



BURKINA FASO

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE L'HYDRAULIQUE ET DES RESSOURCES HALIÉUTIQUES

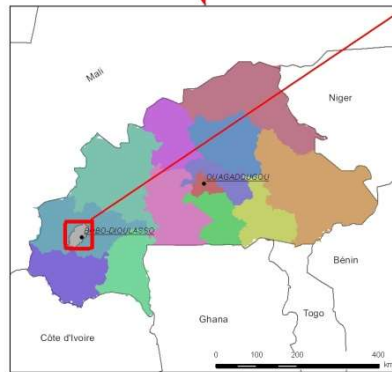
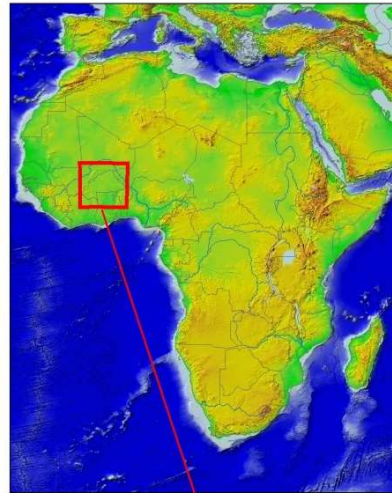
# GIRE au Burkina Faso : les ressources en eau souterraine dans la région de Bobo Dioulasso et leurs usages

**S. Brouyère, B. Tychon, J. Derouane, J. Wellens, N. Gardin**

**Jeudi de l'Aquapôle, 29 avril 2010**

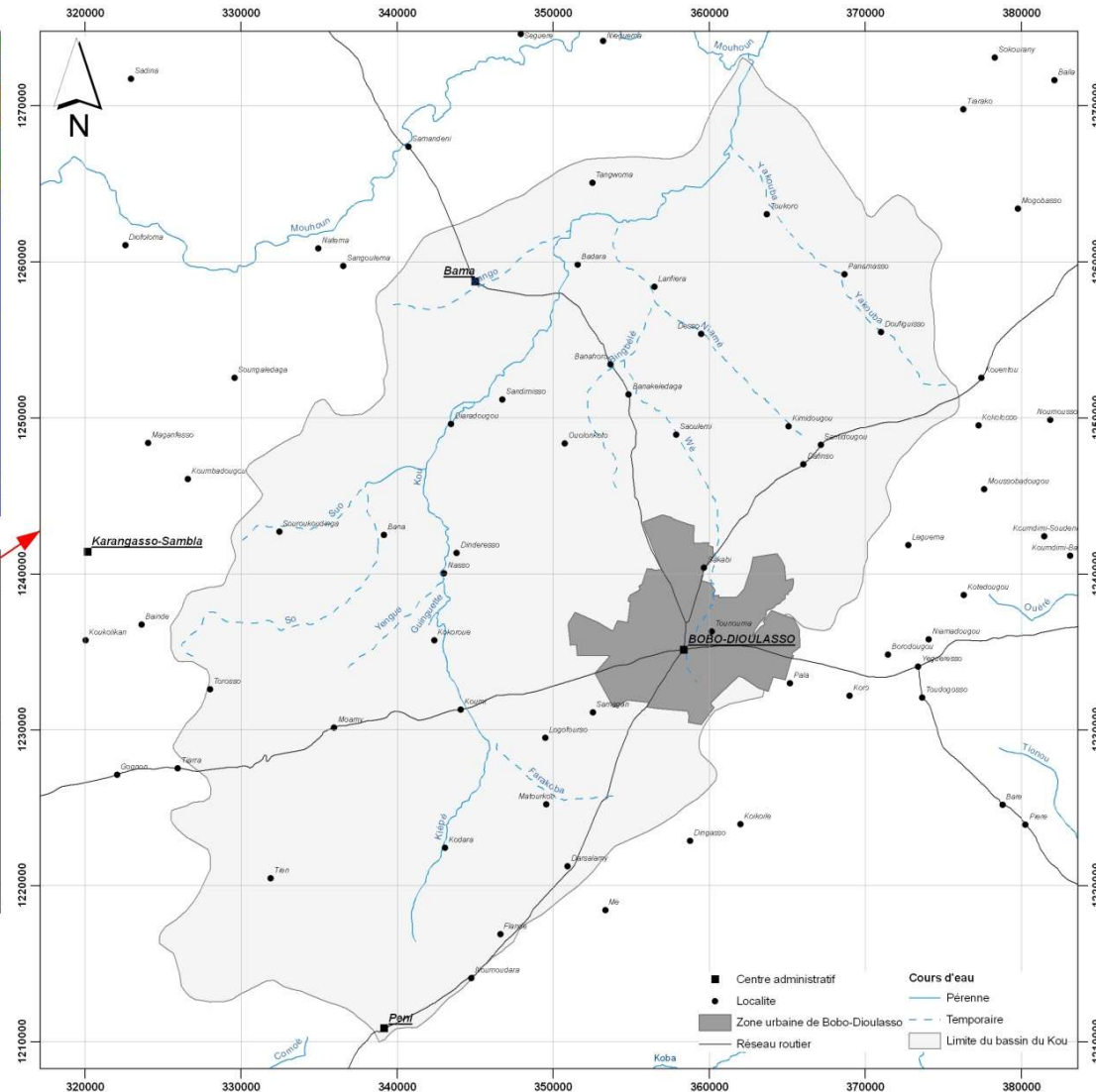


# Localisation de la zone d'étude



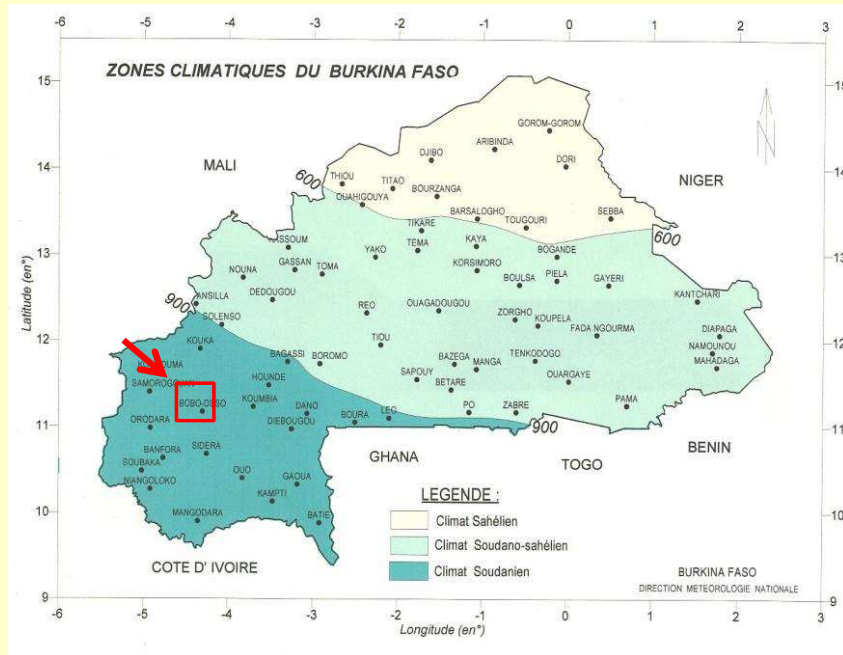
## LE BASSIN VERSANT DU KOU

Projet "Appui à la gestion et à la protection des ressources en eau souterraine exploitées dans la région de Bobo-Dioulasso"



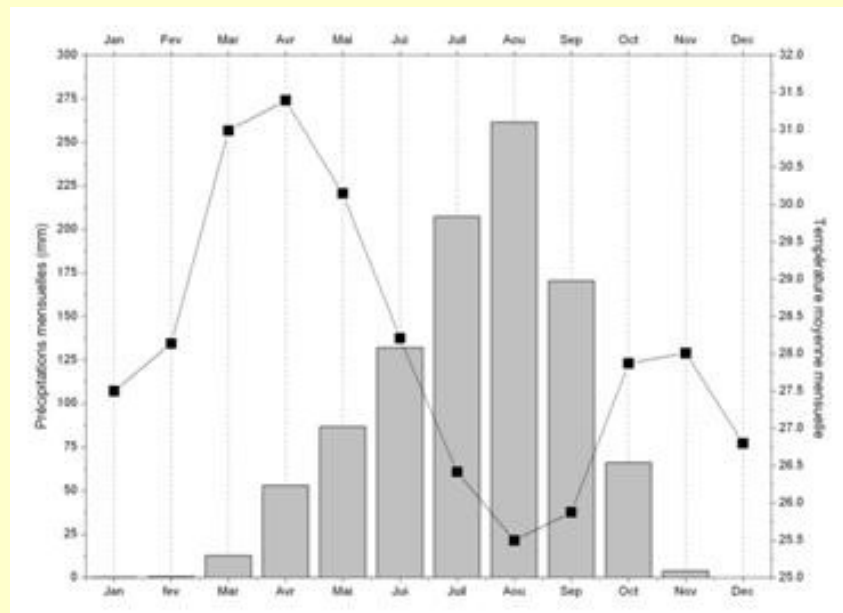
Burkina Faso, Afrique de l'Ouest  
 Bassin international du Mouhoun  
 Bassin versant du Kou

# Le Sud-Ouest et le BV Kou : un climat favorable



- Climat de type soudanien
  - Une saison des pluies de mai à octobre
  - Une saison sèche de novembre à avril

- Précipitations annuelles de 900 à 1.200 mm/an
- Températures moyennes mensuelles de 25 à 31°C
- ETP annuelle: 1.800 à 2.150 mm/an
- EU de 68 à 339 mm/an







Précipitations et températures à Bobo-Dioulasso

# Des ressources en eau abondantes ... ...mais des usages et fonctions consommatrices




**Situation:** Sud – Ouest du Burkina Faso

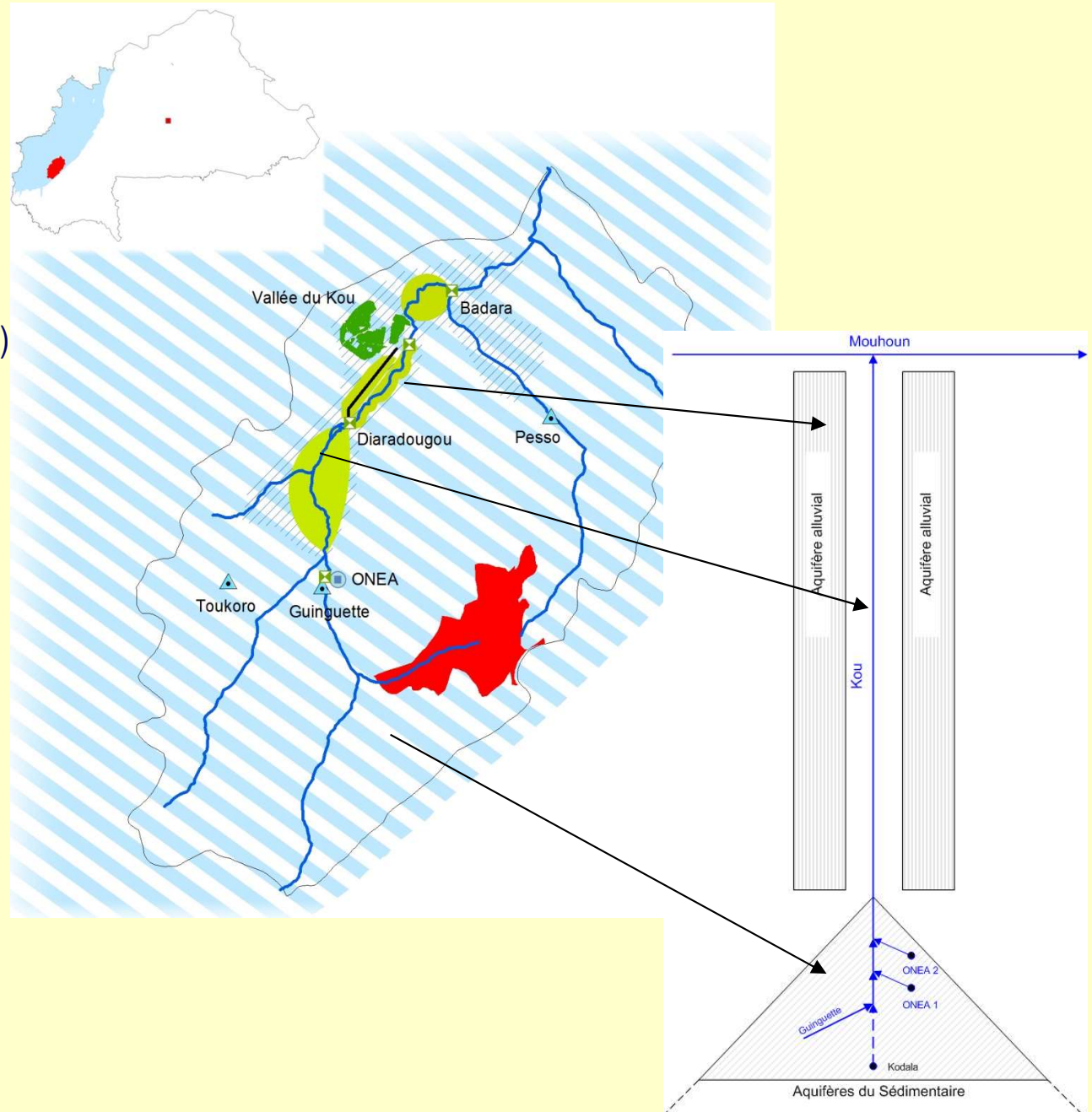
**Superficie:** 1.800 km<sup>2</sup>

## Ressources en eau:

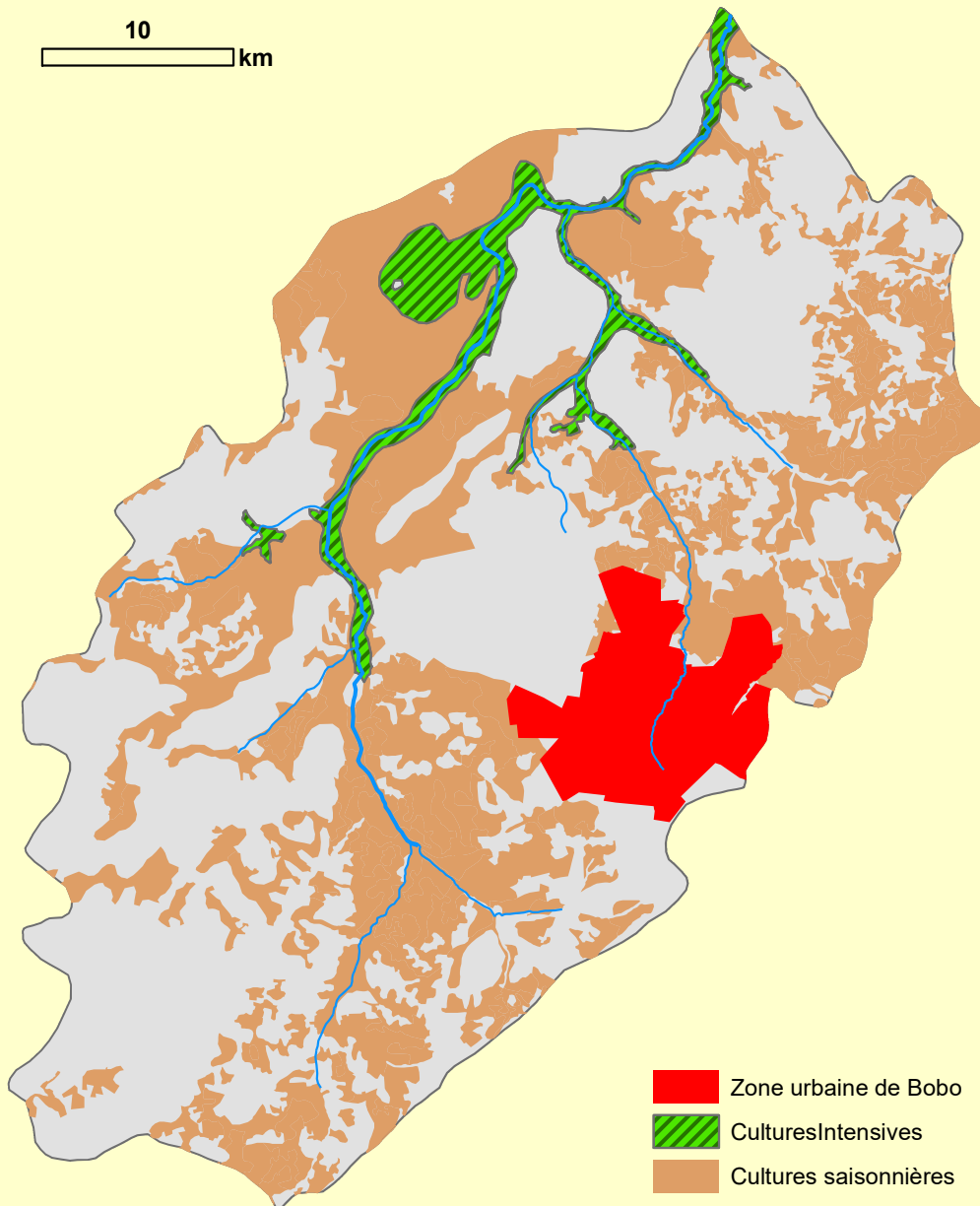
-  Sources de Nasso-Guinguette (7.000 m<sup>3</sup>/h)
-  Cours d'eau pérennes (Kou)
-  Nappe aquifère du Sédimentaire (bordure sud du Bassin de Taoudeni) ;
-  Nappe alluviale de la P.A. du Kou ;

