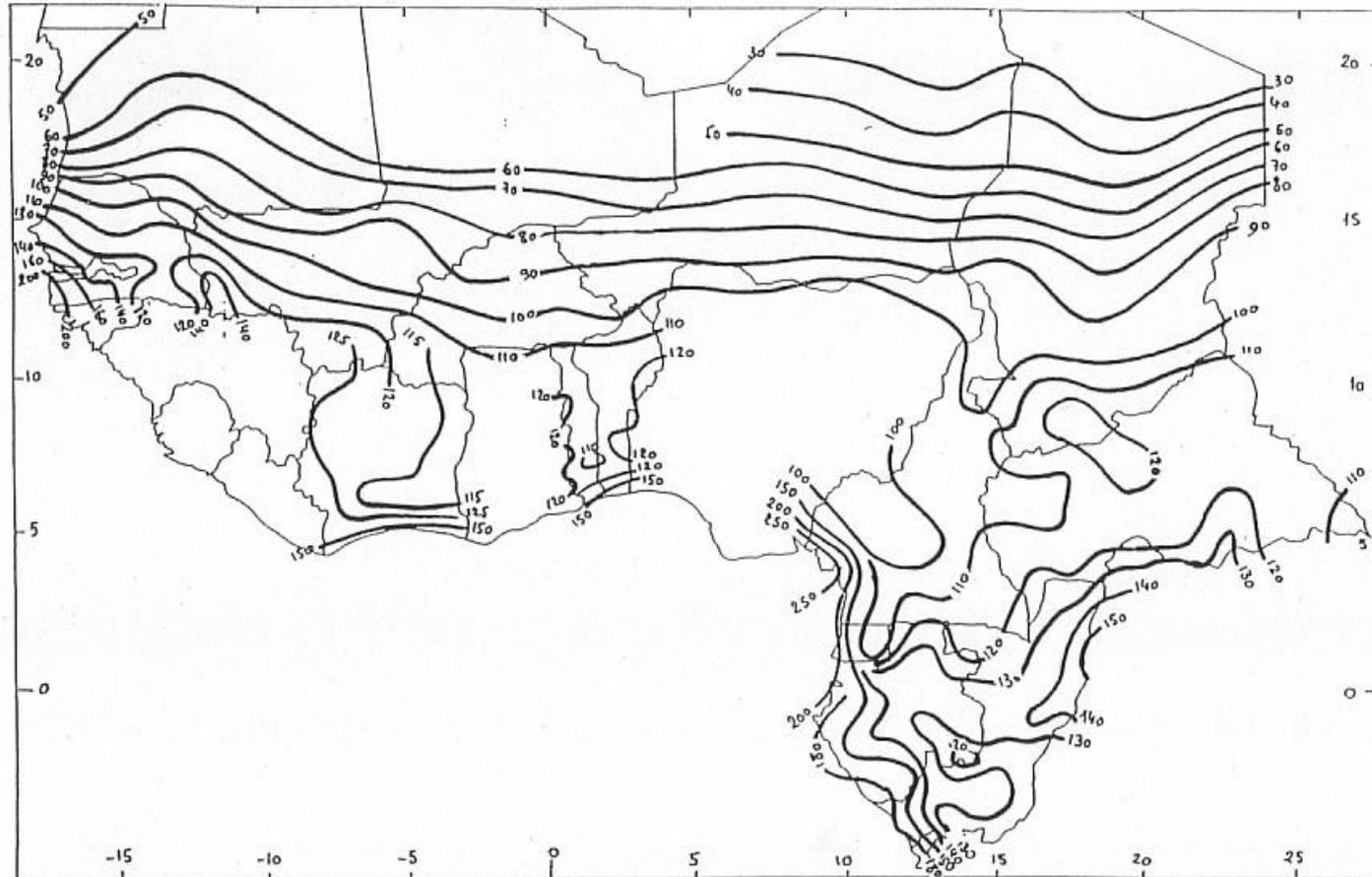


Nombre de jours de pluie



Pluies journalières décennales en Afrique de l'Ouest

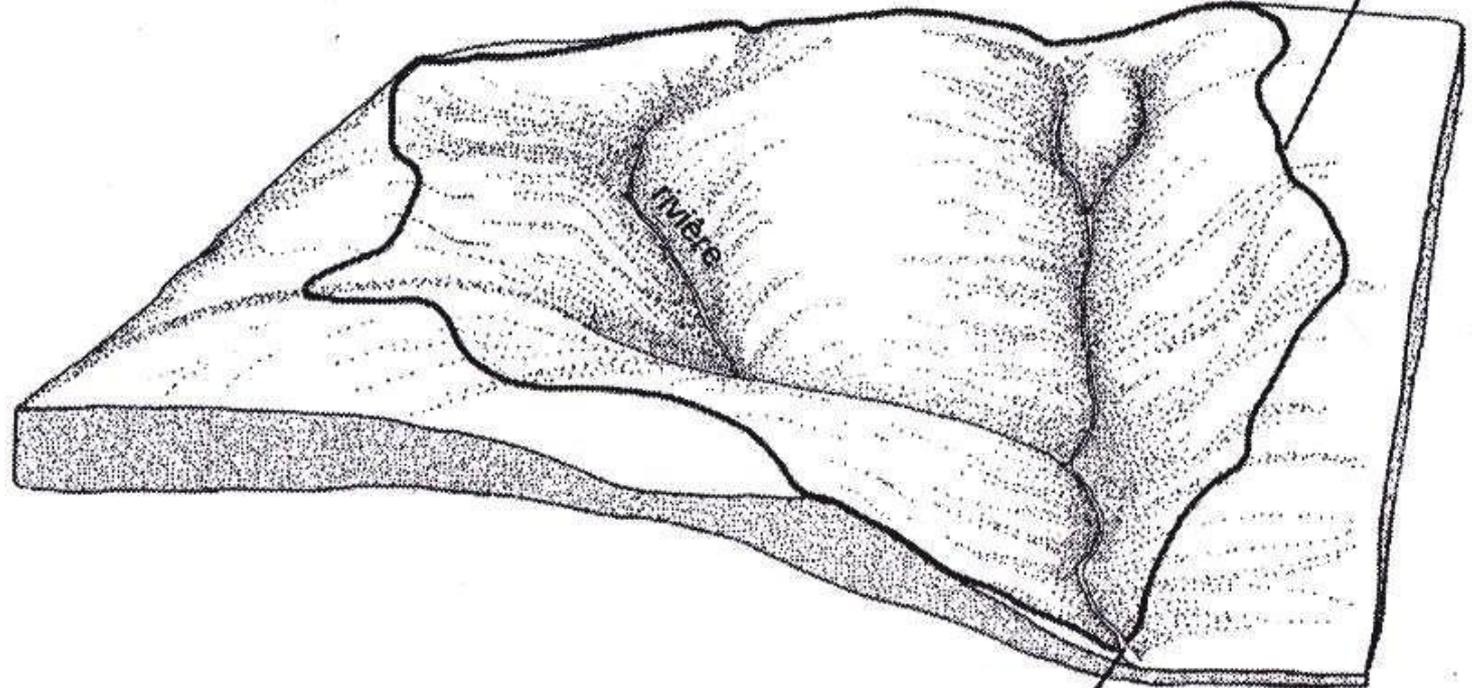
FIGURE 4
Précipitation journalière décennale P_{10} (CIEH 1985)



