

TÉLÉDÉTECTION HAUTE RÉSOLUTION ET HYDROGÉOLOGIE EN PAYS DOGON

Conférences d'Aline Hubert

à Toulouse les 13 et 14 janvier 2015

(suite à son Master-2 à l'université de Ouagadougou en 2014)

SOMMAIRE

- I. Problématique et objectifs
- II. Contexte de la zone d'étude
- III. Matériels et méthodes
- IV. Résultats et discussions
- V. Conclusions et perspectives

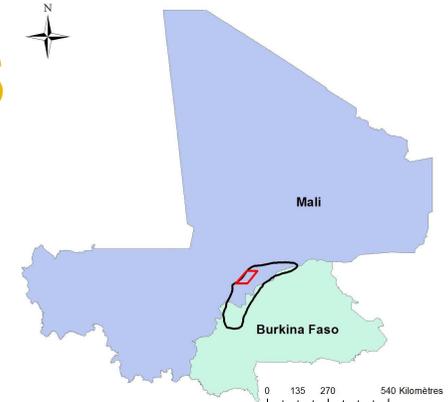
■ ■ ■ ■ PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS

I. PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS

Population : 61 hab/km²

Accès à l'eau : 1 ouvr/4,2km²

Couverture des besoins en eau : 46%



- **L'ONG Via Sahel >> construction de 175 puits modernes depuis 1997**
- **Roche dure (calcaire)** qui entrave la construction de certains puits



6% de puits à roche ≡ 20% du budget de creusement des puits

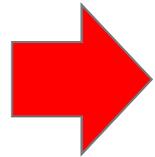


Source : Via Sahel



Source : Via Sahel

I. PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS



Naissance de Via Sahel Hydrogéologie :

- Qui? hydrogéologues, géologues, spécialistes du traitement d'images satellitaires, membres de Via Sahel
- Pourquoi? Pour mieux comprendre la nature et le fonctionnement du système aquifère



Objectifs du stage

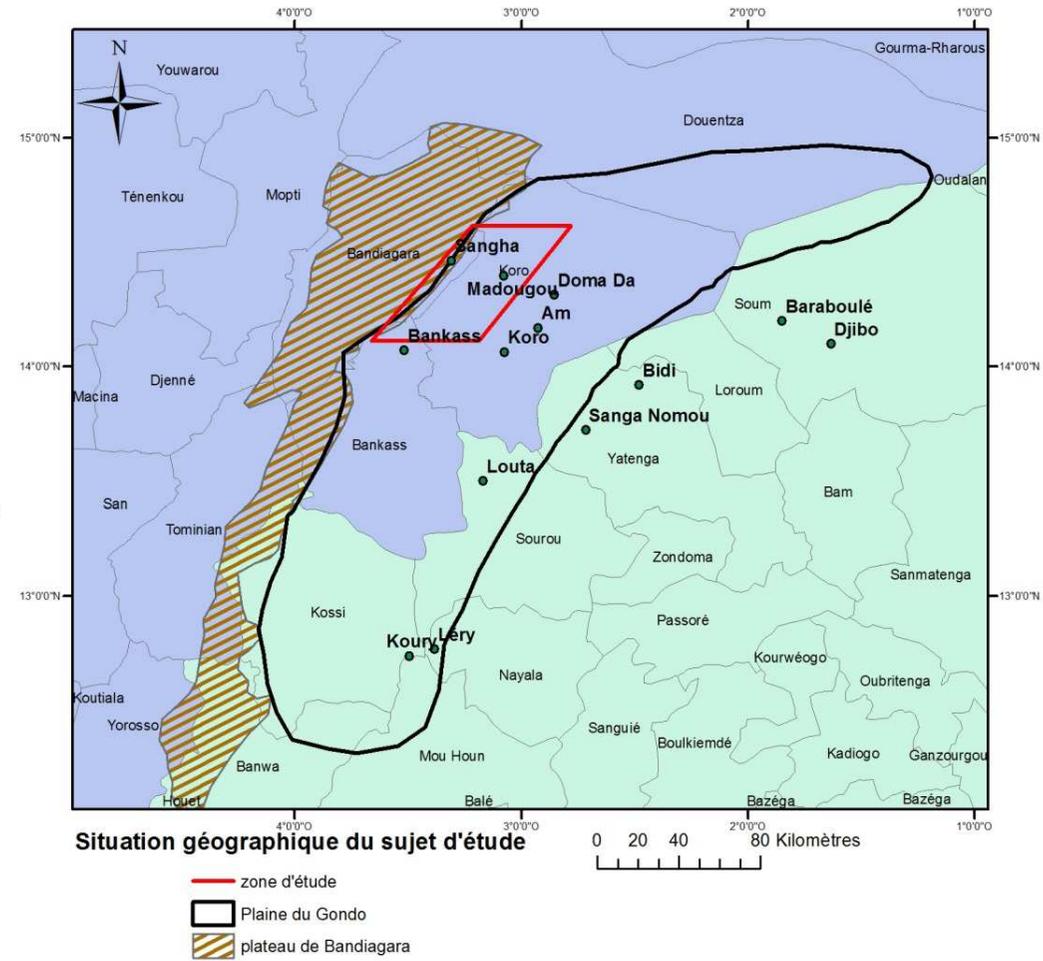
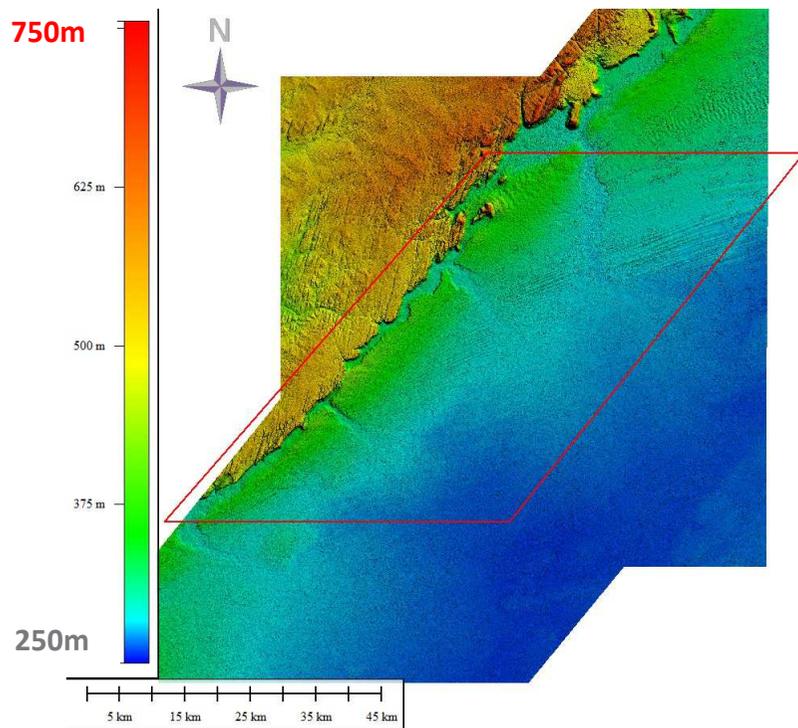
- Tracer la carte piézométrique
- Estimer le niveau du mur du Continental Terminal (CT)
- Réaliser un modèle hydrogéologique