## Ses utilisateurs:

-  AEP de Bobo-Dioulasso (400.000 -> **600.000** -> 1.000.000 habitants);
-  ville de Bobo-Dioulasso;
-  zones agricoles : 3.200 ha dont 1.200 ha en périmètre irrigué (Bama)



# Les usages de l'eau du BV du Kou l'agriculture

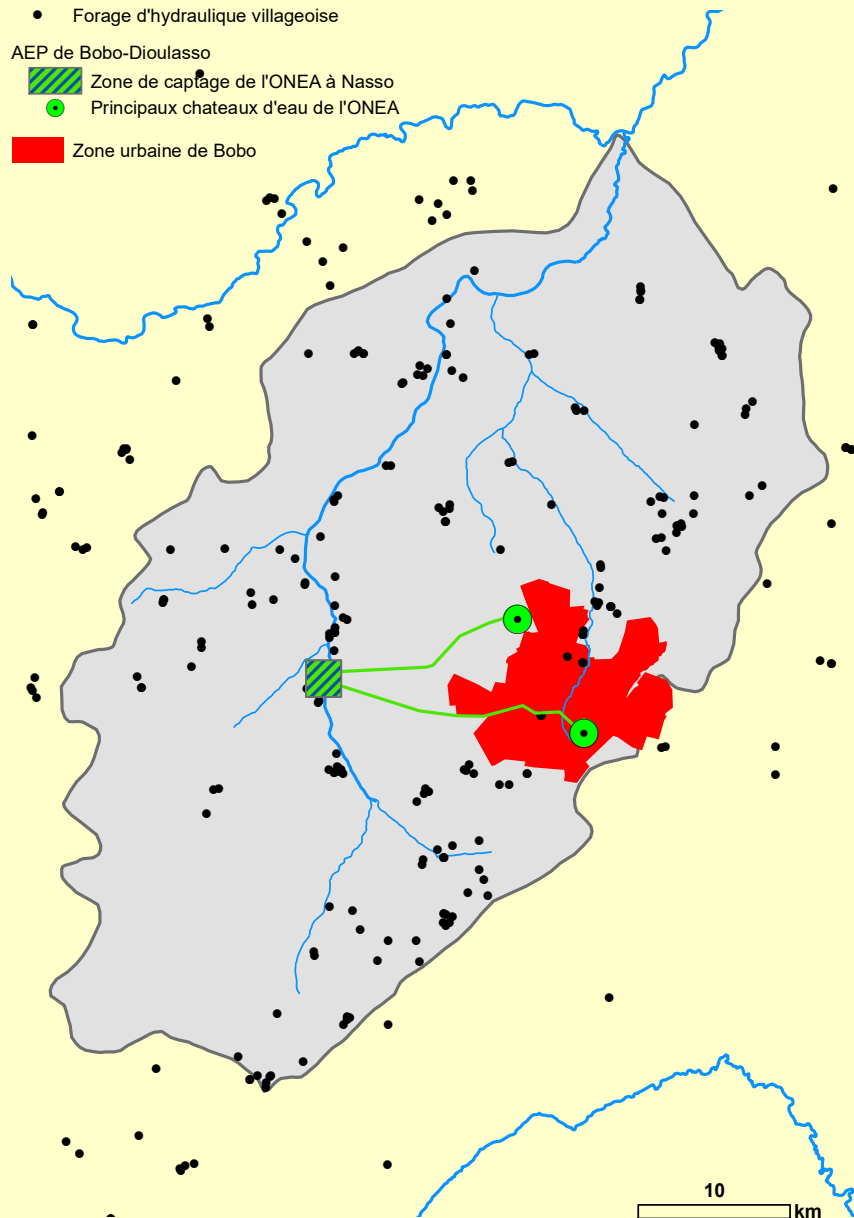


Deux types de zones agricoles:

- Les cultures irriguées: essentiellement associées à la rivière Kou:
  - riz,
  - maïs,
  - diverses cultures maraîchères
- Les cultures pluviales: elles occupent le reste du bassin:
  - coton,
  - maïs,
  - ...

# Les usages de l'eau du BV du Kou

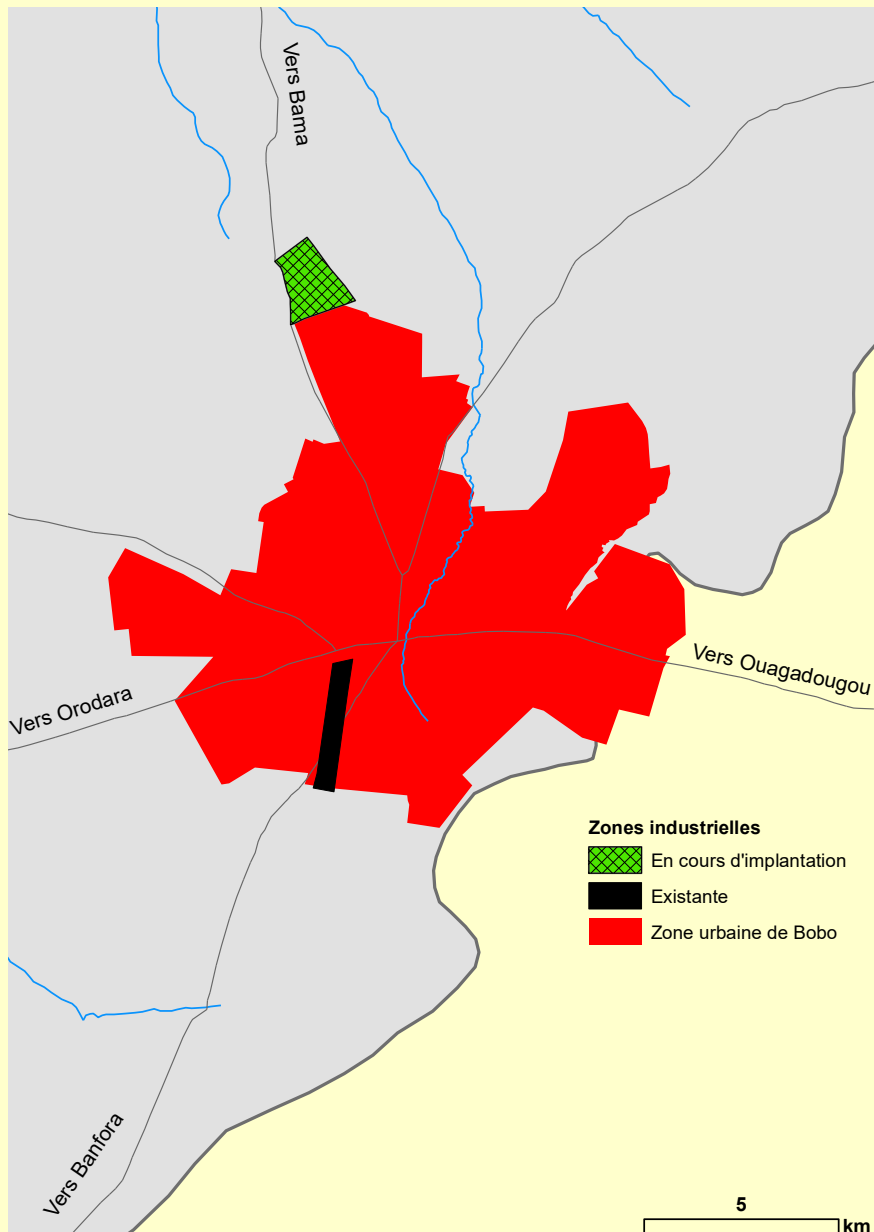
## Alimentation en eau potable



- L'alimentation en eau potable des habitants de Bobo-Dioulasso assurée par l'ONEA (1 source + deux forages)  
400.000 -> **600.000** -> 1.000.000 habitants...
- L'alimentation en eau potable des populations rurales : hydraulique villageoise par forages et AEPS
  - Le bassin compte environ 190 forages dont un grand nombre ne sont plus exploités

# Les usages de l'eau du BV du Kou

## Activités industrielles



- Zone industrielle de 250 ha dans S-W de la ville (route de Banfora):
  - Activités en rapport avec le coton (production de fibres textiles, savonneries, produits phytosanitaires,...)
  - Industries agro-alimentaires (Brasserie, huileries,...)
  - Industries métallurgiques
- Nouvelle zone d'industrielle en cours d'implantation au Nord de la ville



# Les usages de l'eau du BV du Kou

## Forêt classée de Dinderesso-Kou et son écosystème exceptionnel



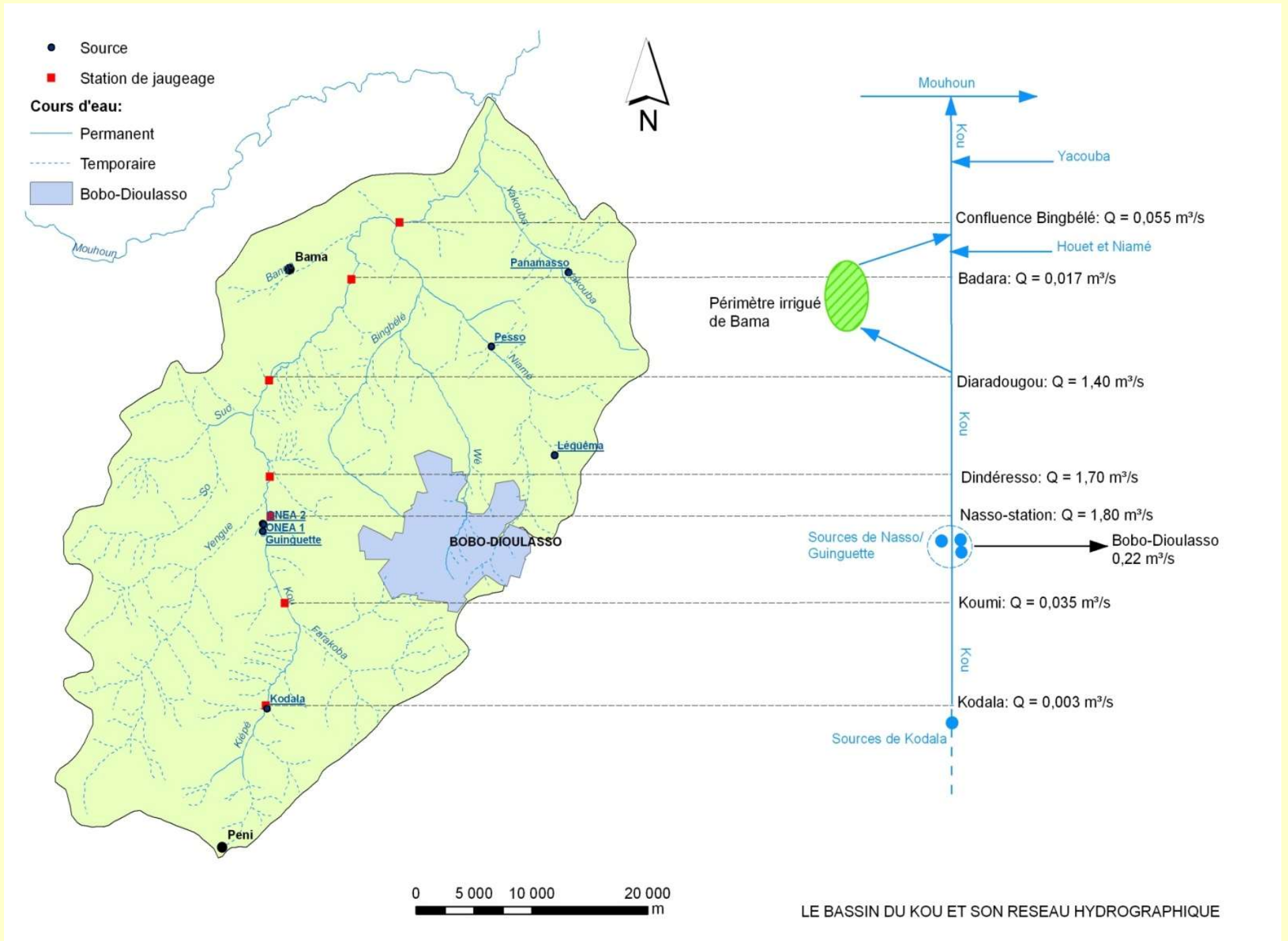


# Les usages de l'eau du BV du Kou

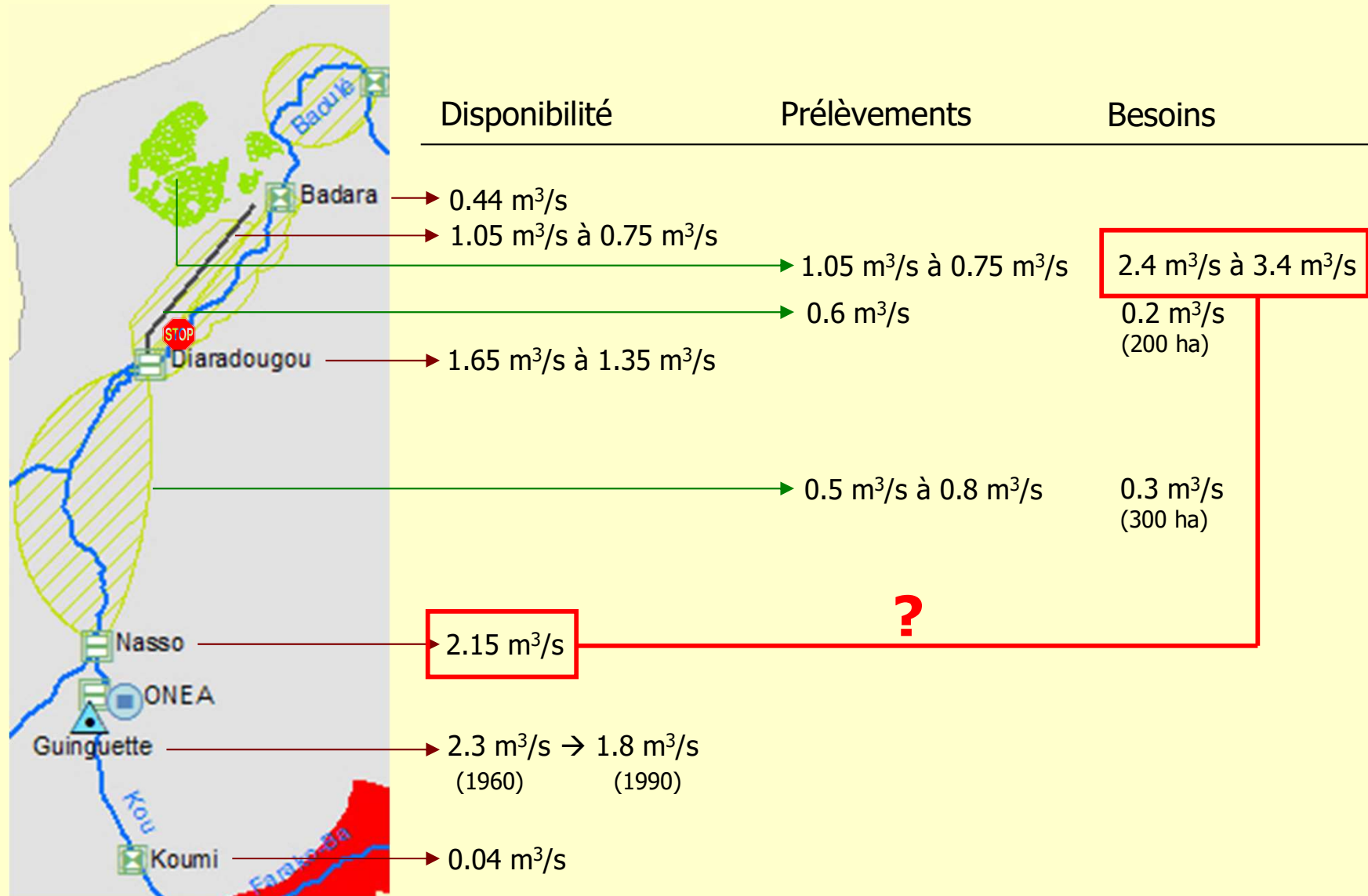
## Répartition des prélèvements en contre-saison

<b>Exploitants</b>	<b>Volume prélevé (m<sup>3</sup>/an)</b>	<b>Réservoir sollicité</b>
Hydraulique villageoise	340.000	Aquifère du Sédimentaire
Industriels	380.000	Aquifère du Sédimentaire
ONEA (forages)	2.600.000	Aquifère du Sédimentaire
ONEA (source)	6.350.000	Rivière Kou
Agriculture irriguée (informels)	6.000.000	Rivière Kou
Agriculture irriguée (informels)	1.900.000	Aquifère alluvial
Agriculture irriguée (périmètre de Bama et pirates)	25.000.000	Rivière Kou

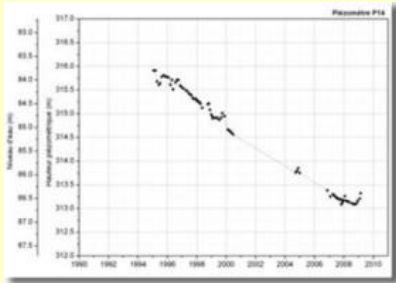
# Les usages de l'eau : jusqu'à l'épuisement de la ressource



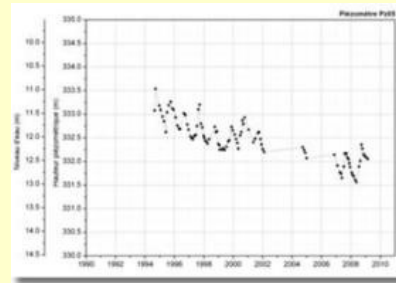
# La non-satisfaction des besoins en eau et la dégradation de la ressource : source de conflits croissants...