Le bassin versant

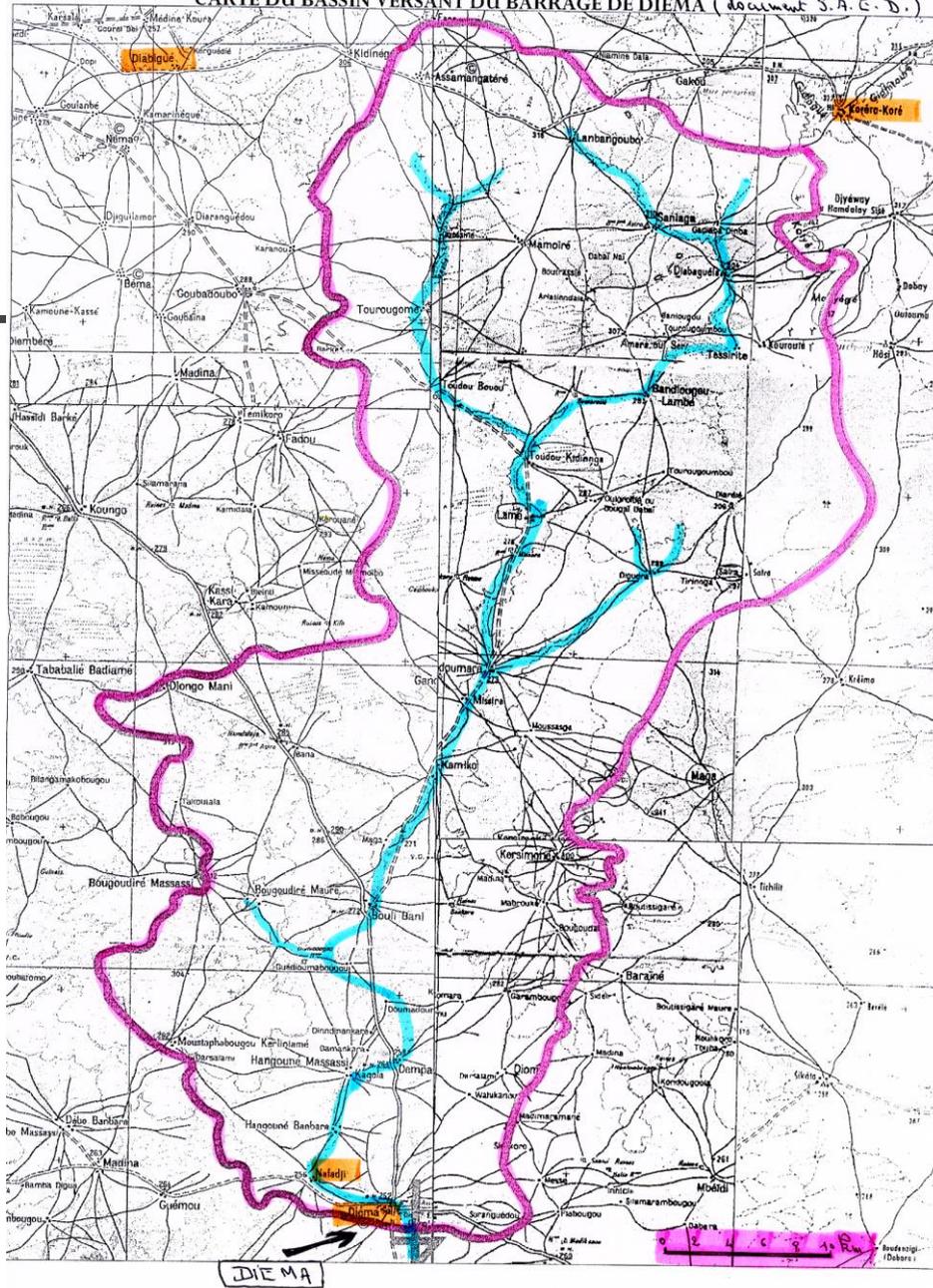
bassin versant de surface

ligne de partage
des eaux



exutoire

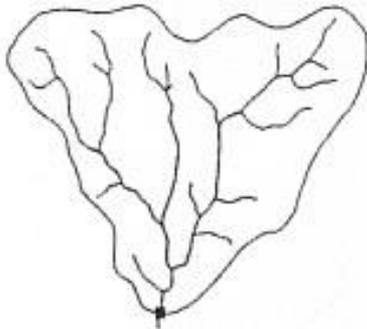
CARTE DU BASSIN VERSANT DU BARRAGE DE DIEMA (document S.A.C.D.)