■ ■ ■ ■ CONTEXTE DE LA ZONE D'ÉTUDE

II. CONTEXTE DE LA ZONE D'ÉTUDE

II.1. Généralités

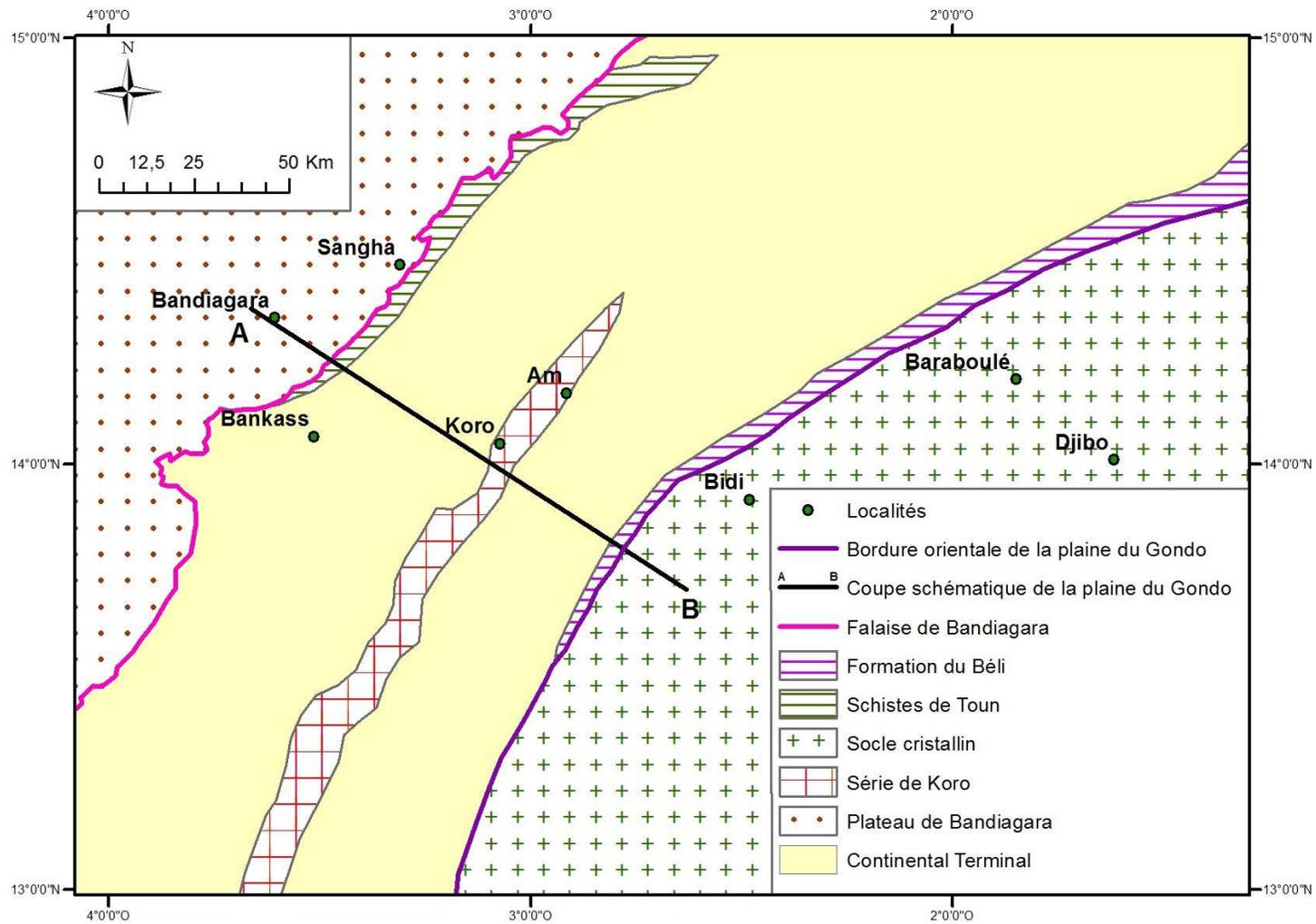
- Plaine du Gondo : ~ 30 000km²
Zone d'étude : ~ 2 790km²
- Climat sahélien
Pluviométrie moy. an. ~ 520mm



- Faible densité de drainage, zone endoréique
Présence de paléo-vallées

II. CONTEXTE DE LA ZONE D'ÉTUDE

II.2. Contexte géologique



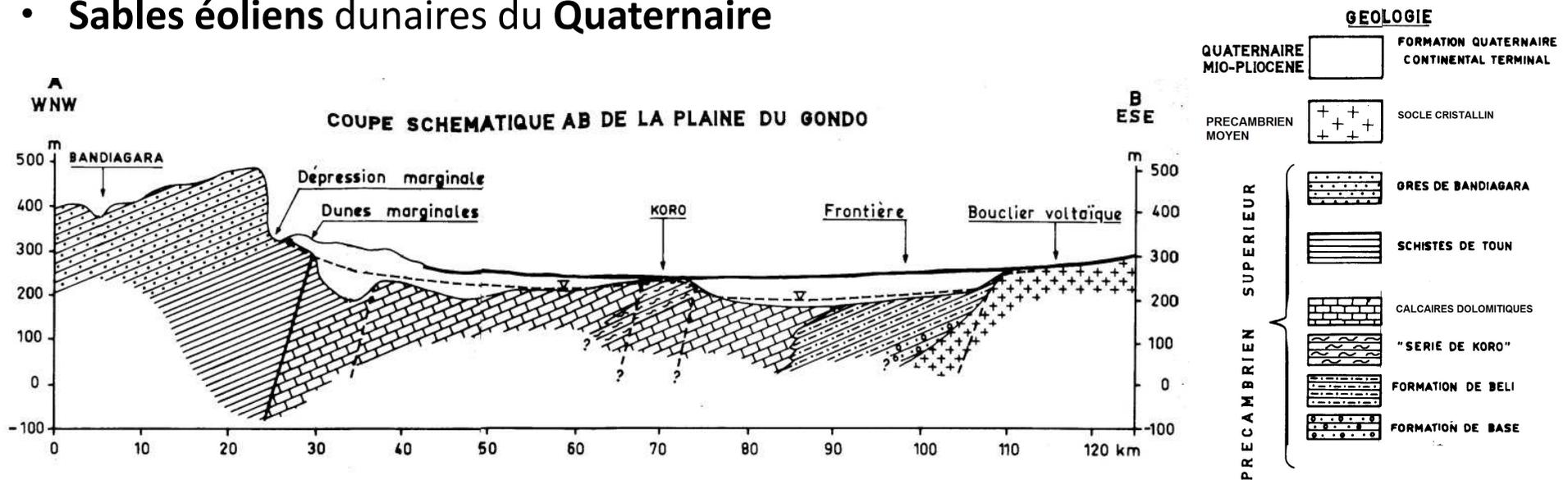
Source : PNUD, 1975 modifié

II. CONTEXTE DE LA ZONE D'ÉTUDE

II.2. Contexte géologique

Milieu sédimentaire :