# Les constats...



baisses piézométriques



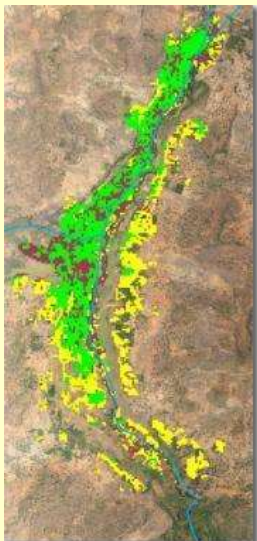
baisses piézométriques



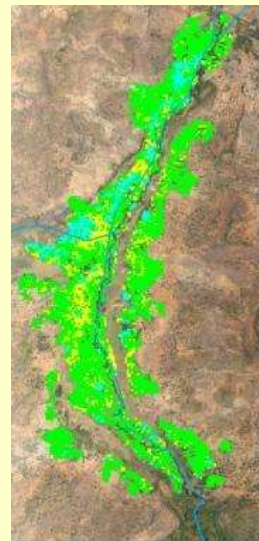
point de pollution



exploitation illégale



Champs  
(vert):  
Mai 1988



Champs  
(vert):  
Mai 2007  
**Saturation!**

- Disponibilité de la ressource:
  - Chutes des niveaux piézométriques;
  - Diminution des débits des sources.
- Qualité de la ressource:
  - Nombreuses menaces de dégradation.
- Activités hydro-agricoles:
  - Intensification anarchique;
  - Absence de toute gestion de l'eau.
- Augmentation des besoins en eau
  - AEP
  - agriculture irriguée



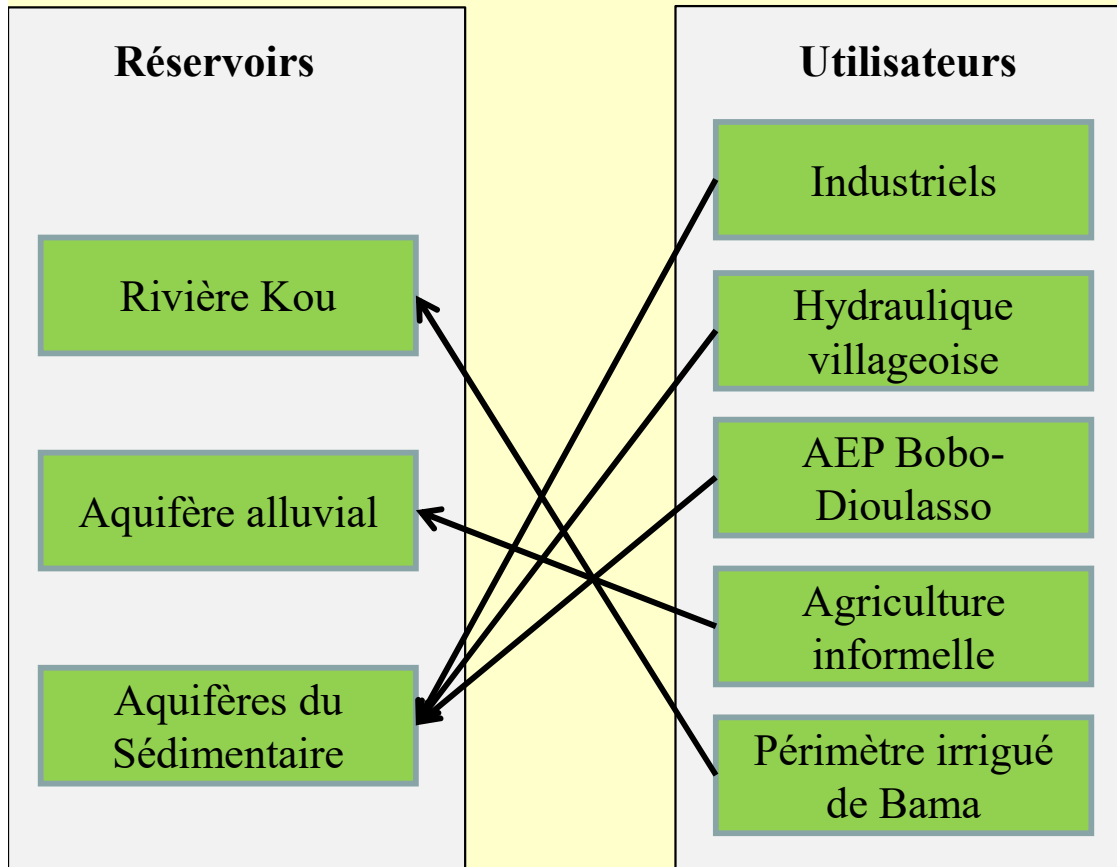
Bases de données



Outils de gestion et de suivi

# ...Une nécessité évidente de Gestion Intégrée de la Ressource en Eau

Qui prend quoi?



Et en quelle quantité?

- Evaluer les ressources en eau disponibles, leur évolution en termes de quantité et de qualité
- Identifier les différents usagers de l'eau dans le bassin, et les différentes fonctions de l'eau
- Diriger au mieux chaque usager vers la ressource qui lui est la plus appropriée
- Préserver la qualité de la ressource

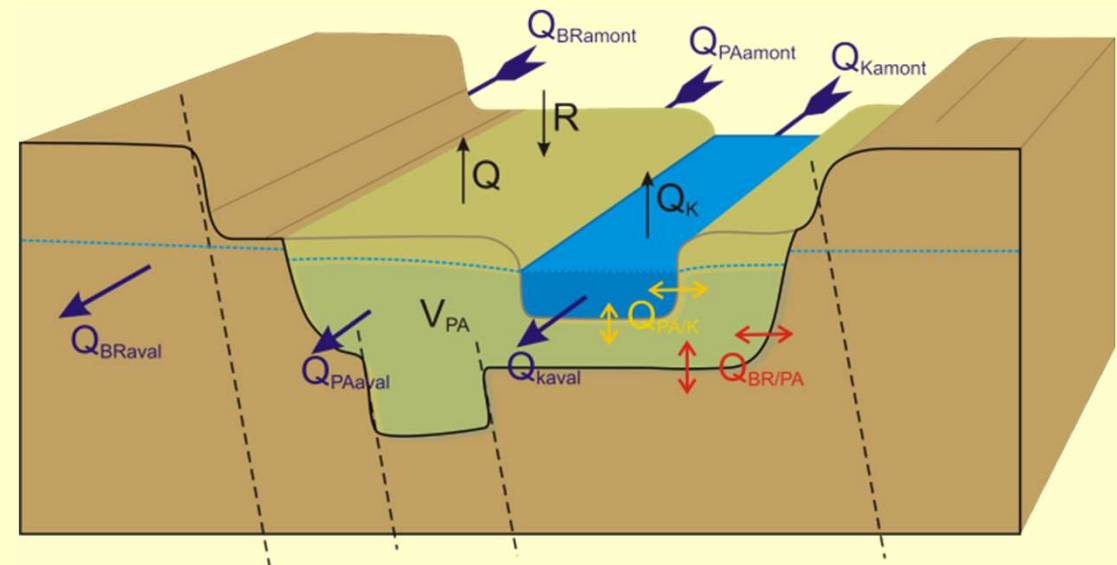
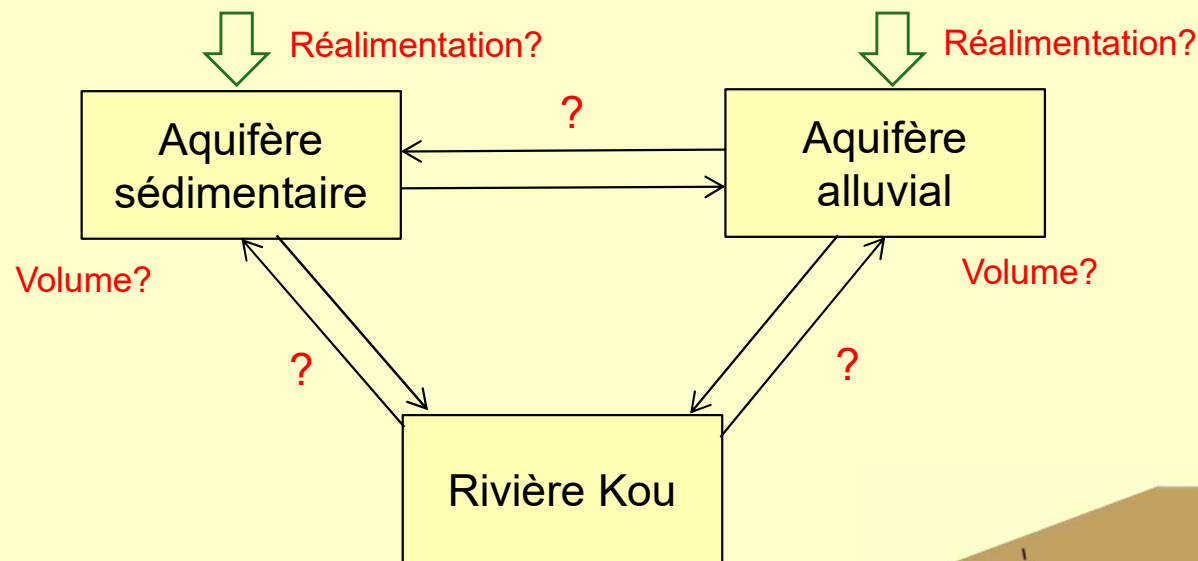
# Actions entreprises pour la mise en œuvre d'une gestion intégrée des ressources en eau dans le bassin du Kou...

1. Amélioration des connaissances sur la ressource en eau
2. Mise en place d'un réseau de suivi de la ressource
3. Développement d'outils d'aide à la décision (ressource – usages)
4. Formation des ressources humaines, création d'un Observatoire de l'Eau et appui à la mise en place du CLE-Kou pour la pérennisation des activités post-projet

... dans le cadre du programme de travail ' Eau ' de WBI-APEFE (Belgique) au Burkina Faso, depuis 2005

# Améliorer les connaissances sur les ressources en eau

- quelles sont les réserves,
- comment sont-elles réalimentées,
- comment se font les écoulements,
- Quelles sont les interactions entre les différents réservoirs?



# 1. Réhabilitation et développement du réseau de suivi des ressources en eau

## Activités de suivi

Sollicitations



Stations météos

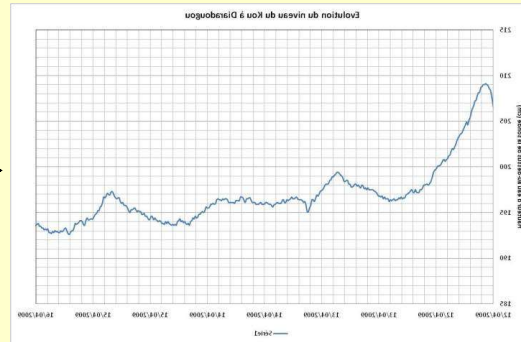
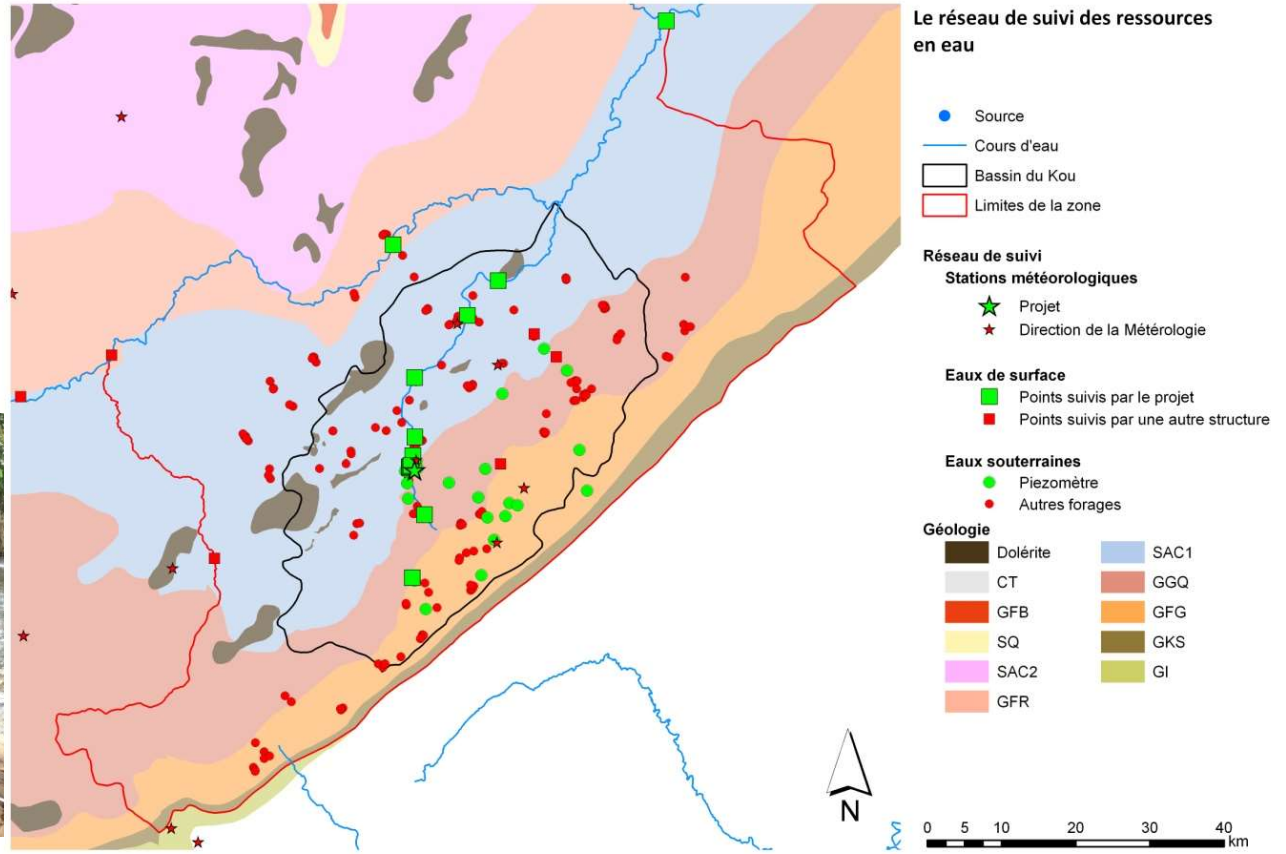
Débits des cours d'eau