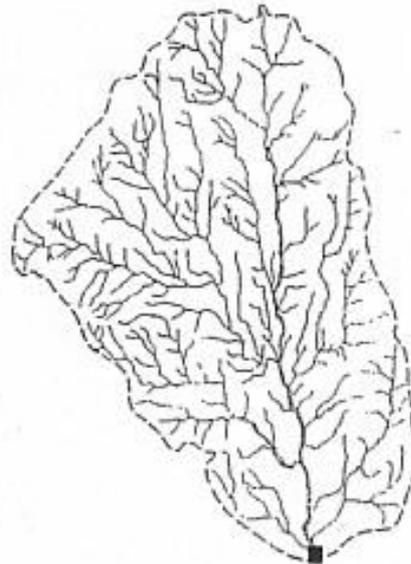
BV de Diéma

Différentes configurations de bassins versants

FIGURE 2
Aspect des réseaux hydrographiques



Réseau radial



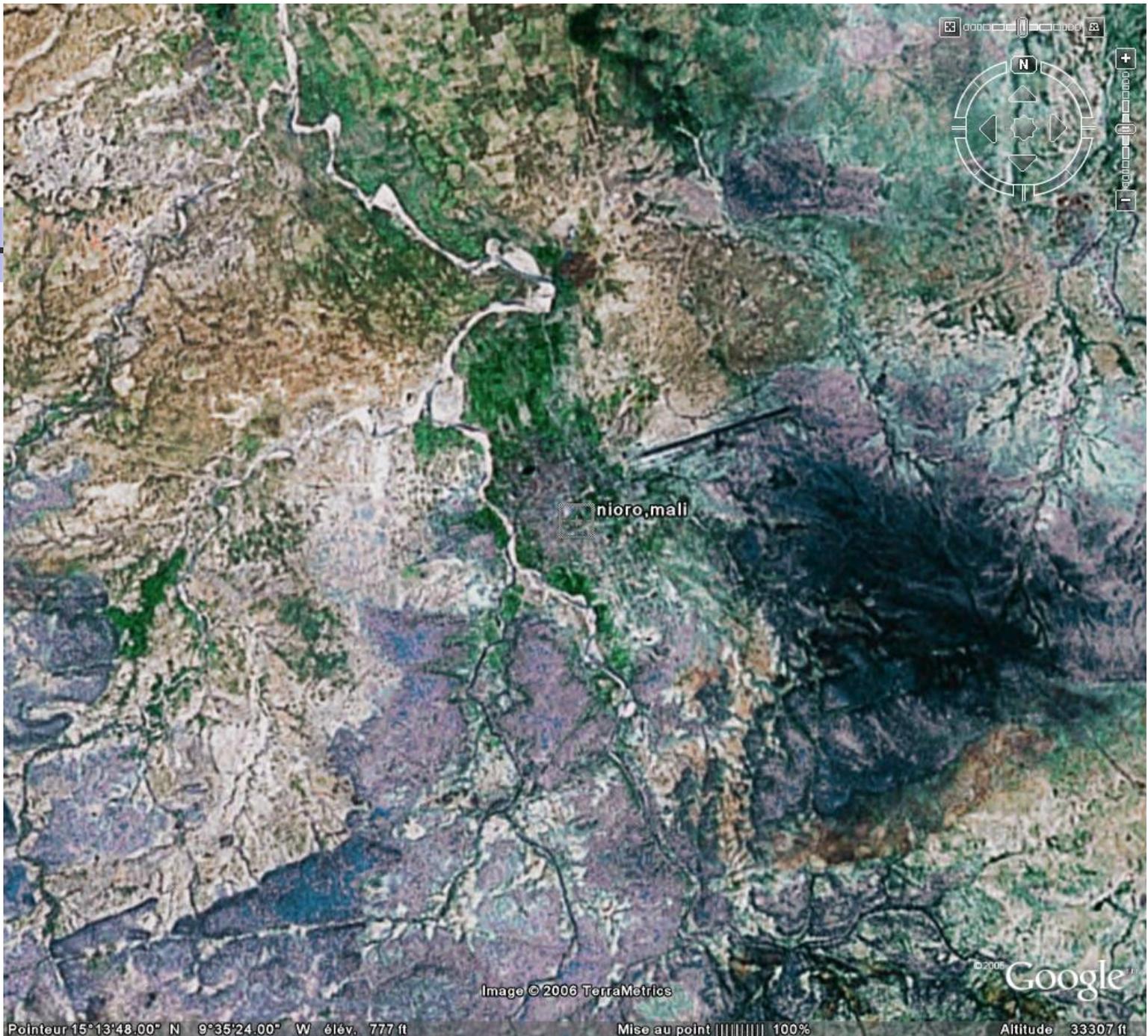
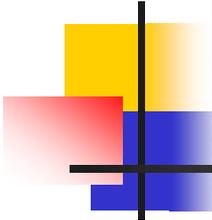
Réseau dendritique

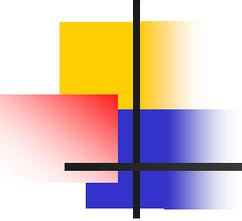


Réseau en arête de poisson

A Diabigué, un lit régulier et bien marqué



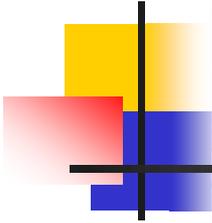




Des systèmes hydrographiques parfois dégradés

Au Sahel, on observe souvent un phénomène de dégradation hydrographique:

- 1er stade : lit majeur anormalement large, parcouru en son milieu par un lit mineur continu,
- 2ème stade : le lit mineur n'est plus continu, le lit majeur étant parcouru par divers chenaux plus ou moins bien marqués. Dans les zones très plates, successions de mares qui se remplissent progressivement et finissent par communiquer entre elles en produisant un écoulement généralisé,
- 3ème stade : le réseau de chenaux s'estompe pour ne former qu'un marécage que le cours d'eau ne franchira qu'en année exceptionnellement humide.