- **Calcaires dolomitiques** et karstiques de l'**Infracambrien**
- **Série de Koro** intercalée dans les calcaires : argilites calcaires, marno-calcaires
- **Schistes de Toun** et Formation de Béli : schistes gréseux et argileux
- **Sables argileux**, argiles sableuses et grès très fins du **Continental Terminal**
- **Sables éoliens** dunaires du **Quaternaire**

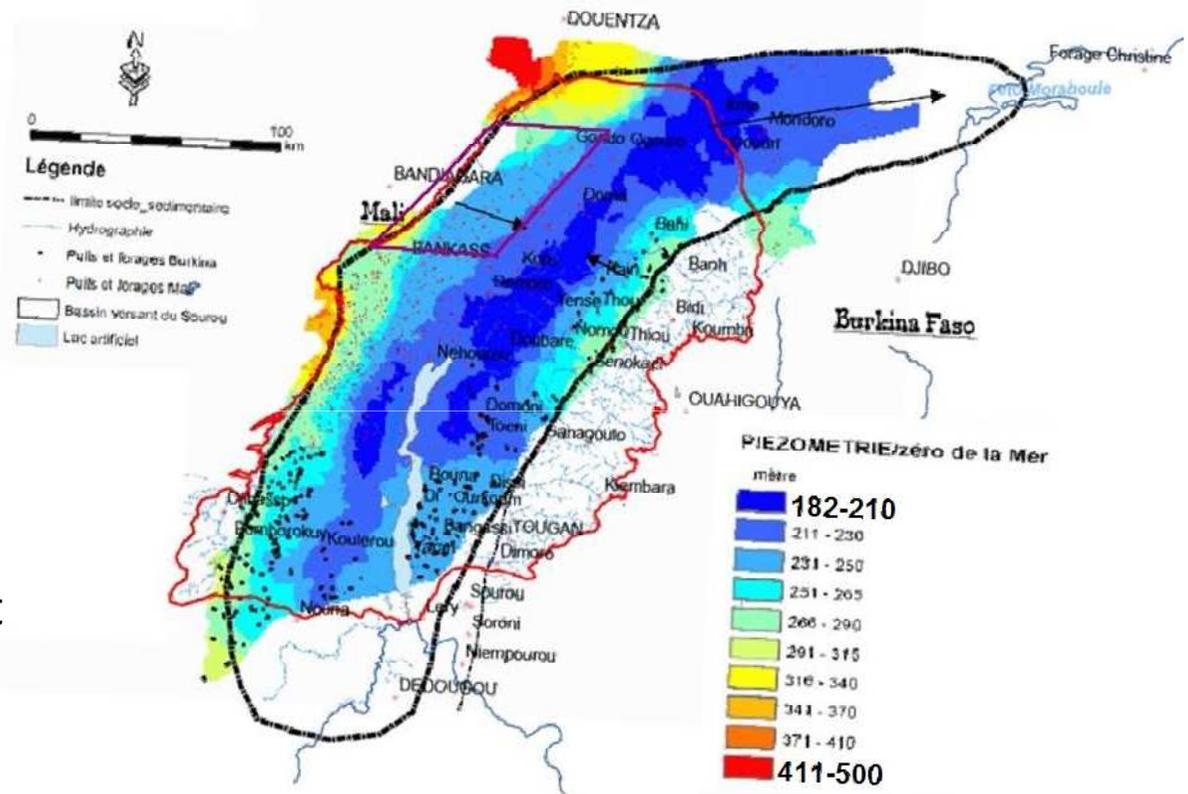


Source : PNUD, 1975

II. CONTEXTE DE LA ZONE D'ÉTUDE

II.3. Contexte hydrogéologique

- **Nappes dans le Continental Terminal et dans l'Infracambrien, entre 20 et 100m de profondeur, en continuité hydraulique**
- **Dépression piézométrique**
- Alimentation **principalement par les bordures**, notamment le long de la falaise de Bandiagara
- Ecoulement vers le Nord?



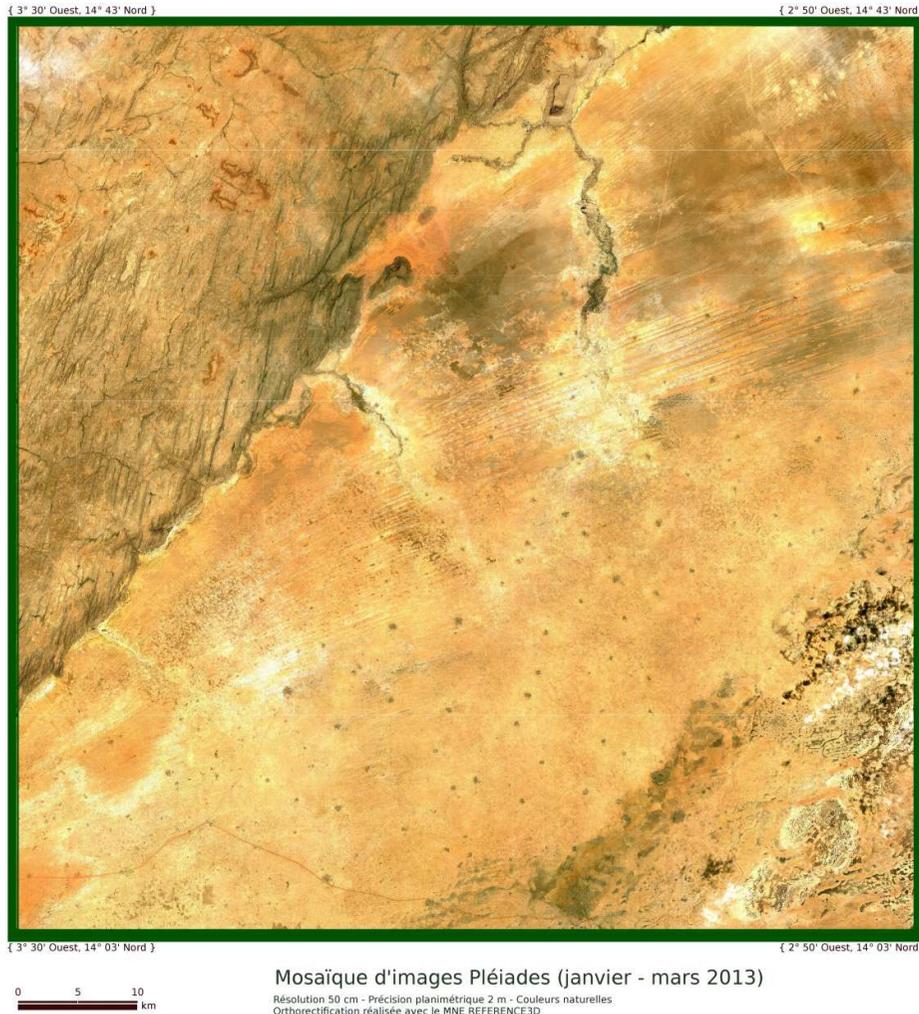
Source : Koussoubé, 2010

- Toit irrégulier de l'Infracambrien >> **CT sec sur 50% de la plaine (PNUD, 1975)**