Eaux de surface



Qualité des eaux de surface



Eaux souterraines



Qualité des eaux souterraines

Niveau des eaux souterraines





# 1. Réhabilitation et développement du réseau de suivi des ressources en eau

## Activités de suivi

Sollicitations



Stations météos



Eaux de surface



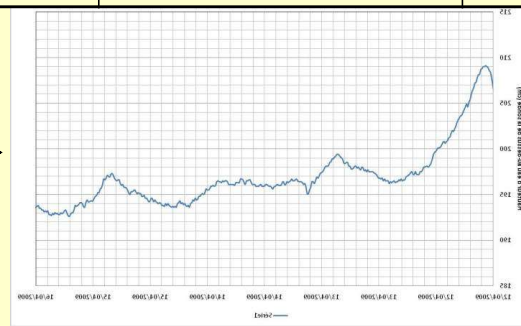
Débits des cours d'eau

Qualité des eaux de surface

Réseau de suivi	Nbre de stations	Fréquence des mesures	Données disponibles
Météorologique	7	Quotidienne	1960 - 2008
Piézométries	29	Irrégulier	1993 - 2000
			2005
			2006 - 2008
Forages	155	Ponctuel	2007
Débit	18	Occasionnellement environ 3 mois	1960 - 2006
			2006 - 2008

structure

40 km



Eaux souterraines



Qualité des eaux souterraines

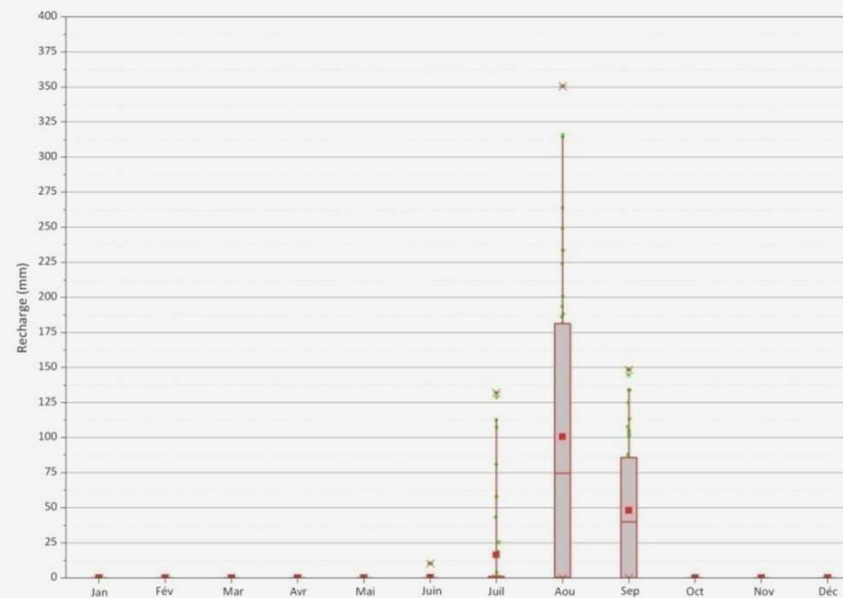
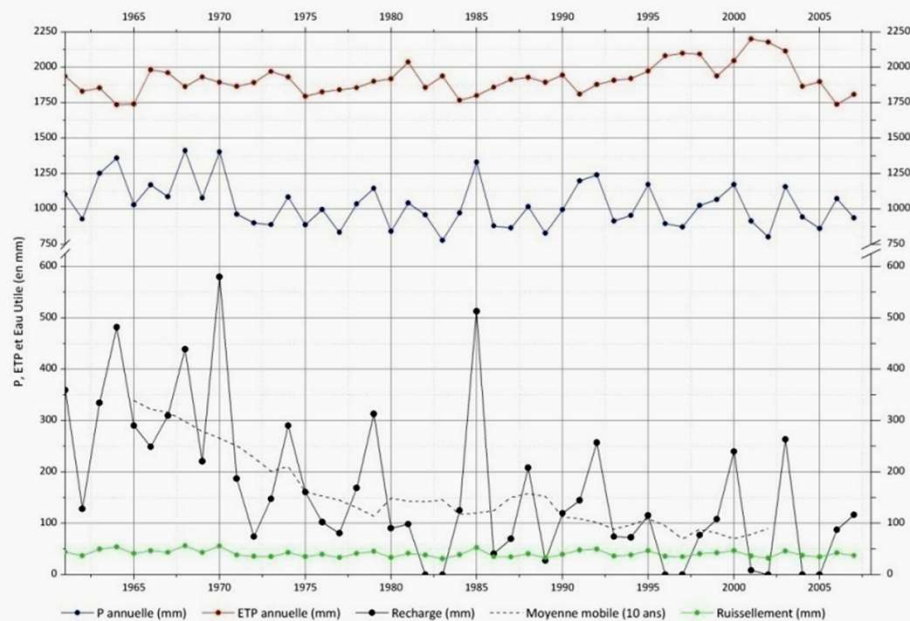


Eaux souterraines

## 2. Evaluation de la réalimentation des aquifères

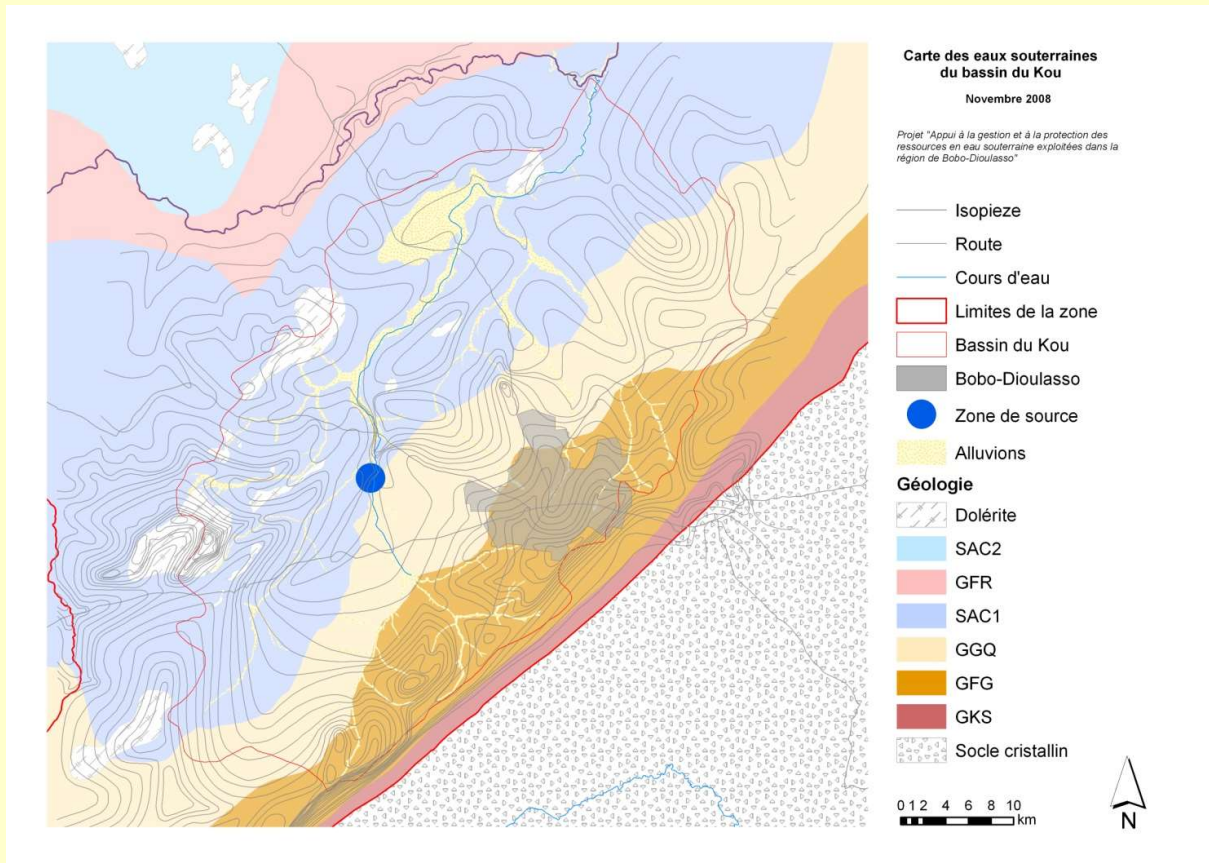
- Objectifs: évaluer dans quelle proportion les stocks d'eau se renouvellent (pour une gestion durable, il s'agit de la fraction « exploitable »)

Période	Eau utile moyenne (mm/an)
1961 – 1970	339,2
1971 – 1980	161,6
1981 – 1990	120,2
1991 – 2000	109,0
2001 – 2007	68,1

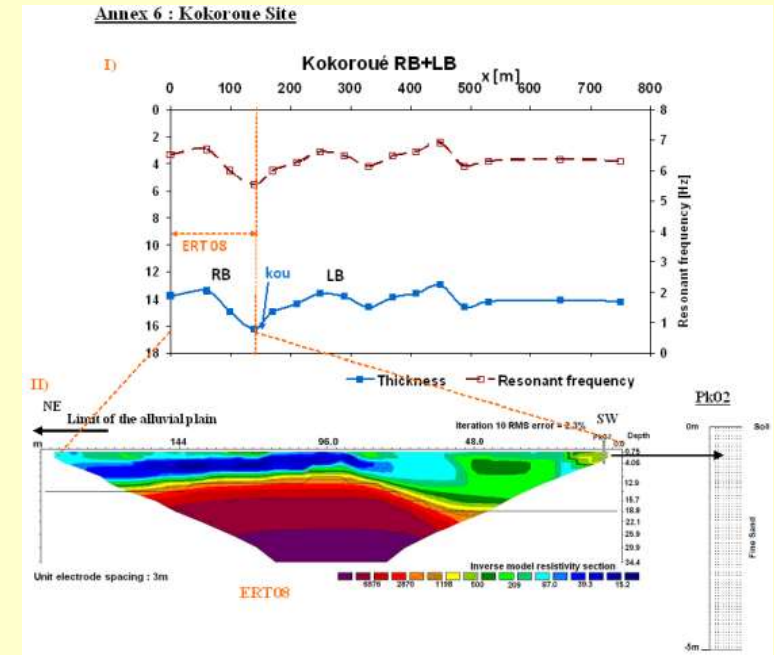


### 3. Investigations de terrain

- Délimitation géométrique des réservoirs

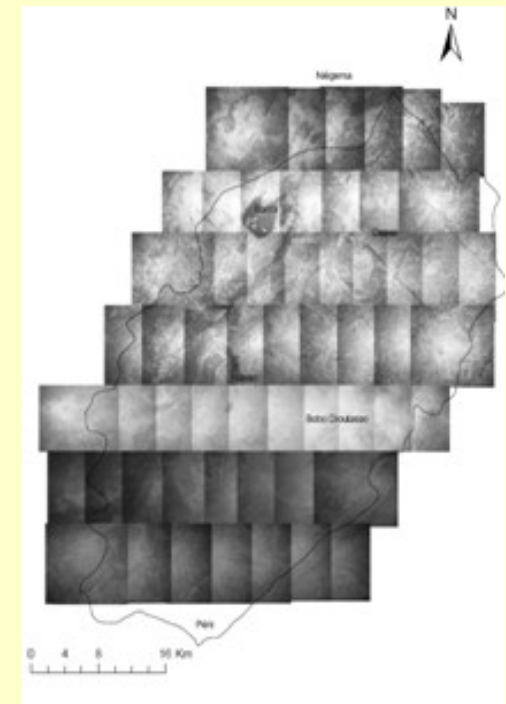


### Etudes géophysiques



**Cartographie géologique et hydrogéologique des formations du Sédimentaire**

**Cartographie de la Plaine alluviale**

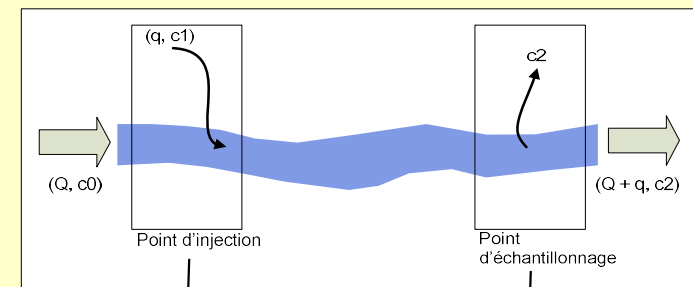
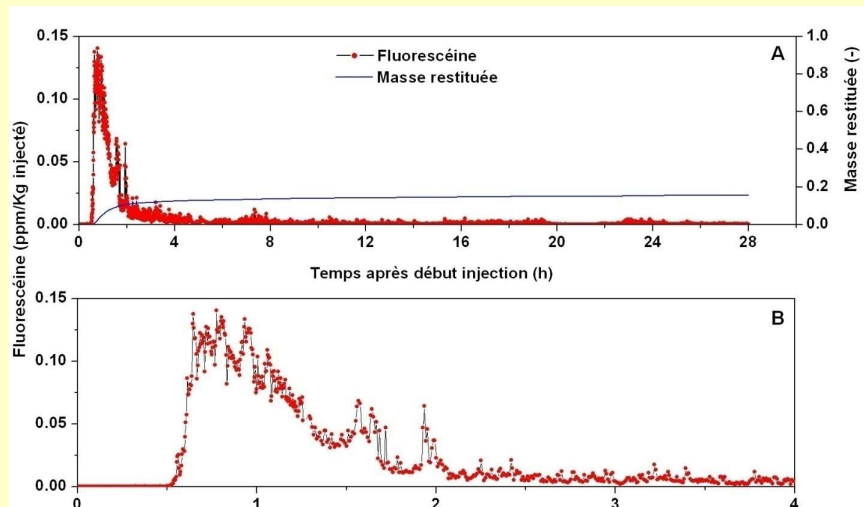


### 3. Investigations de terrain

- Investigations locales (essais de pompage, traçages, jaugeages ...)
- Quantification des paramètres hydrodynamiques des formations aquifères, des flux au sein et entre compartiments (nappe du sédimentaire – nappe alluviale – Kou)



Essais de pompage et de traçage



Jaugeages par dilution

# 4. Outils de gestion de la ressource et d'aide à la décision

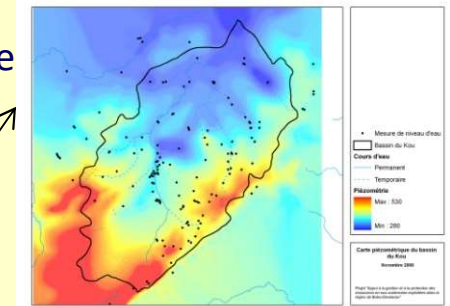
## 4.1 Base de données et SIG

Données antérieures,  
Réseau de suivi  
de la ressource en eau

**Stockage, gestion,  
exploitation des données**

Piézométrie

**Information sur les  
ressources en eau**



Investigations  
complémentaires

**BD-ESOBobo**  
*Une base de données pour la gestion des informations sur les ressources en eau dans la région de Bobo-Dioulasso*

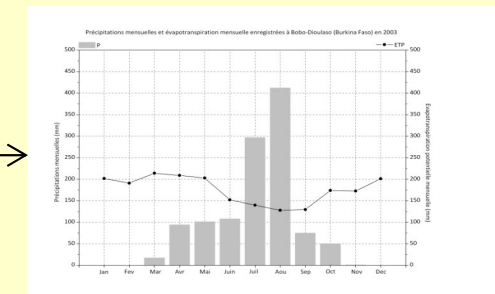
17/03/2010 11:40:40

**MENU PRINCIPAL**

- Module d'encodage de données
- Module de recherche d'informations
- Module cartographique
- Module consulter les rapports

Projet "Appui à la gestion et à la protection des ressources en eaux souterraines exploitées dans la région de Bobo-Dioulasso"

Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques  
Direction Régionale de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques des Hauts Bassins

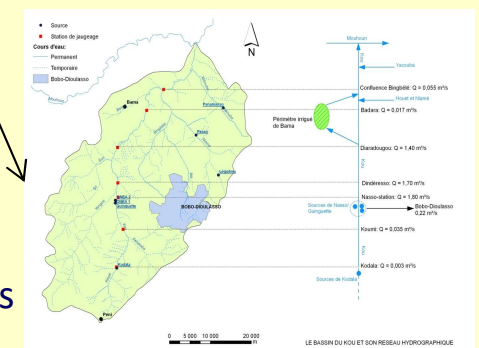


**Facteurs  
climatiques**

Données cartographiques  
(cartes géol, sols ...)

**Base de données spatiale**

Débits



# 4. Outils de gestion de la ressource et d'aide à la décision

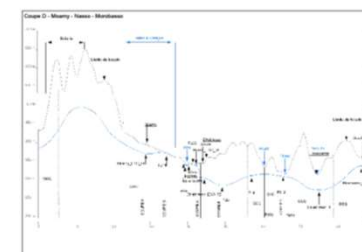
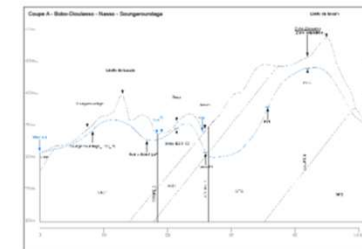
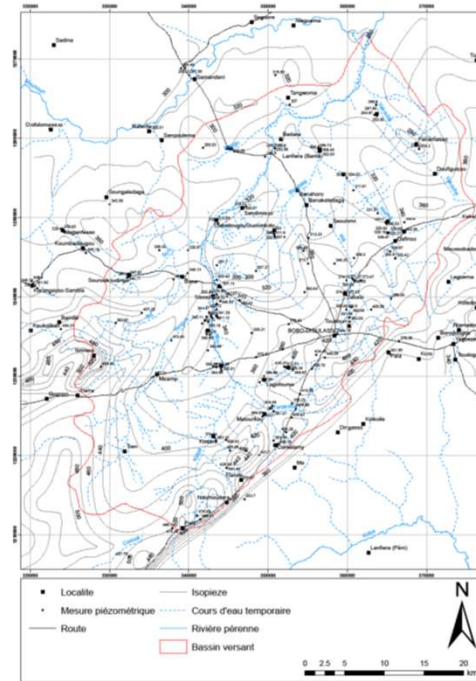
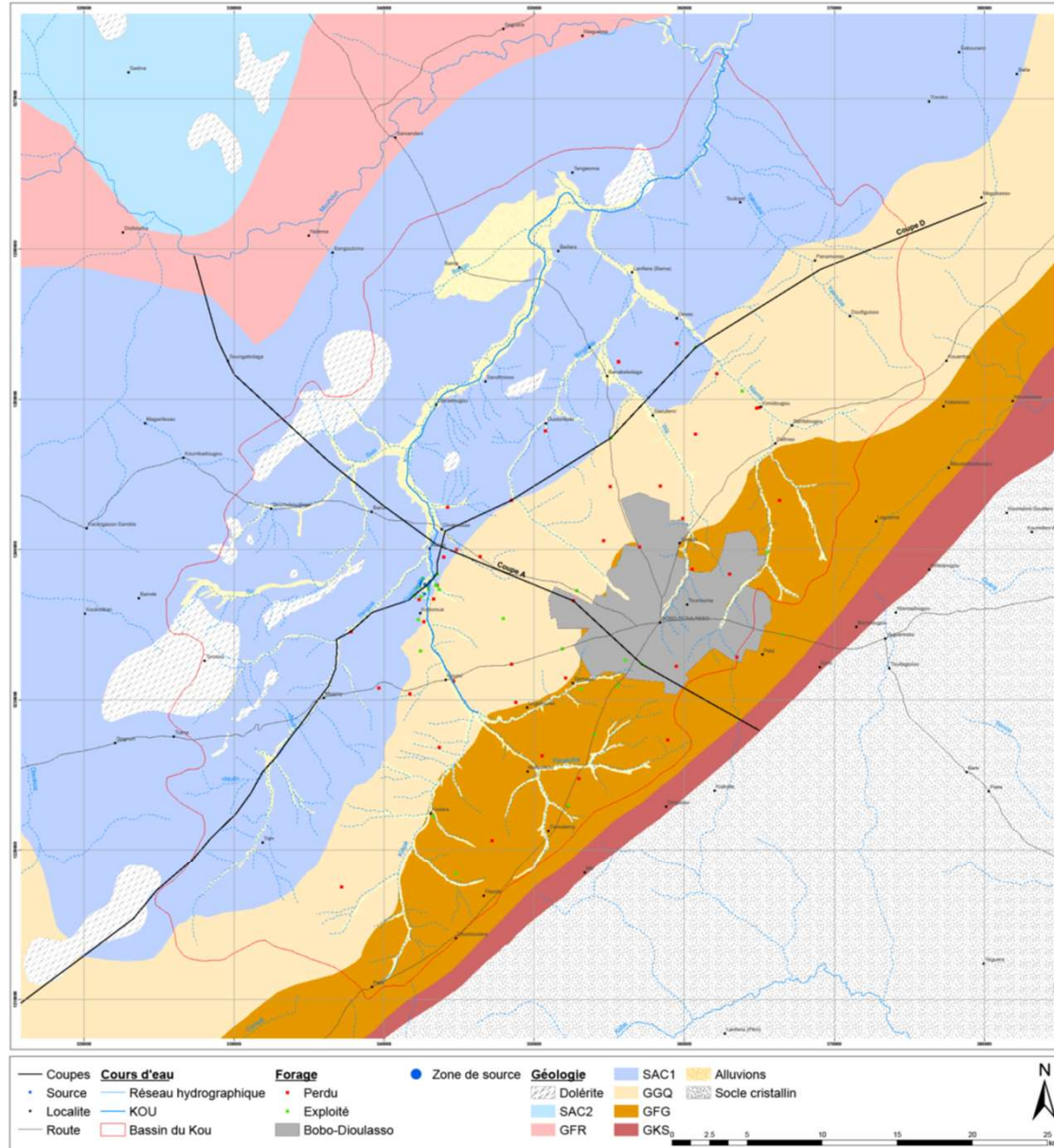
## 4.2 Carte hydrogéologique

Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources  
Halleutiques

Projet "Appui à la gestion et à la protection des ressources en  
eau souterraine exploitée dans la région de Bobo-Dioulasso"

### Carte hydrogéologique du bassin du Kou et de ses environs

Cartographie réalisée par FAEDE  
Edition: Juin 2009  
Mise en page: Nicolas Gardin

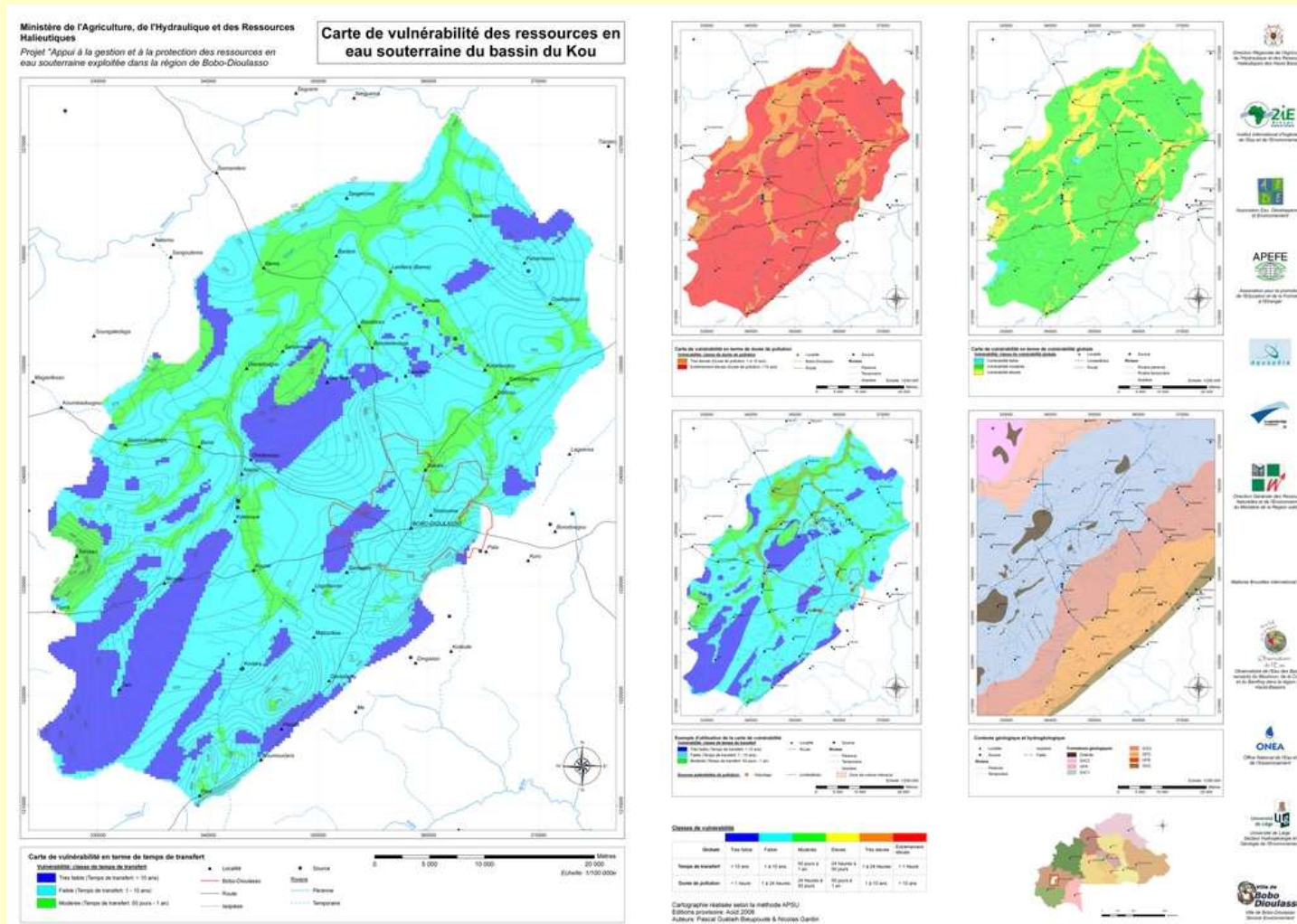


# 4. Outils de gestion de la ressource et d'aide à la décision

## 4.3 Carte de vulnérabilité

### - Présentation de l'outil:

- Outil de vulgarisation des connaissances hydrogéologiques donnant une estimation accessible au plus grand nombre de la sensibilité des aquifères aux pollutions



- 2 critères:
  - Facilité avec laquelle la qualité des eaux de l'aquifère peut-être dégradée (temps de transfert)
  - Difficulté de restaurer la qualité des eaux souterraines après une pollution (durée de pollution)

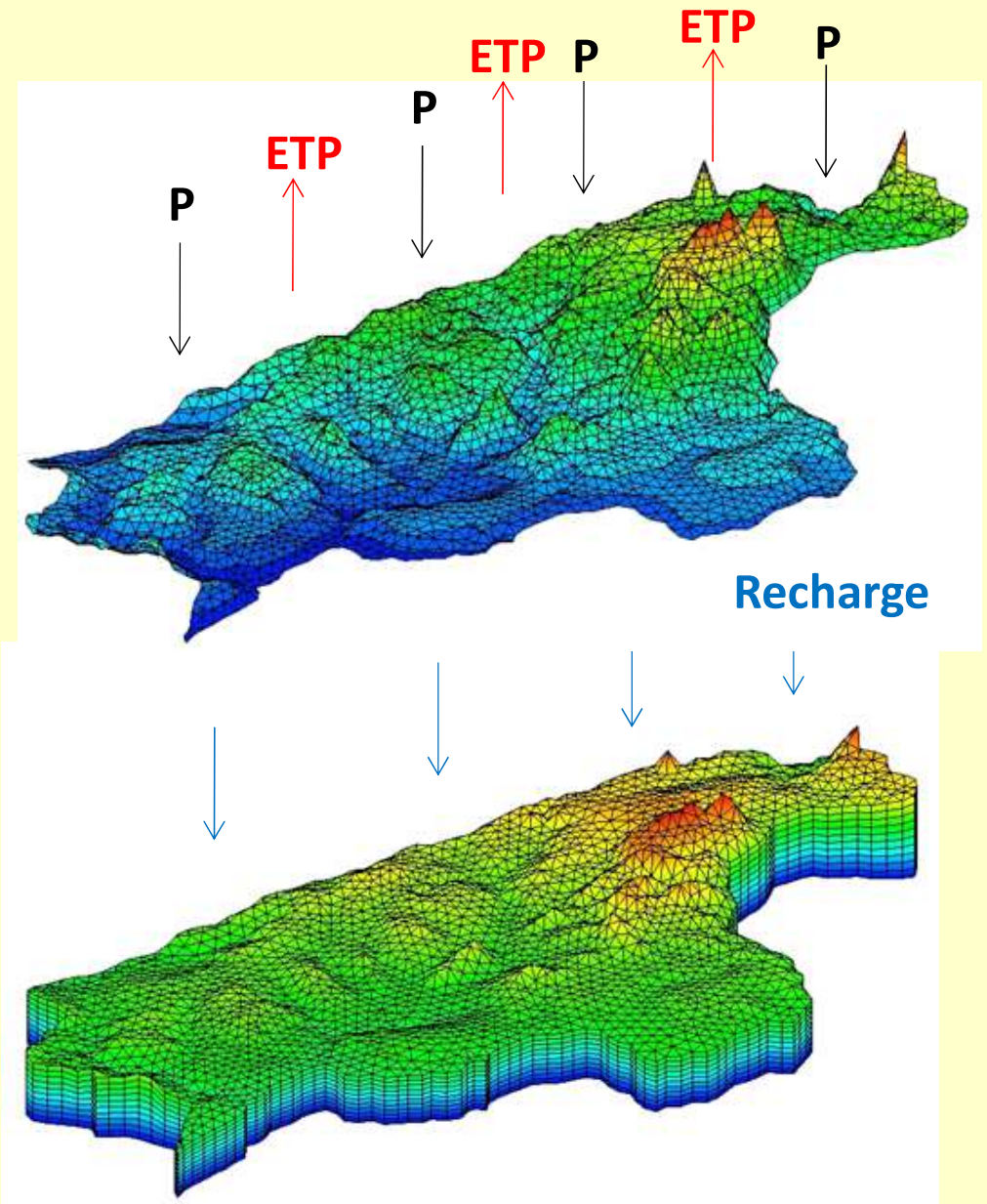
# 4. Outils de gestion de la ressource et d'aide à la décision

## 4.4 Modélisation hydrogéologique

### Développement d'un modèle mathématique des ressources en eau souterraines

- Objectifs: disposer d'un outil qui permette d'estimer l'évolution future des ressources en eau souterraine pour des scénarios d'exploitation donnés

- Codes des calcul: Modflow et HydroGeoSphere







## La gestion de l'eau dans les zones irriguées

- Le climat
- Intensification des usagers
- Gestion de l'eau
  - ✓ Exploitation abusive
  - ✓ Gaspillages
  - ✓ Non respect mutuel  
(entre formels et informels,  
formels et informels entre eux)



## 2 zones agricoles principales

- les informels / les spontanés / les pirates -



- Zone non-aménagée
- Pas de coopérative
- Motopompes & siphons
- Pas de redevance eau
- Pas de calendriers de tours d'eau

## 2 zones agricoles principales

- le périmètre formel -



- 8 coopératives
- Manque d'entretien
- Manque de respect du règlement intérieur
- Mauvaise gestion d'eau (efficacité de distribution de 44%)
- Mévente du riz



- Un environnement encore sain, mais des risques déjà présents



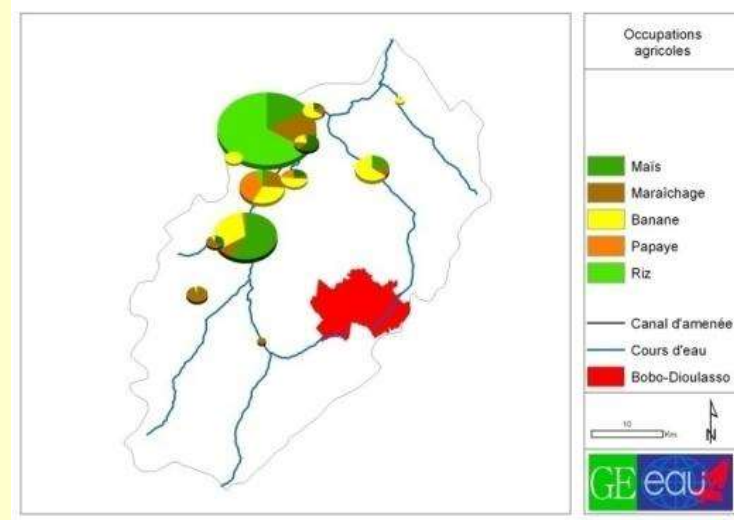
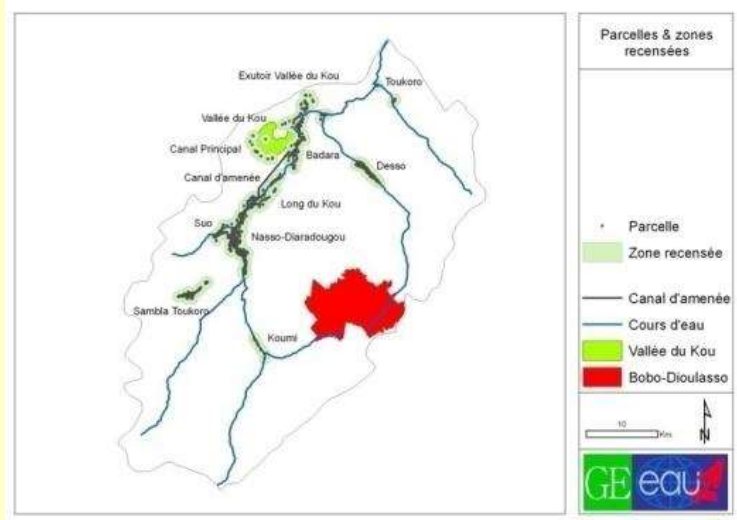
- Intensification de l'agriculture mais quasi absence de contrôle de ce développement



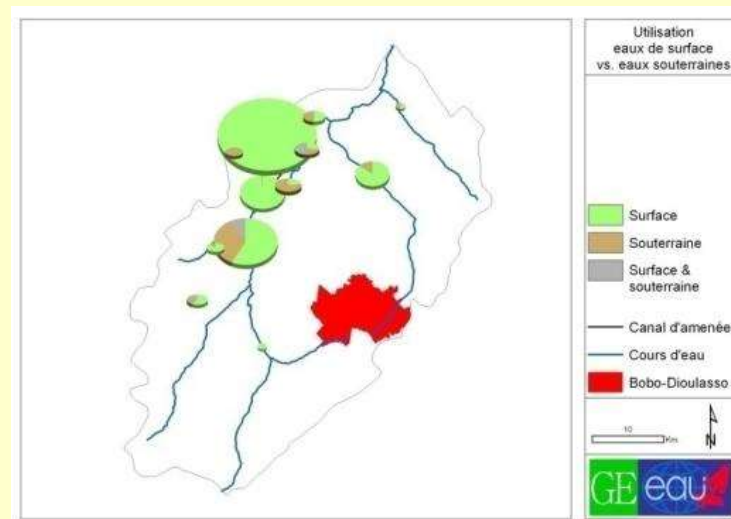
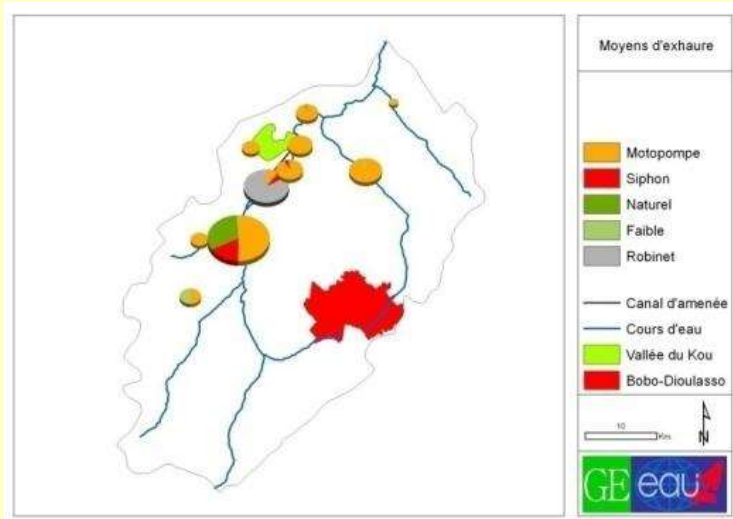
- Surconsommation de l'eau