diema, mali

Image © 2006 TerraMetrics

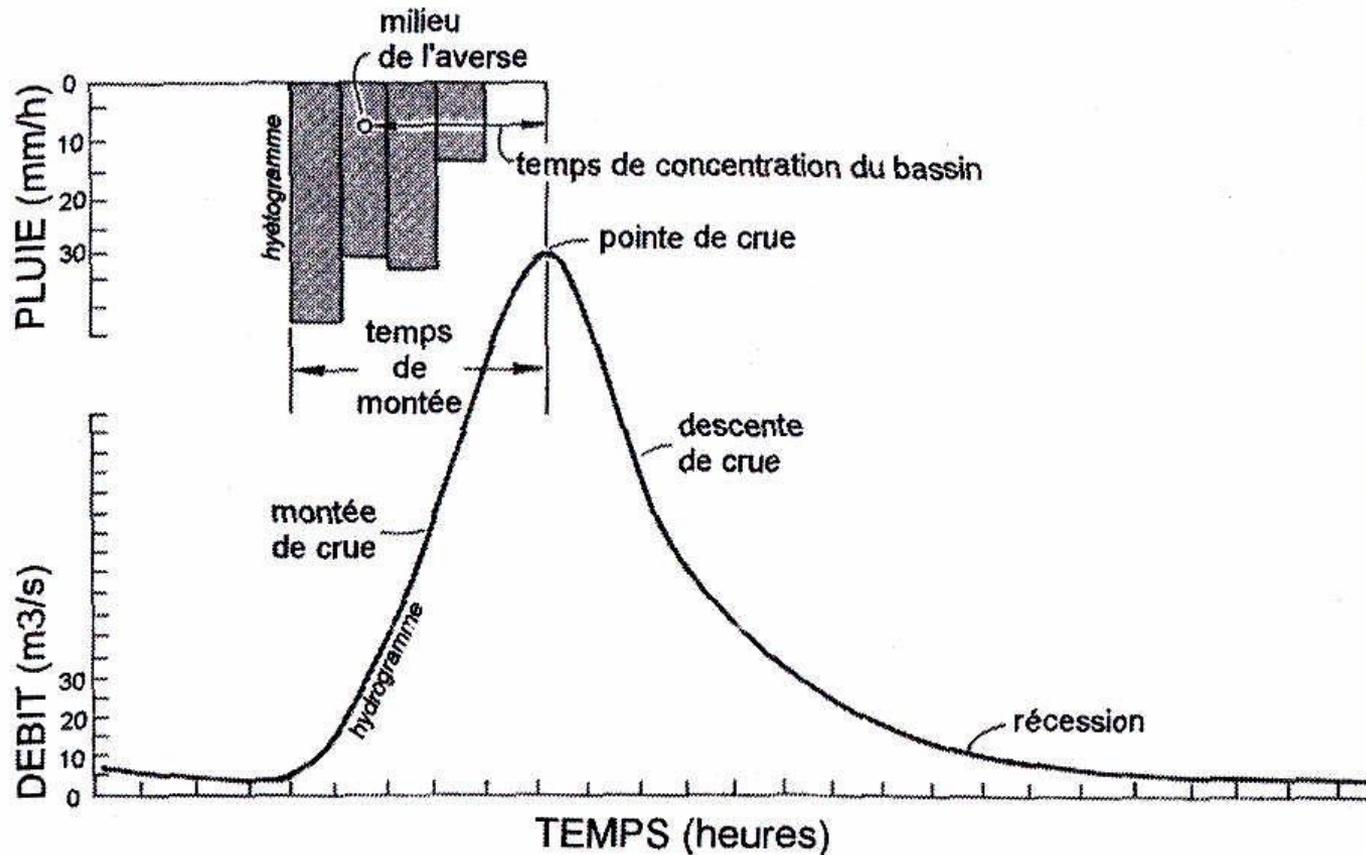
© 2005 Google

Pointeur 14°32'23.89" N 9°11'24.10" W élév. 834 ft

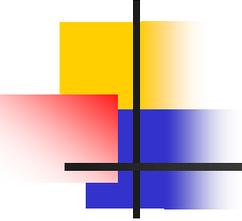
Mise au point ||||| 100%

Altitude 10.75 mi

Quand la pluie génère une crue



Les composantes d'un hydrogramme de crue
et du hyétogramme représentant l'averse
correspondante

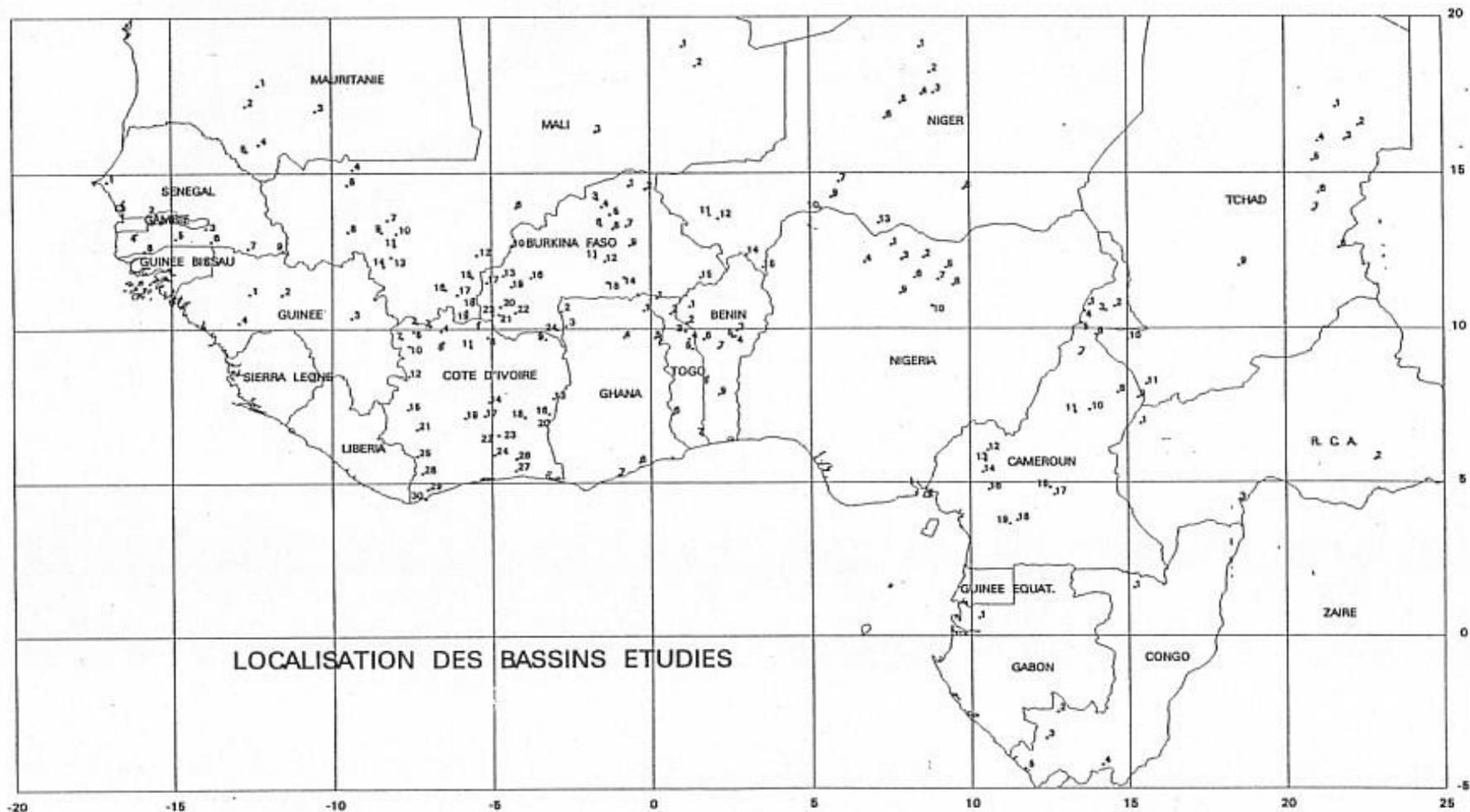


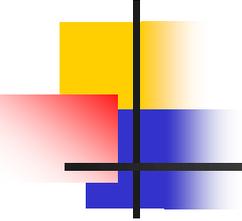
Comment estimer le débit de crue quand on ne dispose pas de mesures ?

Le CIEH (Centre Interafricain d'Etudes Hydrauliques, disparu en 1994) et l'ORSTOM (maintenant IRD, Institut de Recherche pour le Développement) ont :

- suivi environ 180 bassins versants dans 16 états d'Afrique de l'Ouest,
- établi, à partir des données recueillies, des lois donnant le débit de crue décennale en fonction de différents paramètres caractérisant les bassins.