■ ■ ■ ■ MATÉRIELS ET MÉTHODES

III. MATÉRIELS ET MÉTHODES

III.1. Matériels



- **Données satellitaires** : photographie aérienne, SPOT1, SPOT5, Pléiades, MNT SRTM et MNE Référence 3D
- **Données sur les niveaux statiques des années 1950, 1970 et 2010** et sur l'épaisseur du CT (Archambault, 1951; Defossez 1955-1957; PNUD, 1975; Koussoubé, 2010; Via Sahel)
- **Logiciels utilisés** : ArcGIS 10, ENVI 4.4, Surfer 9, Global Mapper 15, Georient, GMS 6.0

III. MATÉRIELS ET MÉTHODES

III.2. Méthodes

Méthodes	Objectifs
Carte linéamentaire	Cibler les zones de fracturations
Cartographie des mares	Evaluer l'apport des eaux de surface
Traitement des données	Obtenir des données fiables et homogènes
Carte du toit du substratum du CT	Estimer le niveau du mur du CT
Coupes et cartes piézométriques	Définir l'allure de la nappe
Calcul du volume d'aquifère saturé du CT	Estimer le volume d'eau dans le CT
Comparaison diachronique des cartes piézométriques	Appréhender l'évolution temporelle de la nappe phréatique
Modélisation hydrogéologique	Intégrer l'ensemble des données et tester nos hypothèses
Tests de sensibilités du modèle	Evaluer les paramètres influents

Repositionnement d'un puits grâce aux images Pléiades



Images Pléiades, saison sèche 2013

III. MATÉRIELS ET MÉTHODES

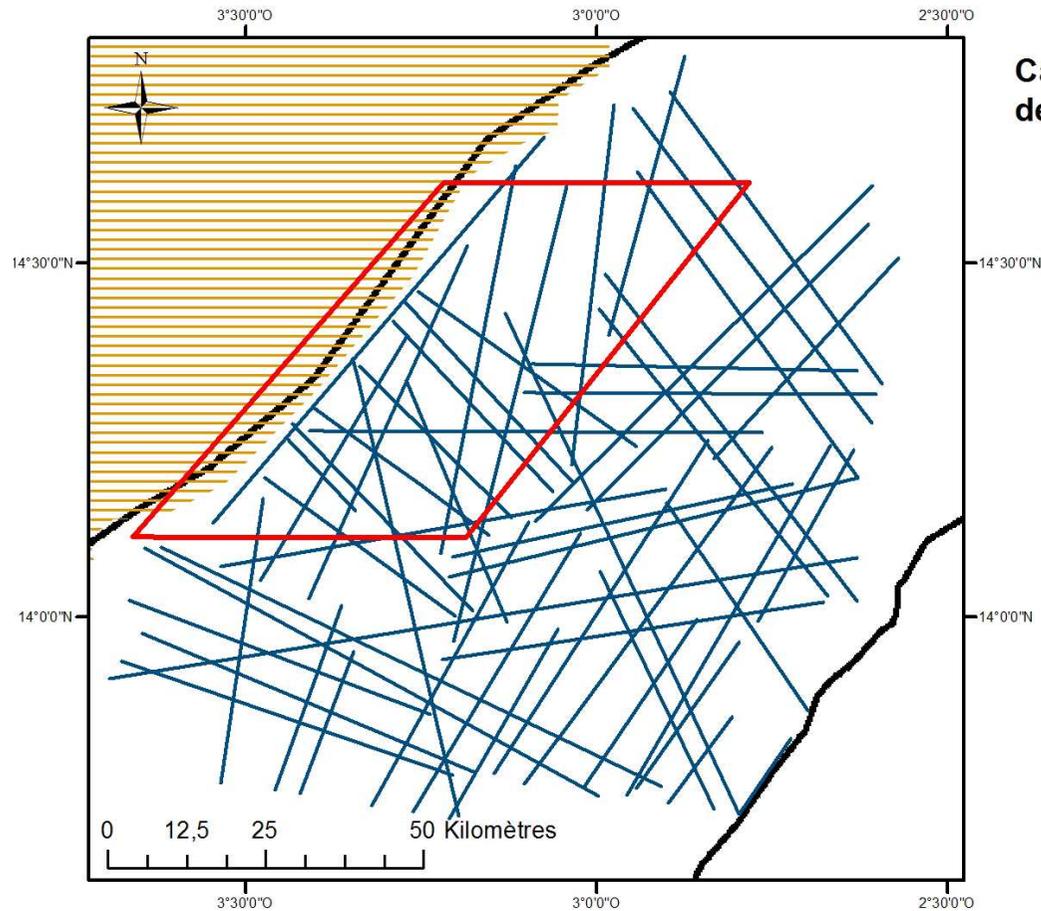
III.2. Méthodes

Méthodes	Objectifs
Carte linéamentaire	Cibler les zones de fracturations
Cartographie des mares	Evaluer l'apport des eaux de surface
Traitement des données	Obtenir des données fiables et homogènes
Carte du toit du substratum du CT	Estimer le niveau du mur du CT
Coupes et cartes piézométriques	Définir l'allure de la nappe
Calcul du volume d'aquifère saturé du CT	Estimer le volume d'eau dans le CT
Comparaison diachronique des cartes piézométriques	Appréhender l'évolution temporelle de la nappe phréatique
Modélisation hydrogéologique	Intégrer l'ensemble des données et tester nos hypothèses
Tests de sensibilités du modèle	Evaluer les paramètres influents

■ ■ ■ ■ RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

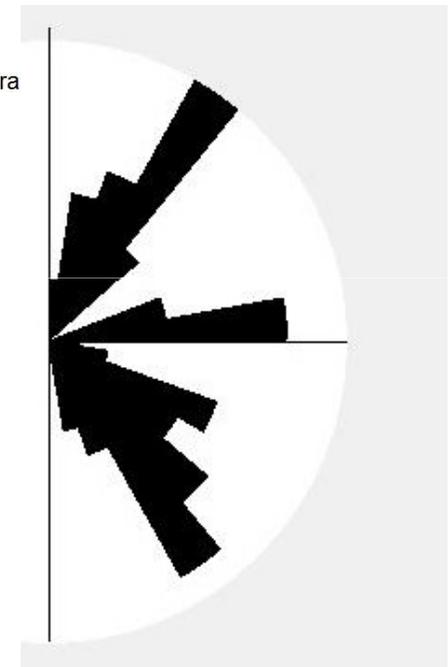
IV. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