# 3. Outils de gestion de la ressource et d'aide à la décision

## 3.1 Acquisition de l'information, Base de données et SIG... vers un SIE

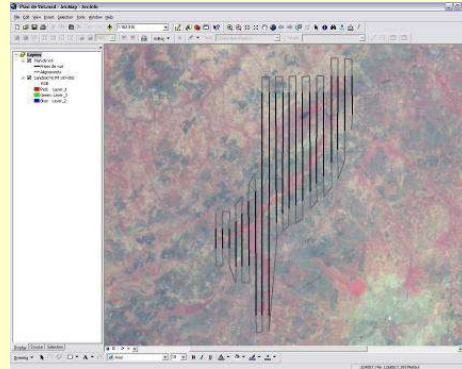


Recensement agricole



# 3. Outils de gestion de la ressource et d 'aide à la décision

## 3.2 Prises de vue aériennes



+ Matériel:  
petit avion de sport, appareil photo numérique, GPS

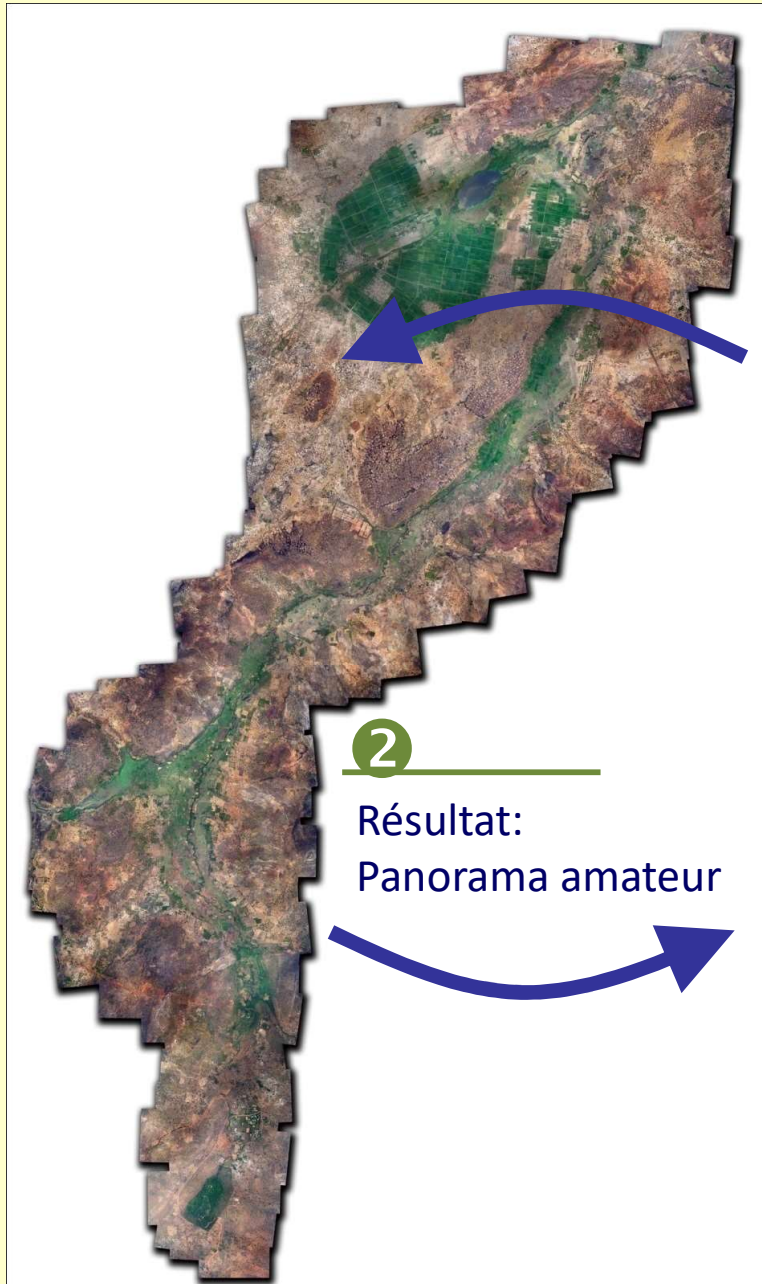
+ Méthode: Plan de vol:

- ~ vitesse
- ~ hauteur
- ~ objectif
- ~ chevauchements
- ~ délais

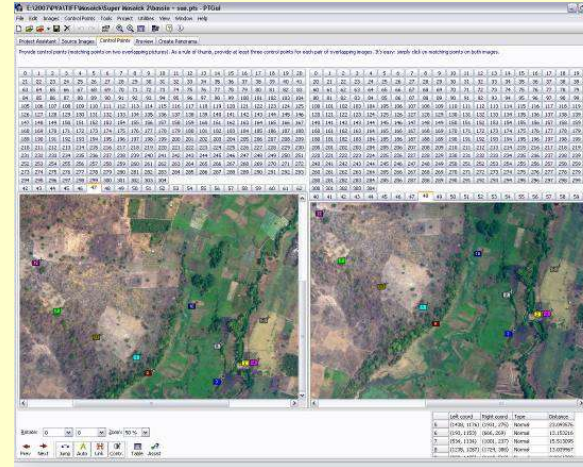
+ Résultat:  
2 x 2 heures de vol,  
plus de 300 photos,  
173 km<sup>2</sup> survolés.

# 3. Outils de gestion de la ressource et d'aide à la décision

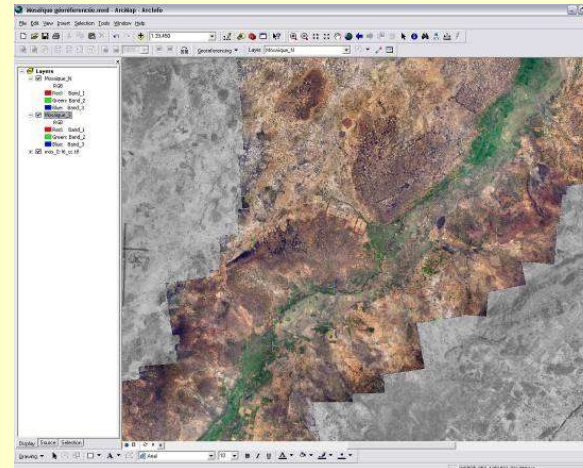
## 3.2 Prises de vue aériennes (suite)



**2**  
Résultat:  
Panorama amateur



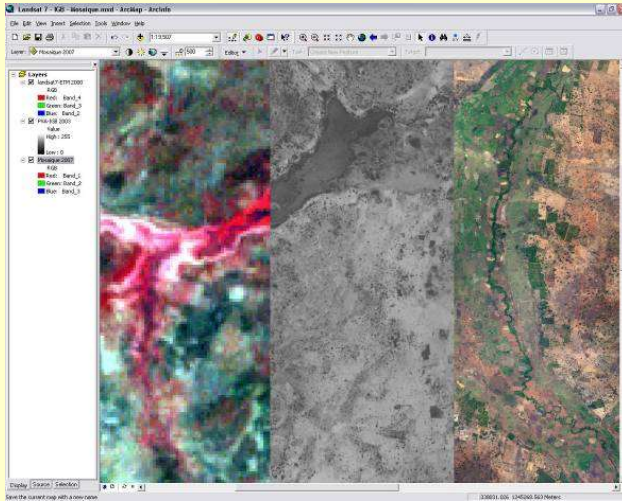
**1**  
305 photos;  
couleurs harmonisées;  
1 image non orthorectifiée



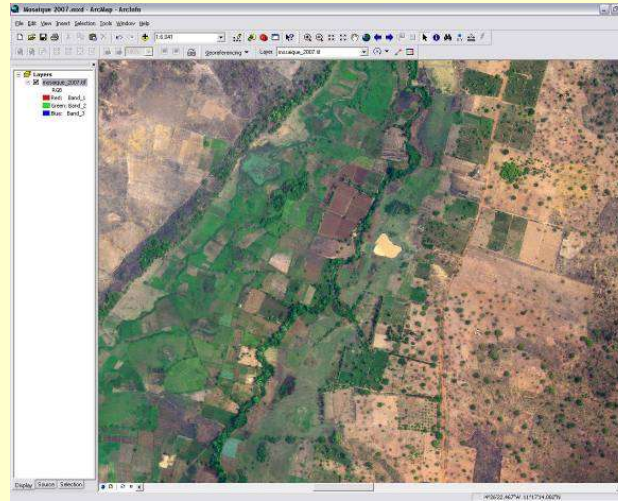
**3**  
ArcGIS:  
mosaïque IGB;  
Georeferencing Tool;  
1 image orthorectifiée

# 3. Outils de gestion de la ressource et d'aide à la décision

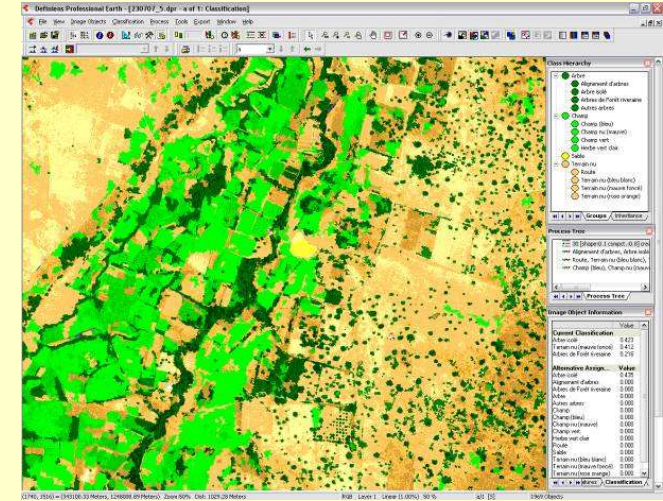
## 3.2 Prises de vue aériennes (suite)



**1** Comparaison images Landsat 7-ETM ayant une résolution de 30m., prise de vue aérienne géoréférencée de l'IGB (rés. 5m.) et détail de la mosaïque géoréférencée (rés. 0,8m.).



**2** Détail de la mosaïque: village de Diaradougou, cours d'eau du Kou (centre) et parcelles irriguées informelles au bord du fleuve.



**3** Classification de la région de photo 2 à l'aide de eCognition:  
–Terrain nu et terrain boisé;  
–Arbres isolés et forêts galeries;  
–Champs et prairies;  
–Sable, ...





## 3.v Outils de suivi et de contrôle

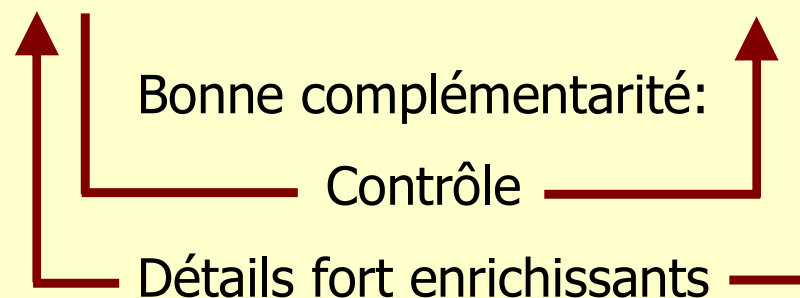
### Prises de vue aérienne vs. Recensement

#### PVA:

- + Rapide (1 semaine);
- + Sûr et exacte;
- + Prix: 500 €;
- Base de données non détaillée;
- Technologie poussée.

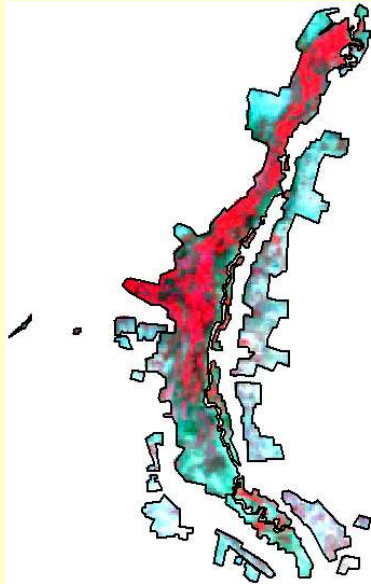
#### Recensement:

- Plusieurs mois;
- Dépendant enquêteurs & enquêtés;
- Prix: 1500 €;
- + Base de données très détaillée;
- + Formation de base.



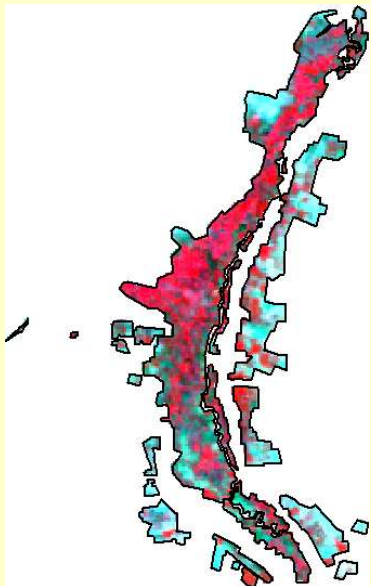
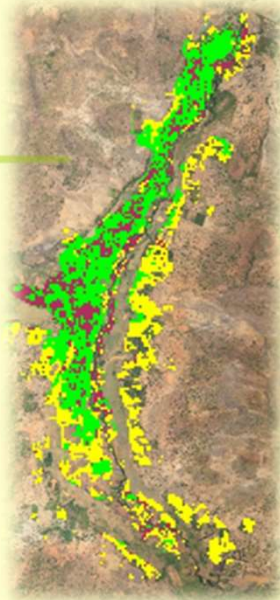
# 3. Outils de gestion de la ressource et d'aide à la décision

## 3.3 Télédétection 'classique' (images satellite)



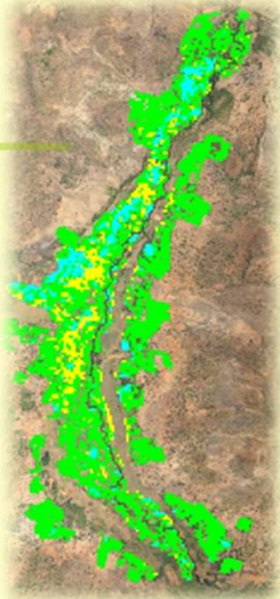
Classification

LandSat:  
Mai 1988



Classification

LandSat:  
Mai 2007



Suivi global de l'extension  
des zones irriguées

- Images LandSat (gratuites);
- Classification par NDVI;
- Suivi rapide
- Suivi fiable.



Intensification !

# 3. Outils de gestion de la ressource et d'aide à la décision

## 3.4 Budget / AquaCrop : bilan d'eau au niveau de la parcelle

Application aux zones irriguées en dehors du périmètre irrigué formel



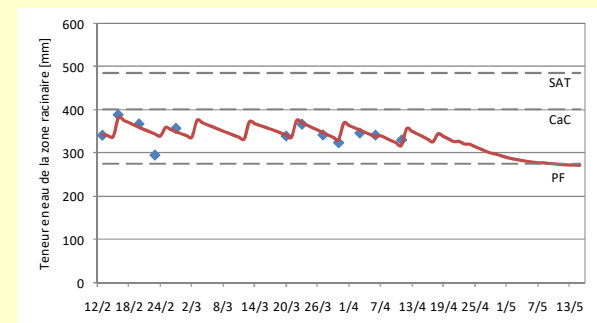
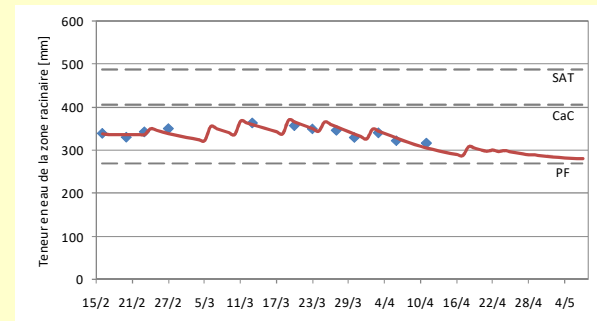
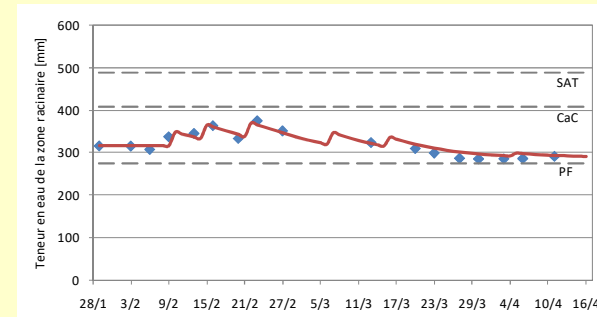
Calage & Vérification

Collecte des données:

- ✓ Humidité du sol
- ✓ Caractéristiques du sol
- ✓ Calendriers d'irrigation
- ✓ Rendement

Simulation BUDGET /AquaCrop:

- ✓ Besoins en eau
- ✓ Teneurs en eau
- ✓ Estimation rendements
- ✓ Efficience en irrigation



# 3. Outils de gestion de la ressource et d'aide à la décision

## 3.4 Budget / Aquacrop : fiches d'irrigation

**Fiche d'aide à l'irrigation**  
**MAIS**  
Argilo-Limoneux (Lixisols)  
Dose d'irrigation : 30 mm

**Calendriers d'irrigation en jours**

Mois		mars			avril			mai			juin		
Décade (10 jours)		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Condition climatique	sèche			4		2			4				
	normale			4		2			4				
	humide			4		2			4				
Période de croissance		initiale			développement			mi saison			saison tardive		
Sensibilité à la sécheresse		moyen			peu sensible			très sensible			peu sensible		