FIGURE A.1
Localisation des bassins étudiés





Formules CIEH et ORSTOM (IRD)

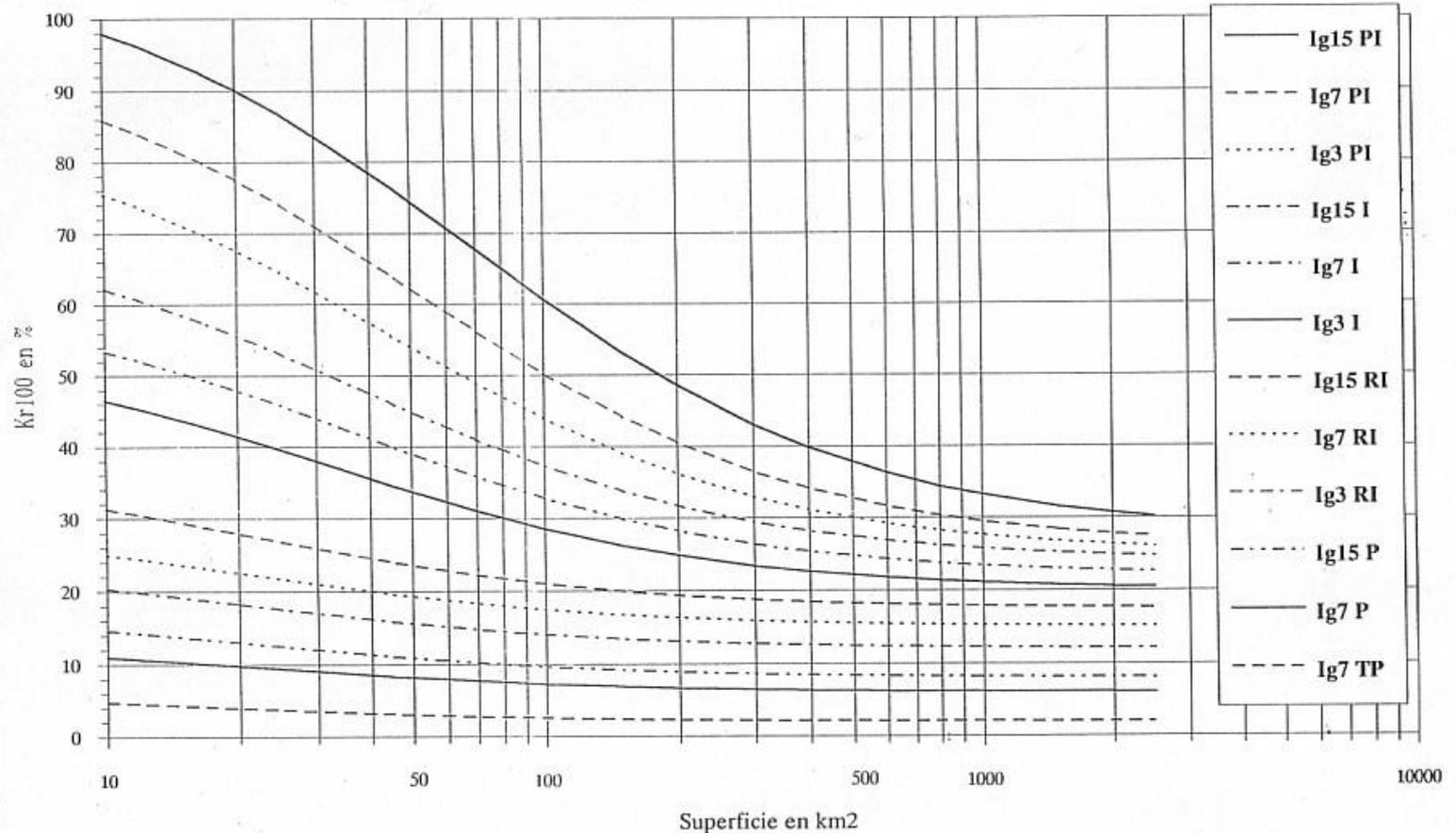
- Estimation du débit de la crue décennale
- Paramètres pris en compte :
 - Pluie journalière décennale
 - Surface du bassin versant
 - Coefficient de ruissellement
 - Temps de base

Pour ces deux derniers facteurs, donnés par des abaques, prise en compte de la pente, de la géologie, de l'aspect du réseau hydrographique ...

- Des formules de même nature permettent d'estimer les apports annuels (en volume)

Un exemple d'abaque

FIGURE 12
Coefficient de ruissellement décennal Kr_{100} pour $S > 10 \text{ km}^2$ en zone sahélienne



Débit de projet

(débit pour lequel l'ouvrage est dimensionné)

- Débit de période de retour décennale
- Durée de vie moyenne théorique des ouvrages : 10 ans
- Mais:
 - la précision des formules ORSTOM et CIEH n'est pas connue
 - avec la revanche, on a une marge de sécurité

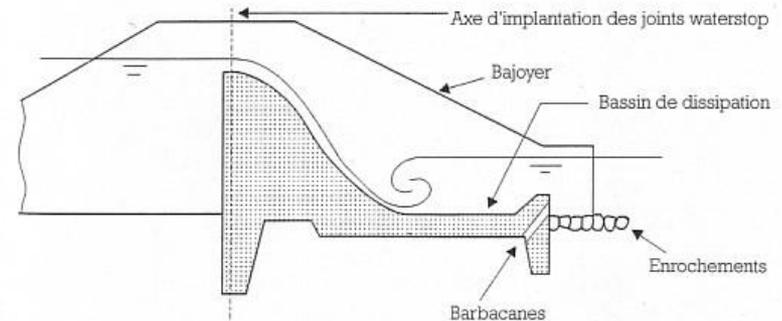
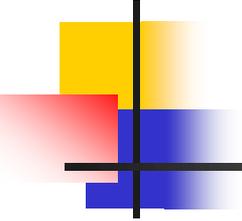


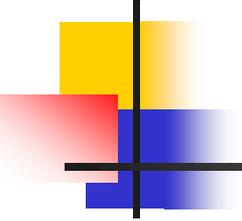
Figure 2.6 : Schéma d'un déversoir-poids en béton à profil Craeger.

Durée de vie moyenne probable 10 à 20 ans, voire plus pour certains (cas par exemple d'ouvrages dans des bassins versants comportant de nombreuses mares comme celui de Diéma)



Sédiments transportés par les eaux de crue

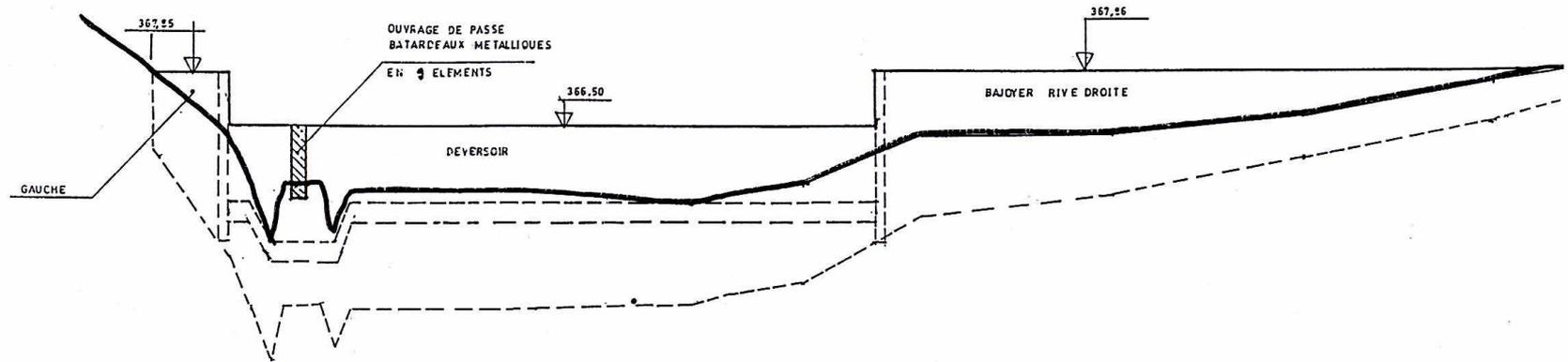
- Les eaux de crue transportent des matériaux solides, résultat de l'érosion du bassin versant : matières en suspension (eaux couleur de terre), sables et graviers transportés par saltation ou charriage sur le fond,
- Le barrage crée un plan d'eau dans lequel les vitesses d'écoulement sont fortement réduites: **ce plan d'eau fonctionne comme un décanteur,**
- Le comblement de la cuvette de la retenue est inéluctable, il faut donc chercher à retarder cette échéance.