IV.1. Carte Linéamentaire



Carte linéamentaire réalisée à partir de l'image satellitaire de SPOT1

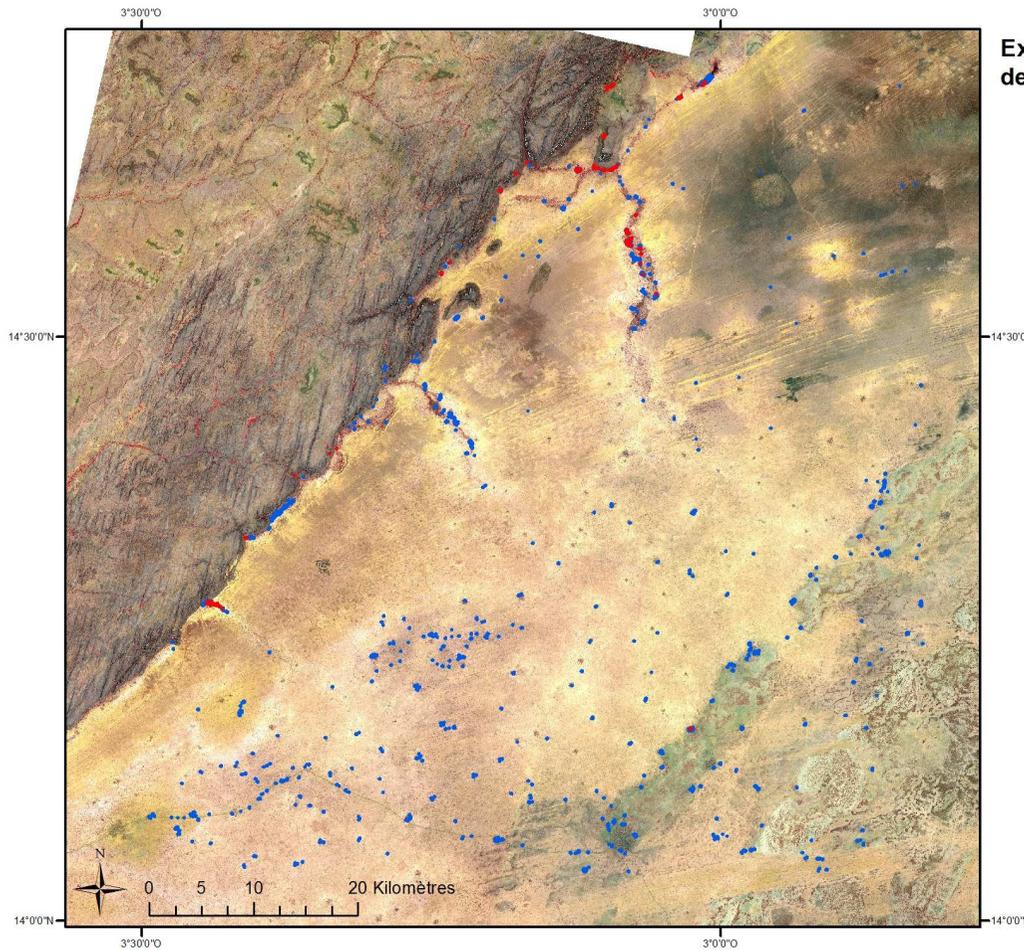
- zone d'étude
- linéaments
- plateau de Bandiagara
- Plaine du Gondo



- Zone largement fracturée
- Directions préférentielles de fracturation : N30-40° et N130-150°

IV. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

IV.2. Carte des mares en saison sèche et saison des pluies



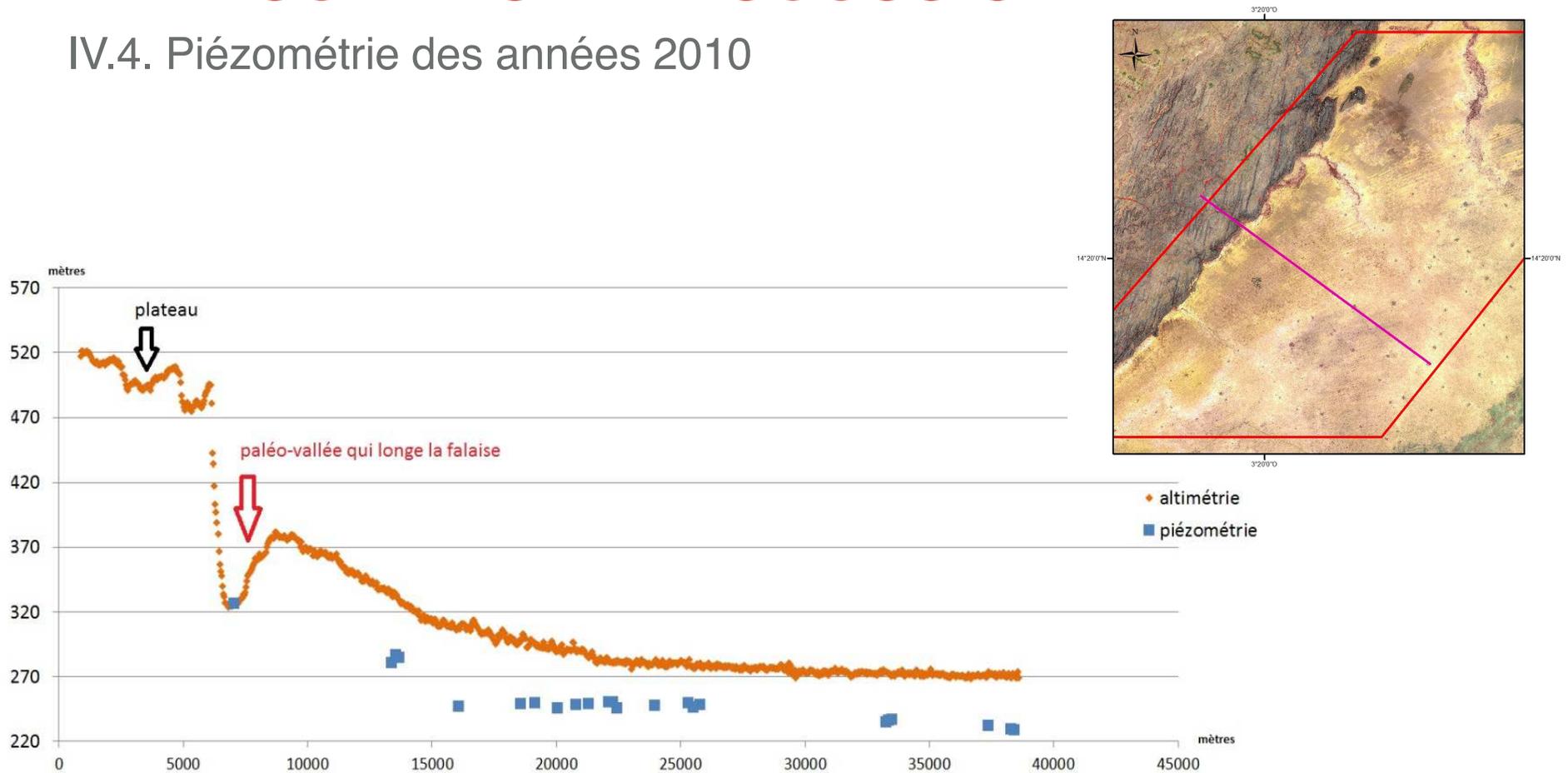
Extension des mares en saison des pluies et en saison sèche