**Détermination du type de temps**

Type de temps :   
■ humide  
■ normale  
■ sèche

**Fiche d'aide à l'irrigation**  
**MAIS**  
Argilo-Limoneux (Lixisols)  
Dose d'irrigation : 30 mm

**Calendriers d'irrigation en jours**

Mois		mars			avril			mai			juin		
Décade (10 jours)		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Condition climatique	sèche			4		2			4				
	normale			4		2			4				
	humide			4		2			4				
Période de croissance		initiale			développement			mi saison			saison tardive		
Sensibilité à la sécheresse		moyen			peu sensible			très sensible			peu sensible		

**Détermination du type de temps**

Type de temps :   
■ humide  
■ normale  
■ sèche

Pour les cultures principales & les types de sols (3 sols majeurs):

- ✓ Dose d'irrigation;
- ✓ Intervalle d'irrigation; (conditions climatiques)
- ✓ Conditions climatiques. (humide, normale, sèche ~ pluviométrie & ETo)

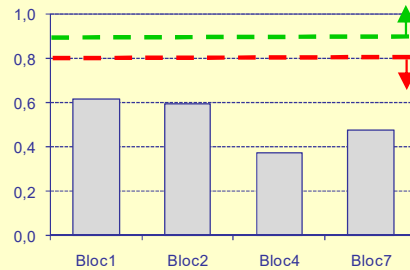
# 3. Outils de gestion de la ressource et d'aide à la décision

## 3.5 SIMIS : application au périmètre formel

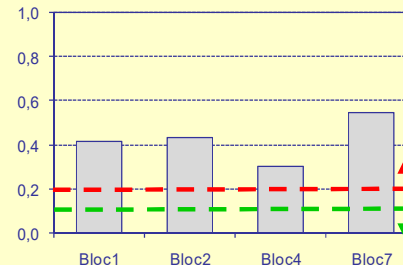
Vallée du Kou  
 Débit:  
 1,1 m<sup>3</sup>/s  
 Besoins:  
 2,4 m<sup>3</sup>/s



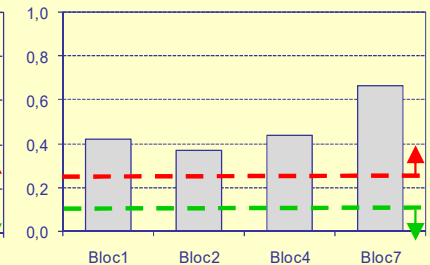
### Efficiences en gestion hydro-agricole:



**Adéquation:** moyenne spatiale et temporelle entre le volume d'eau livré et le volume requis.



**Fiabilité:** indicateur d'efficacité de l'arrivée des volumes d'eau aux bons moments.



**Équité:** indicateur d'efficacité de la distribution spatiale des apports en eau.

### Occupations vs Type de sol:



Parcelles avec vocation rizicole (sols argileux) en jachères par faute de manque d'eau.



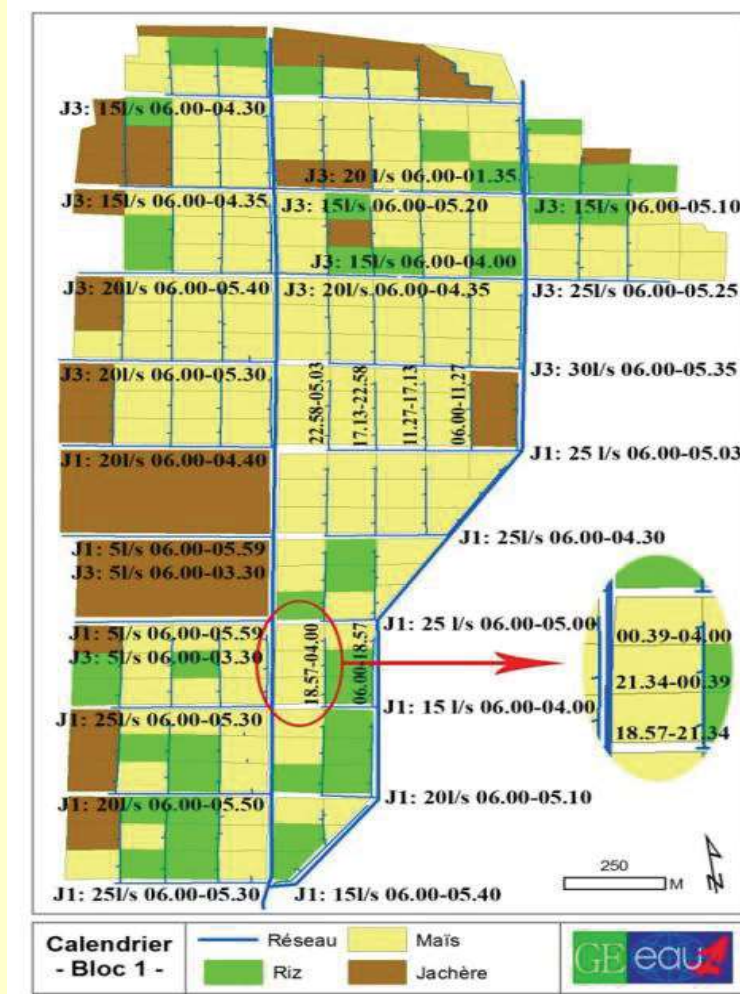
Parcelles/Blocs avec des sols sableux et fortes occupations rizicoles.



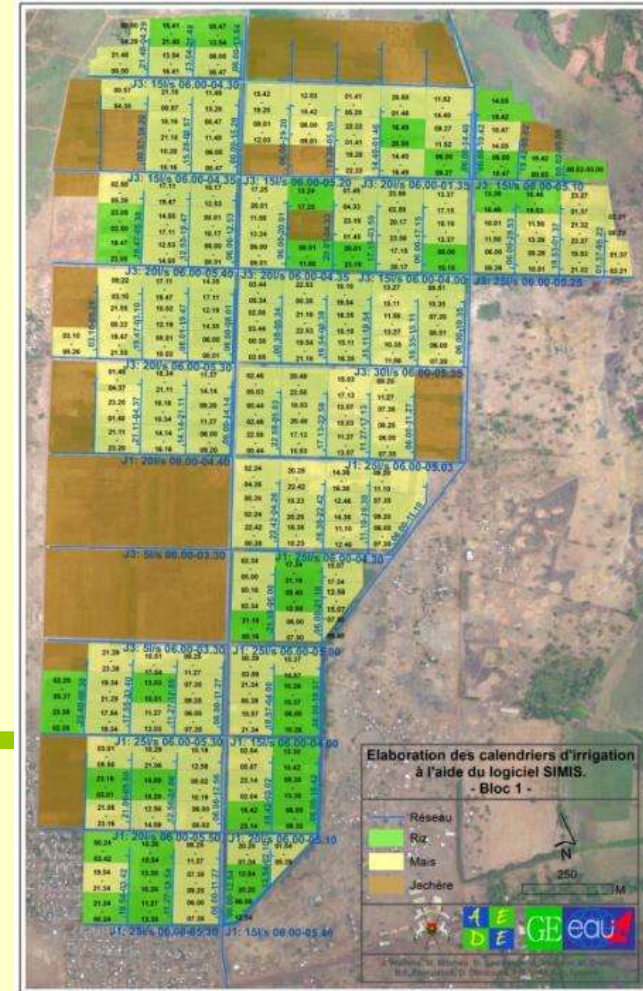
Sources Guinguette (débit)  
 2,3 m<sup>3</sup>/s → 1,8 m<sup>3</sup>/s  
 (1960) (2000)

# 3. Outils de gestion de la ressource et d'aide à la décision

## 3.5 SIMIS (Scheme Irrigation Management Information System - FAO) calendriers d'irrigation

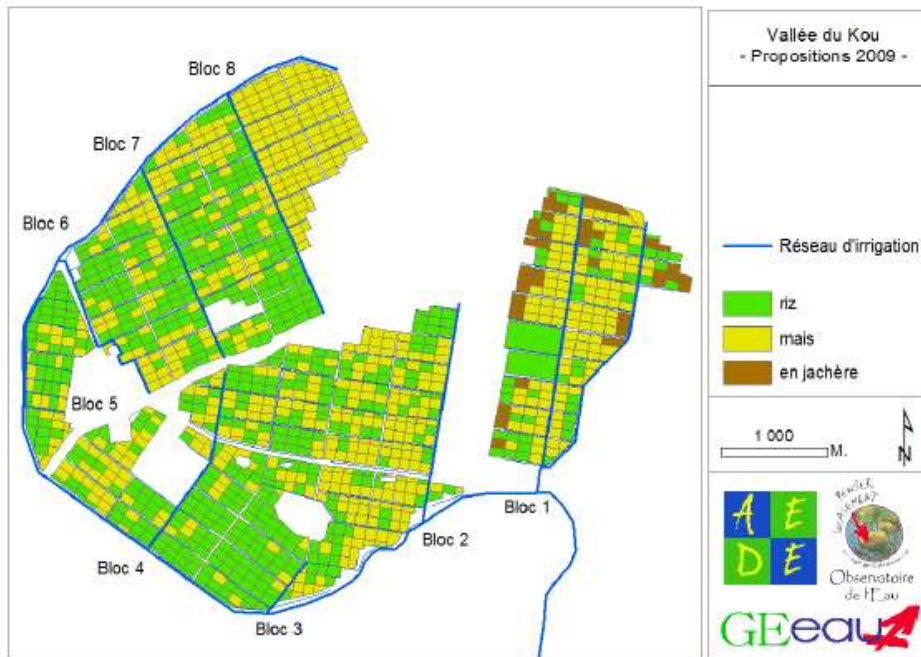


Spatialisation  
détaillée des  
calendriers sur  
les canaux et  
parcelles  
(programmation  
& Photoshop)

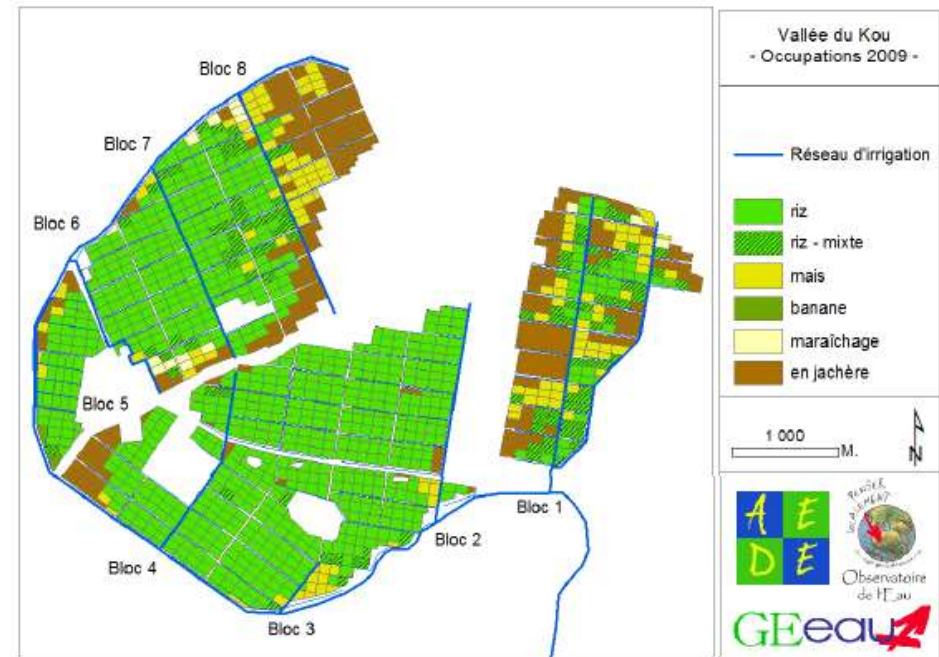


# Evaluation de la contre saison 2009

## Etude des occupations :

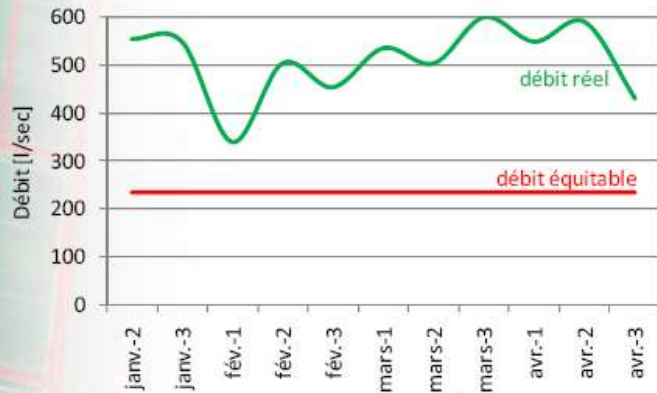


- Occupation proposée -



- Occupation réelle -

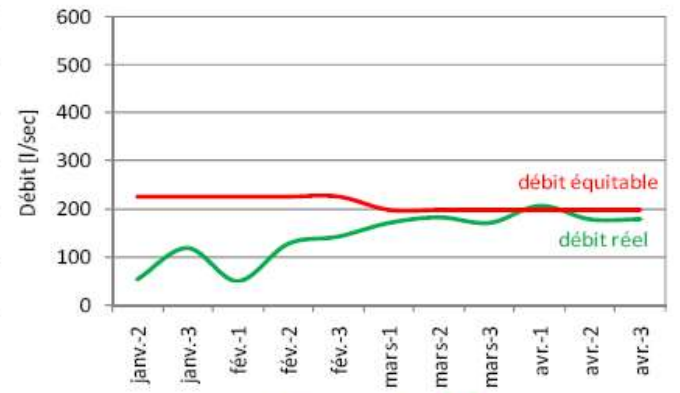
# Etude des débits :



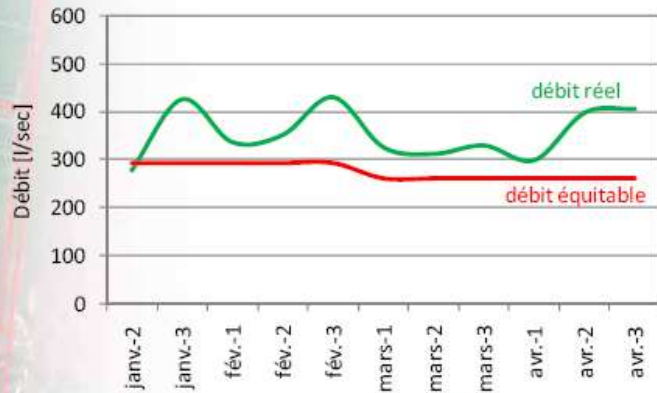
Bloc 1 : ●



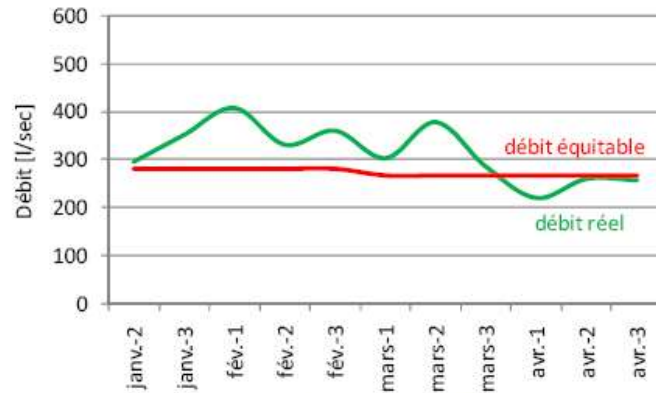
Bloc 2 : ●



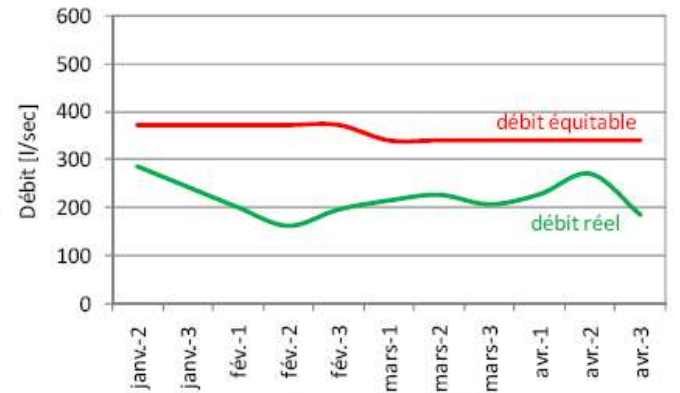
Bloc 3 : ●



Bloc 4 : ●



Bloc 6 : ●

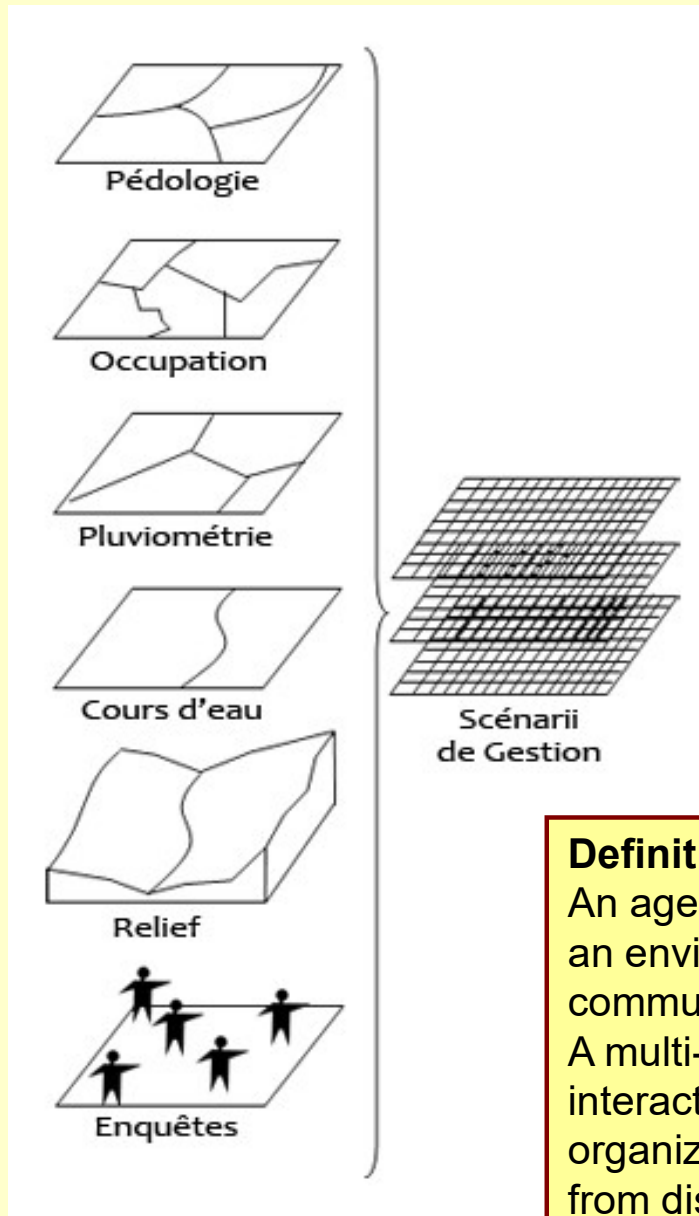
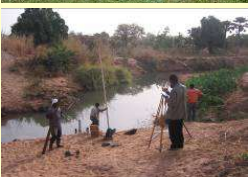


Bloc 7 : ?!