Comment ralentir le comblement de la retenue ?

- En agissant en amont, dans le bassin versant : restauration des sols (reboisement, cordons pierreux, ...) pour limiter l'arrachement de particules de sol par la pluie et leur transport,
- En retenant ces matériaux emportés sur les axes d'apport à la retenue (petits barrages sur les affluents),
- En gérant au mieux la retenue : laisser le barrage ouvert pendant la première crue (qui lessive le bassin versant après plusieurs mois sans pluie).

Le barrage: un ouvrage en 2 parties



- En partie centrale, le déversoir qui est conçu pour être submersible lors des crues,
- De chaque côté, une digue ou un mur de fermeture (appelé bajoyer), qui n'est pas conçu pour être submersible. Sa submersion entraînerait sa ruine.

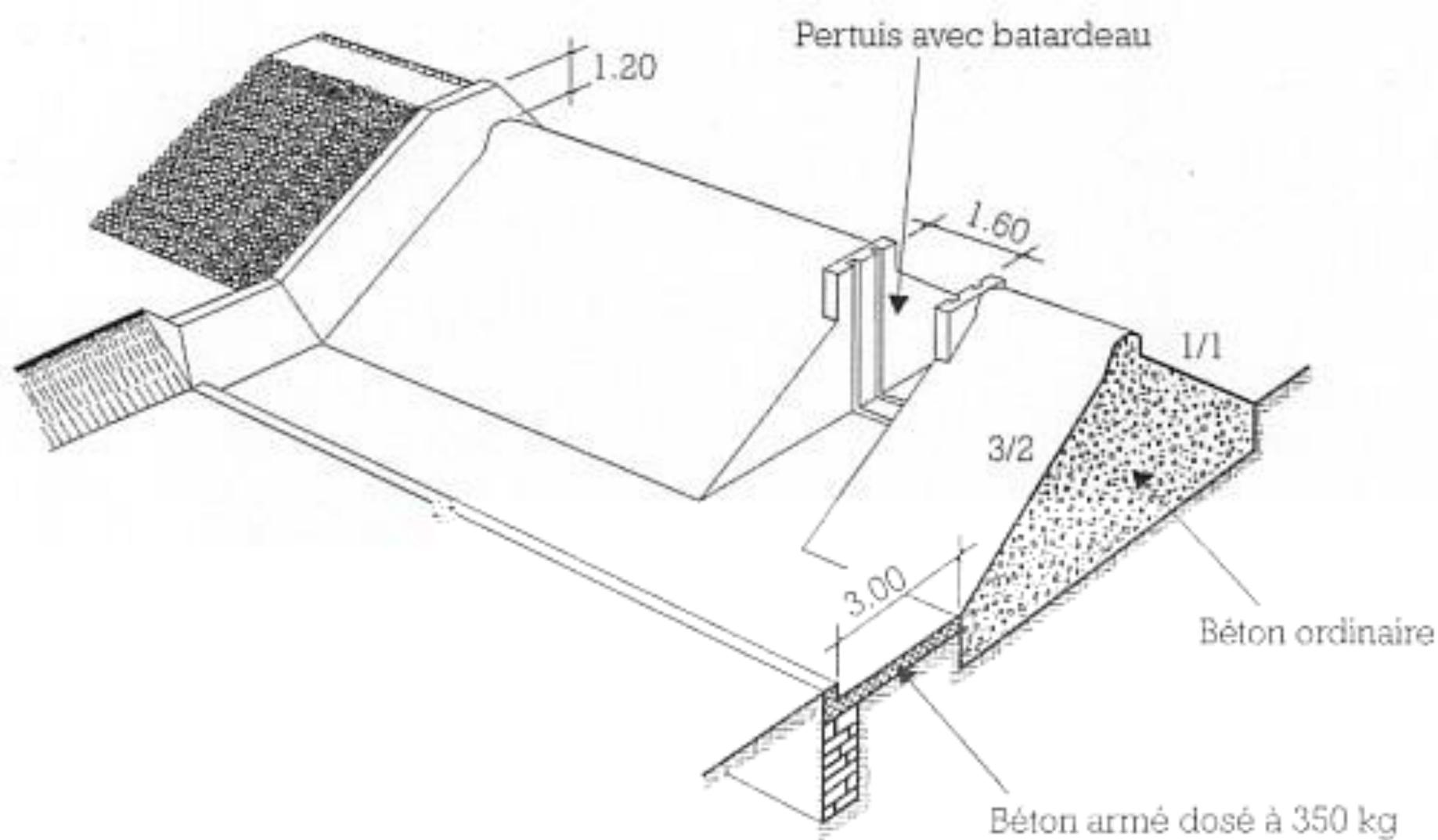


Figure 2.39 : Ouvrage de vidange intégré au déversoir (barrage de Keita - NIGER) - Extrait de [2]. (N.B. : bien entendu, le pertuis à batardeaux est parfaitement réalisable dans le cas d'un déversoir plus classique, à parement amont vertical).