- mares en saison sèche
- mares en saison des pluies

- Concentration des mares dans les paléo-vallées
- Assèchement des mares en saison sèche
- Recharge de la nappe via l'infiltration au niveau des mares >> étude à mener

IV. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

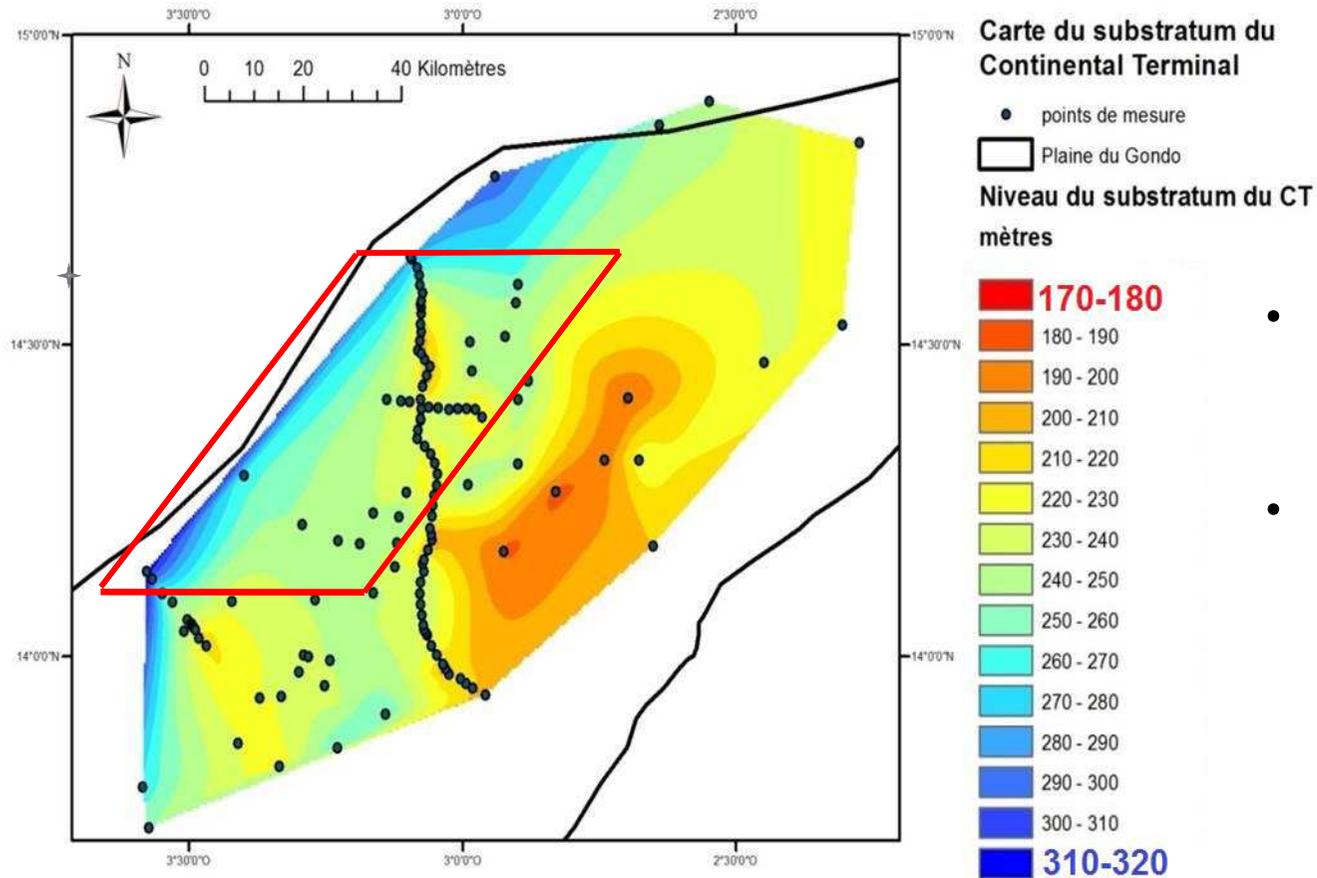
IV.4. Piézométrie des années 2010



- La piézométrie semble suivre la topographie
- Le niveau piézométrique dans la paléo-vallée est presque au niveau du sol
>> zone de recharge de la nappe