# 3. Outils de gestion de la ressource et d'aide à la décision

## 3.6 Systèmes Multi-Agents



Gestion de bassin : optimisation d'utilisation et de mobilisation de l'eau

- Elaborer une gestion en eau régionale pour l'agriculture.
- Etudier les impacts des changements de cultures et des pratiques agricoles sur l'eau disponible.

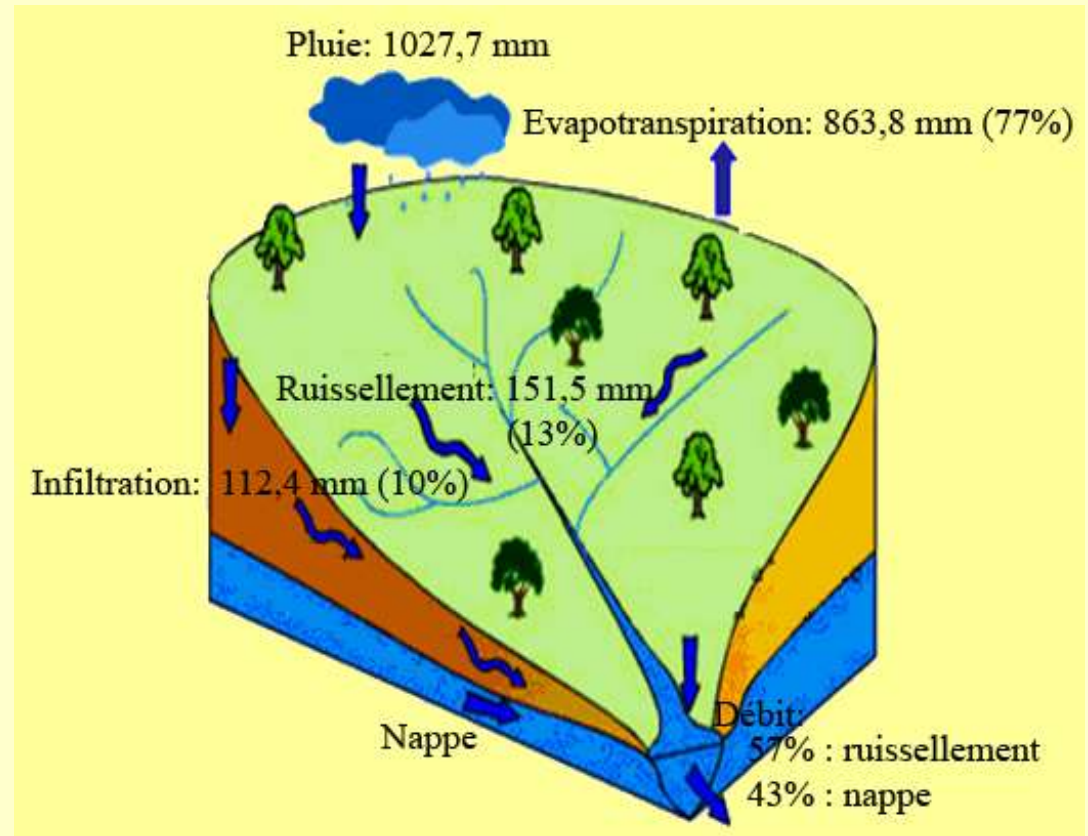
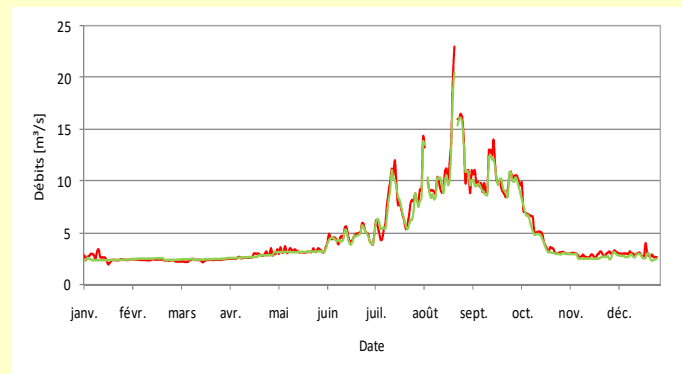
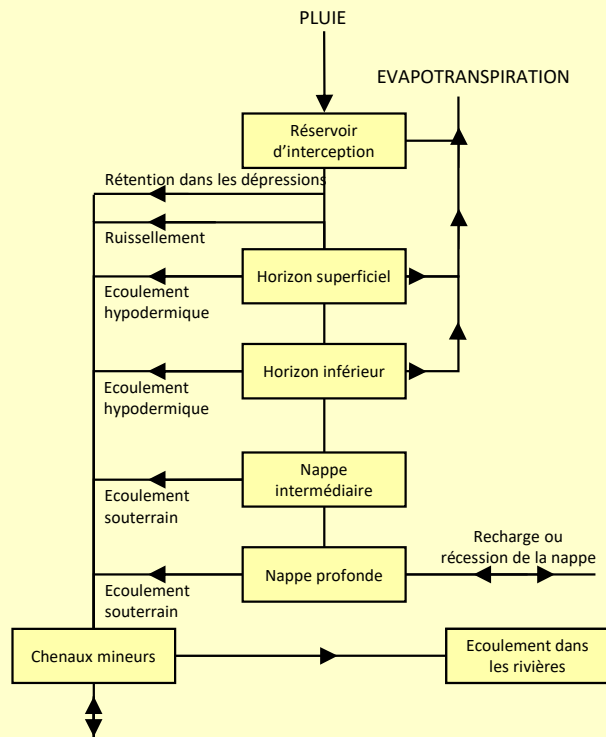
### Definition of Multi-Agents Systems

An agent is a physical or virtual entity that is capable to act on an environment that he discerns (in a limited range or not), to communicate.

A multi-agents system represent a set of agents that acts (and interact) in a common environment, according to a certain organization. Multi-Agents Systems (MAS) are a concept issued from distributed artificial intelligence. They are adapted to dynamic and complex systems modeling.

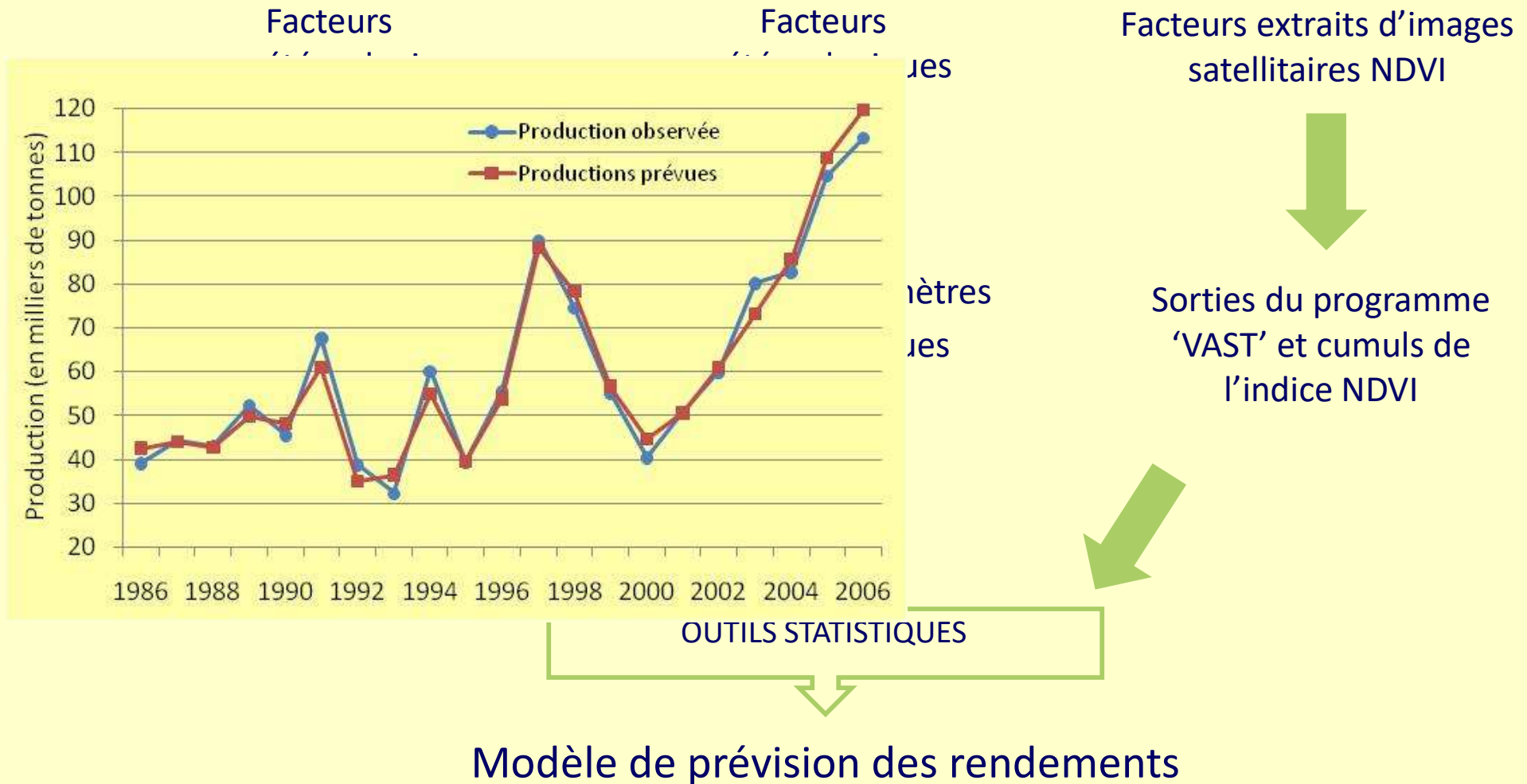
# 3. Outils de gestion de la ressource et d 'aide à la décision

## 3.7 HYSIM : Bilans d 'eau du bassin



# 3. Outils de gestion de la ressource et d'aide à la décision

## 3.8 Modèle de prévision de rendements



## 4. Partenariat pour une solution durable

- Stratégie: Formation de ressources humaines -

Coopération Belge - Région Wallonne:

APEFE, DRI/CGRI, MRW-Division de l'Eau,  
ULg;

Partenaires burkinabés

DRAHRH-HB, AEDE.

- Formation de deux doctorants burkinabés
- Encadrement d'étudiants stagiaires
- Formations ponctuelles pour répondre aux besoins des acteurs de l'eau
- Information auprès des agriculteurs via conseiller en irrigation



## 4. Mise en place d'un cadre de concertation : Le Comité Local de l'Eau du Kou (CLE-Kou)



✓ Rechercher l'adhésion des partenaires par la sensibilisation, l'information et la formation;



✓ Concertation entre les usagers concernés;

✓ Schéma d'Aménagement et Gestion des ressources en Eau (SAGE).



## 4. Création d'un organe permanent de capitalisation : L'Observatoire de l'Eau (OE)

Situation conflictuelle dans l'utilisation de l'eau  
(agricole, urbaine, industrielle, écosystèmes)



Dynamique de concertation entre  
utilisateurs de l'eau du Kou entrepris par les autorités politiques et administratives



Comité Local de l'Eau du Kou (CLE-K)

AEDE  
GEEAU  
Eaux souterraines  
...

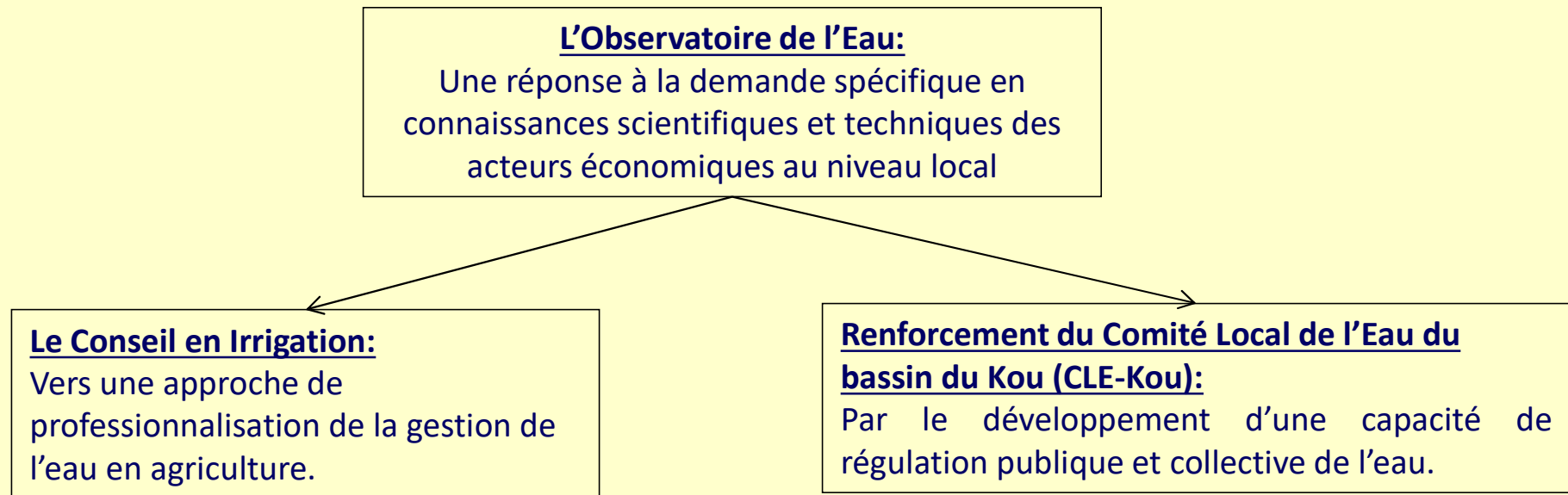
Observatoire  
de l'Eau

Appui scientifique & technique

- Enrichir les connaissances sur les ressources en eau;
- Enrichir les compétences dans le domaine de l'eau
- Base de Données de l'Eau, Système de suivi & Outils de gestion.

## 4. Création d'un organe permanent de capitalisation : L'Observatoire de l'Eau (OE)

- ✓ Accompagner les initiatives et actions de la société civile professionnelle dans le domaine de l'eau pour la mise en place de nouvelles formules de gestion concertée des ressources en eau.
- ✓ Dépasser l'approche projet afin d'impulser une réelle « dynamique de capacitation structurelle »



# Conclusions

- Approche intégrée complète
  - Ressource et usage de l'eau
  - Approche participative
  - Approche projet avec obligation d'appropriation
  - Diversité des partenaires (public, privé, collectivité, belge et burkinabé)
- Investissement important de la Région Wallonne
- Exemple de réussite et de résultats concrets améliorant la gestion de l'eau dans le bassin du Kou
- Extension de l'approche proposée à partir de 2011 sur deux autres bassins burkinabés



**Merci pour votre attention !**

[Bernard.Tychon@ulg.ac.be](mailto:Bernard.Tychon@ulg.ac.be)

[Serge.Brouyere@ulg.ac.be](mailto:Serge.Brouyere@ulg.ac.be)

[www.ge-eau.org](http://www.ge-eau.org)

[www.observatoire-eau.org](http://www.observatoire-eau.org)