Le barrage de Séredji en construction

(novembre 1999)



La dissipation de l'énergie au pied de la chute

(ouvrage d'un moulin dans la haute vallée de l'Oise)



Le bassin de dissipation : organe essentiel pour la sécurité de l'ouvrage

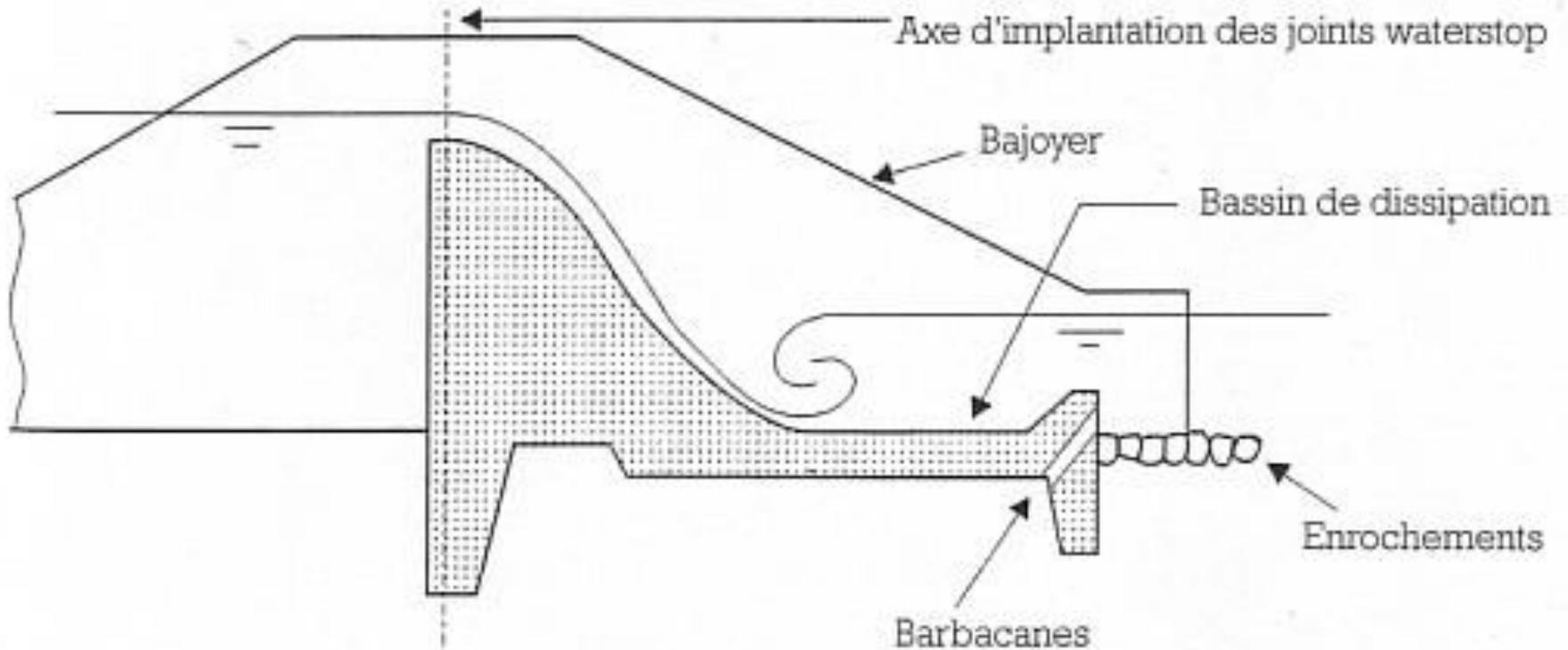


Figure 2.6 : Schéma d'un déversoir-poids en béton à profil Craeger.

A Sandaré



A Fatao



A Sibindi

(en construction - novembre 1999)





A Simbi, digue en terre de part et d'autre du déversoir

- Cette digue est constituée de matériaux perméables
- Un mur est donc construit en amont pour empêcher l'eau de s'infiltrer dans la digue, d'entraîner des matériaux et donc de la détruire (par phénomène de renard)



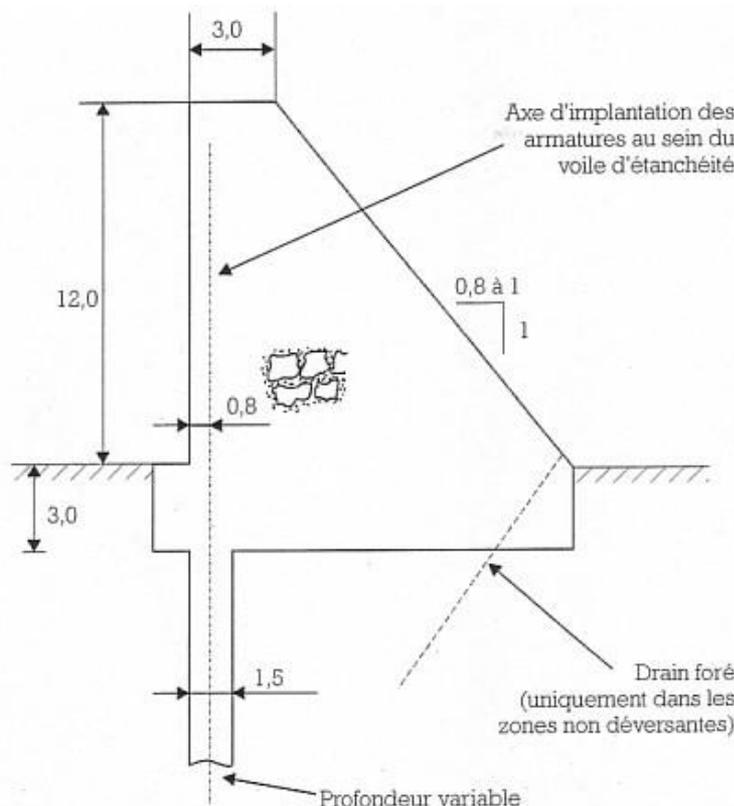
A Simbi

- Le mur (présenté précédemment) doit descendre sous le niveau du sol pour éviter aussi les infiltrations sous la digue



Sous le barrage aussi il faut empêcher les infiltrations

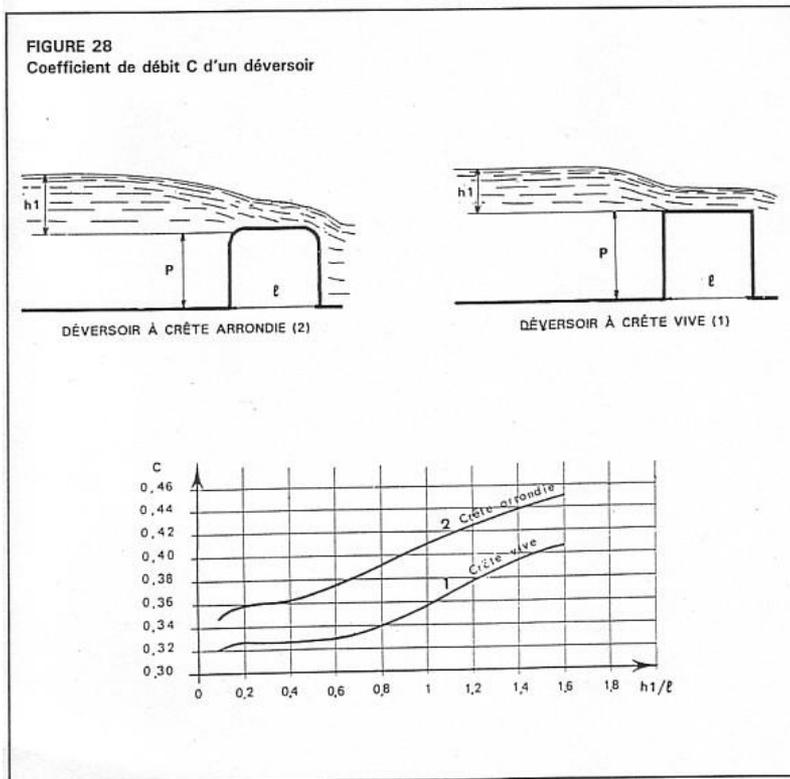
Figure 4.1 : Exemple de profil d'un barrage en maçonnerie .