IV. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

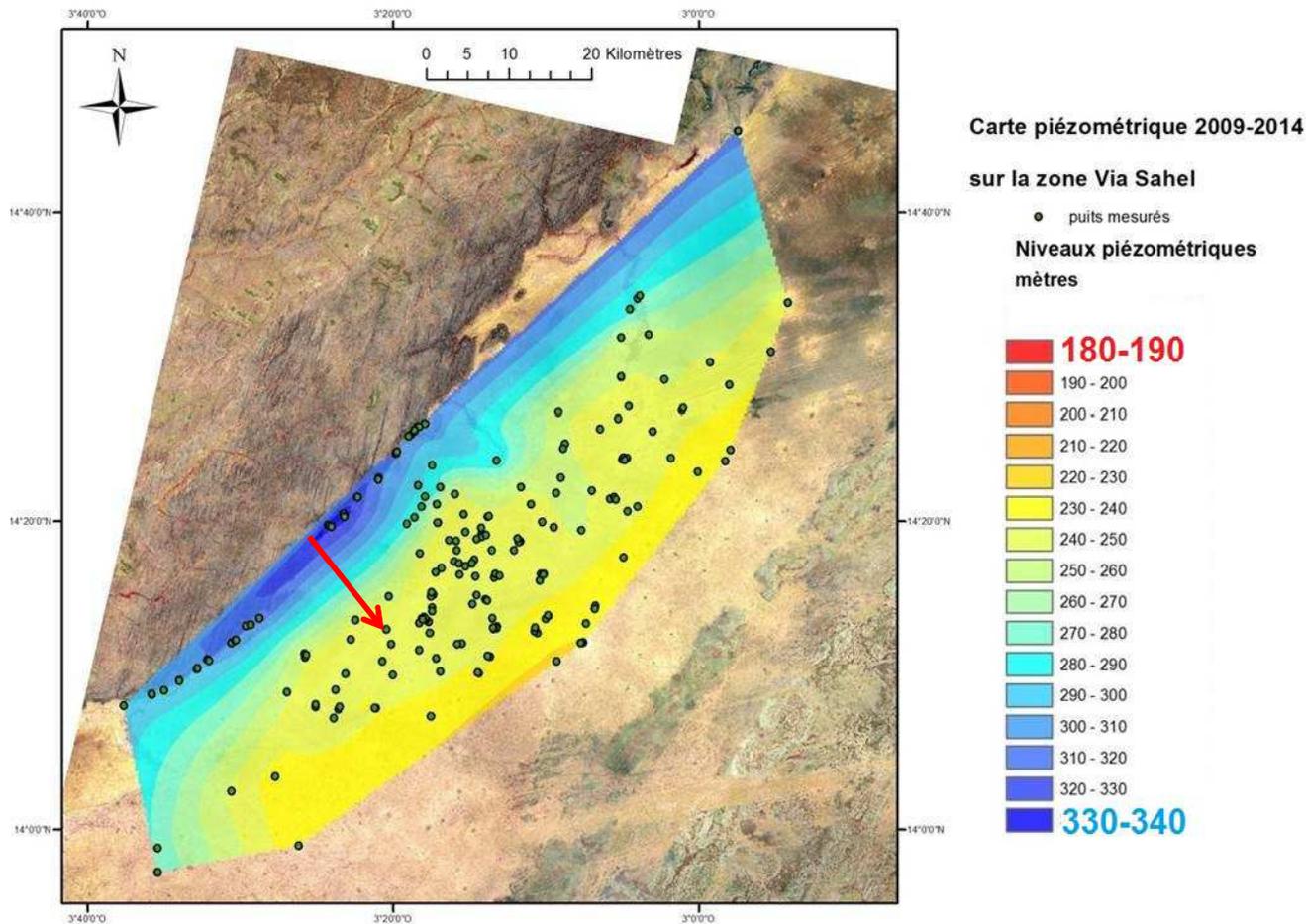
IV.3. Substratum du Continental Terminal



- Caractère très irrégulier du substratum du CT
- Informations très disparates

IV. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

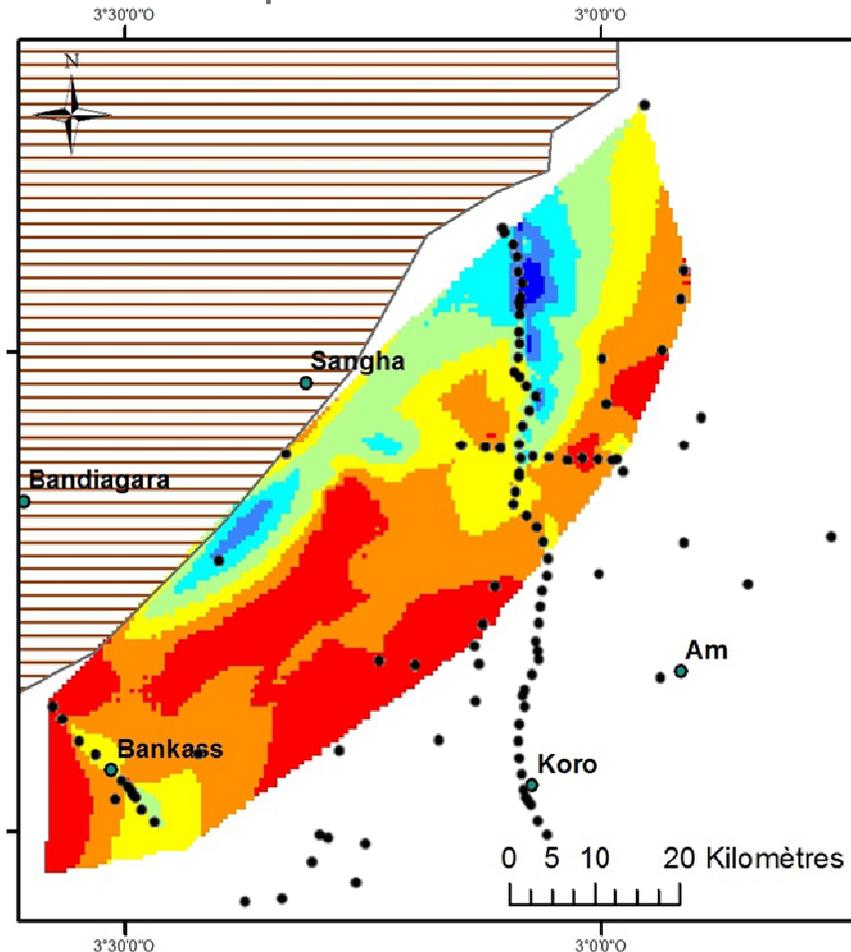
IV.4. Piézométrie des années 2010



- Piézométrie entre 340m et 210m
- Gradient hydraulique plus important près de la falaise

IV. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

IV.5. Epaisseur saturée du Continental Terminal sur notre zone d'étude



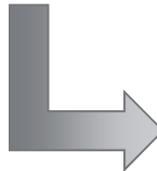
Epaisseur saturée du Continental Terminal

- plateau de Bandiagara
- Continental Terminal étudié
- mètres
- CT sec
- 0 - 10
- 10,00000001 - 20
- 20,00000001 - 30
- 30,00000001 - 40
- 40,00000001 - 50
- 50,00000001 - 60

CT sec à préciser avec d'autres mesures

Epaisseur saturée du CT : jusqu'à 60m

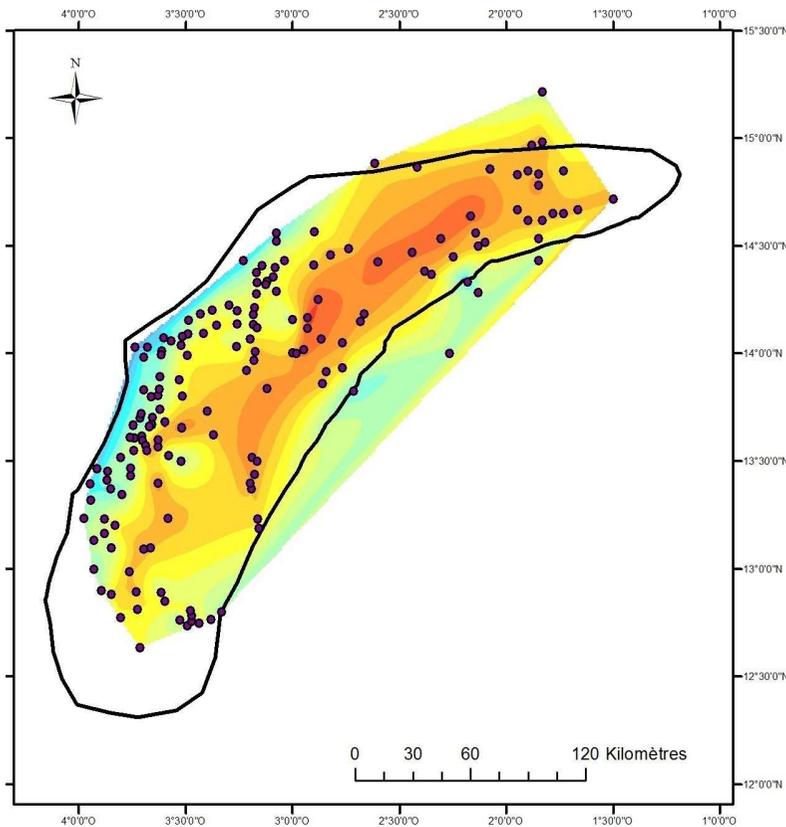
≈ **28,6km³** de CT saturé. Porosité entre 5 et 15% >> entre **1,4 et 4,3km³** d'eau dans CT