Un barrage comprend:

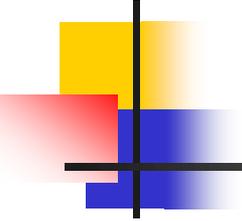
- Une partie visible, érigée au dessus du niveau du sol,
- Une partie invisible, aménagée sous le niveau du sol:
 - fondations,
 - écran d'étanchéité (ici un mur qui descend sous le barrage)

Un peu d'hydraulique pour terminer



- Dans ce cas de figure, la hauteur d'eau h_1 au-dessus du barrage dépend :
 - du débit,
 - de la forme du déversoir.

Le niveau en aval est bas, il n'a pas d'influence sur l'écoulement au-dessus du déversoir.



Écoulement noyé et écoulement dénoyé

- Écoulement dénoyé : l'écoulement des eaux en aval du barrage n'a pas d'influence sur l'écoulement au-dessus du barrage (cas présenté précédemment),
- Écoulement noyé : l'écoulement des eaux en aval du barrage a une influence sur l'écoulement au-dessus du barrage.

Une chute naturelle fonctionnant en dénoyé:

ce qui se passe en haut n'est pas influencé
par l'écoulement en bas, en aval

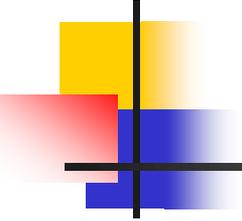


Ce déversoir fonctionne en dénoyé
En aval, on observe la formation d'un ressaut



Ce déversoir est soumis à un écoulement noyé





Message: il ne faut pas laisser les conditions d'écoulement en aval du barrage se dégrader après sa mise en service

- Si un barrage calculé en dénoyé vient à fonctionner en noyé, le risque de ruine devient très grand (car pour le débit de projet la hauteur d'eau sur le barrage devient supérieure à celle calculée en dénoyé),
- Quand un ouvrage a été calculé avec l'hypothèse d'un écoulement dénoyé, il faut donc veiller à ce que les conditions d'écoulement en aval ne se dégradent pas après la construction de l'ouvrage.

Exemple l'ouvrage de Simbi

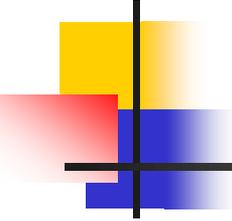
(photographie de juillet 2005)



- L'ouvrage a été dimensionné avec l'hypothèse d'un écoulement dénoyé
- le lit en aval est peu marqué, en juillet 2005, il était encombré par des dépôts, des remblais, des clôtures...
- des travaux ont été faits pour améliorer les conditions d'écoulement en aval et assurer les conditions d'un écoulement dénoyé
- Il faudra veiller à ne pas laisser le lit s'encombrer à nouveau et devenir comme le lit en aval du pont de Diéma : voir photo page suivante.

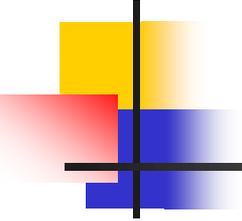
A Diéma, en aval du pont, des conditions d'écoulement fortement dégradées par des clôtures, préjudiciables pour le fonctionnement du pont





En résumé : l'aménagement hydraulique d'un bas-fond est un ensemble comprenant plusieurs éléments

- En amont : des actions et des aménagements pour limiter les apports de matériaux solides dans la retenue et ralentir son inéluctable comblement
- Le barrage : la pièce centrale du dispositif
- En aval : des conditions d'écoulement à préserver (elles ne doivent pas se dégrader dans le temps).
- **La surveillance et l'entretien doivent concerner tous ces éléments et pas seulement le barrage**



Une utilisation étalée sur toute l'année

Exemple:

- Saison des pluies (juillet à octobre) : riz
- Saison sèche :
 - novembre à janvier : maïs, patate douce,
 - février à avril : maraîchage

Riziculture à Diabé (novembre 2009)

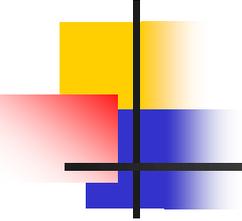


Maïs à Sérédji



Maraichage à Sandaré





Impacts de ces aménagements

Pour la population :

- accroissement sensible des revenus monétaires des villageois,
- recharge de la nappe phréatique,
- source d'abreuvement pour le bétail,
- création d'une dynamique dans les villages concernés,
- ces aménagements favorisent la structuration du monde agricole,

Pour l'environnement :

- source d'abreuvement pour la faune sauvage,
- ...



L'efficacité des micro-barrages
dans le développement
des ressources alimentaires au Sahel

En 2001,
pluviométrie
déficitaire

Champs de mil dans
la région de Diéoura
décembre 2001 :
cultures traditionnelles
très mauvaise pluvio-
métrie en 2001
déficit céréalier
sur la zone de Kaarta
30.000 t !

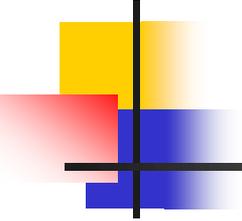


- En haut, culture traditionnelle (champ de mil)
- Déficit céréalier dans le Kaarta: 30 000 tonnes
- En bas, champ de riz dans le bas-fond aménagé de Sérédji
- Surface cultivée 30 ha, avec un rendement moyen de 4 tonnes /ha (120 tonnes de riz)

Champs de riz ;
bas fond en amont
du barrage de Sérédji
novembre 2001 :
surface cultivée : 25 ha
rendement moyen
5 t /ha
valeur de la récolte
240.000 F



En 2008, production des 12 sites
aménagés :
environ 600 tonnes de riz
+ maïs, patates douce, légumes....



En conclusion parlons argent : c'est un investissement rentable

- Prix de revient moyen par hectare inondé : 2 300 euros (1 500 000 F CFA)
- Exemple du barrage de Sérédji:
 - Surface inondée : 30 ha
 - Coût de l'aménagement : 75 000 euros (50 000 000 F CFA)
 - Revenu annuel généré : 30 000 euros (20 000 000 F CFA)

Retour moyen sur investissement : 3 ans !!

Excellente rentabilité et beaucoup d'impacts locaux :
d'où une **forte demande des villageois**

Beaucoup de sites sont aménageables, mais le rythme des réalisations est freiné par la baisse des financements