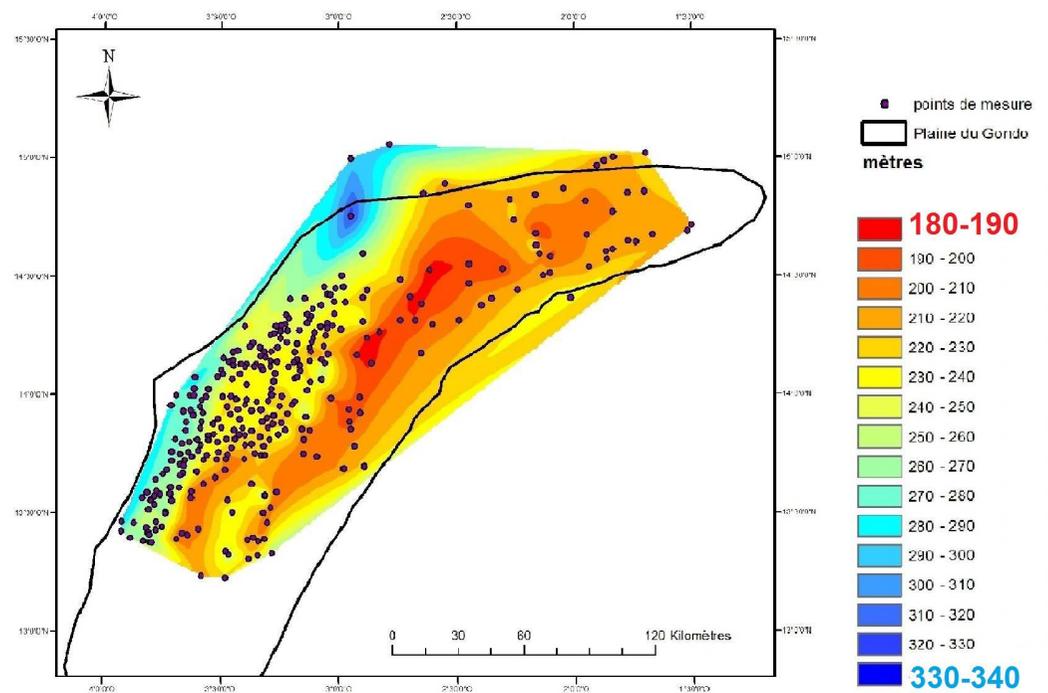
Garantie largement le besoin en eau annuel des habitants de la zone (0,002km³)

IV. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

IV.6. Evolution de la piézométrie depuis les années 1950



Carte piézométrique de la plaine du Gondo (d'après Archambault 51 et Defossez 55-57)

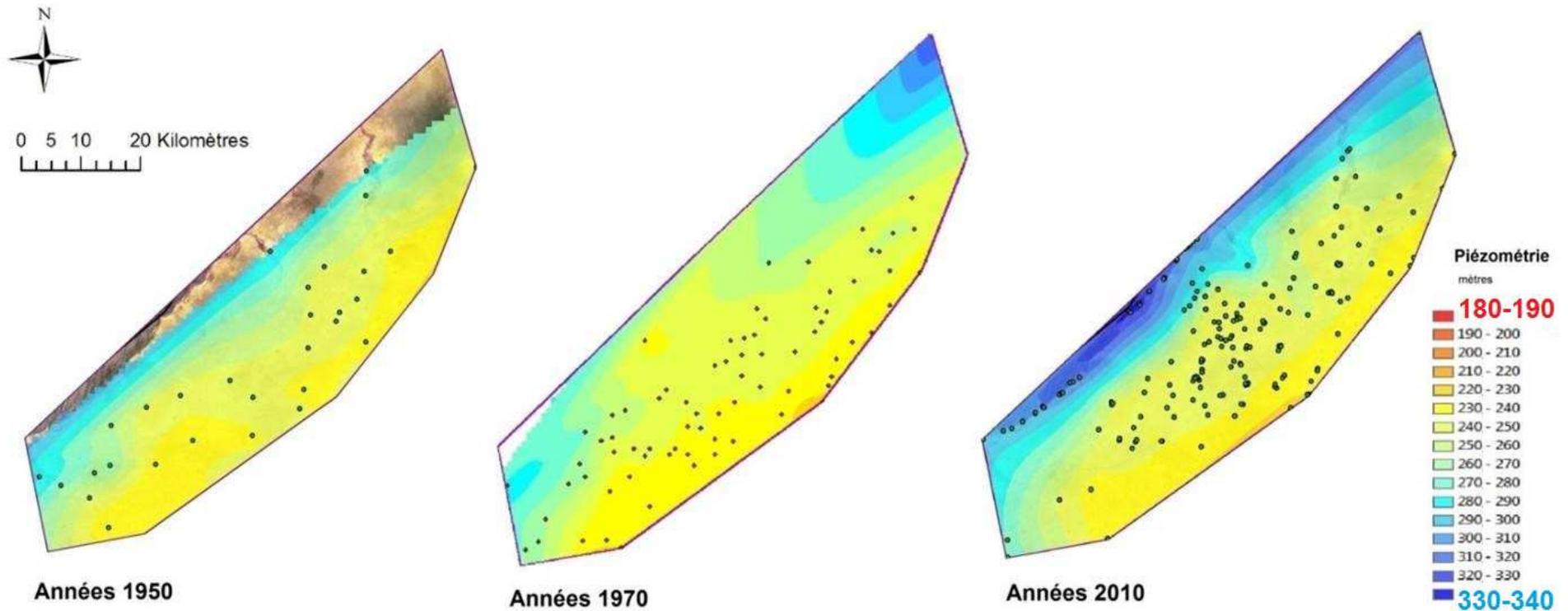


Carte piézométrique de la plaine du Gondo (d'après PNUD 1970-72)

Baisse moyenne du niveau piézométrique de 0,86m entre les années 1950 et 1970

IV. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

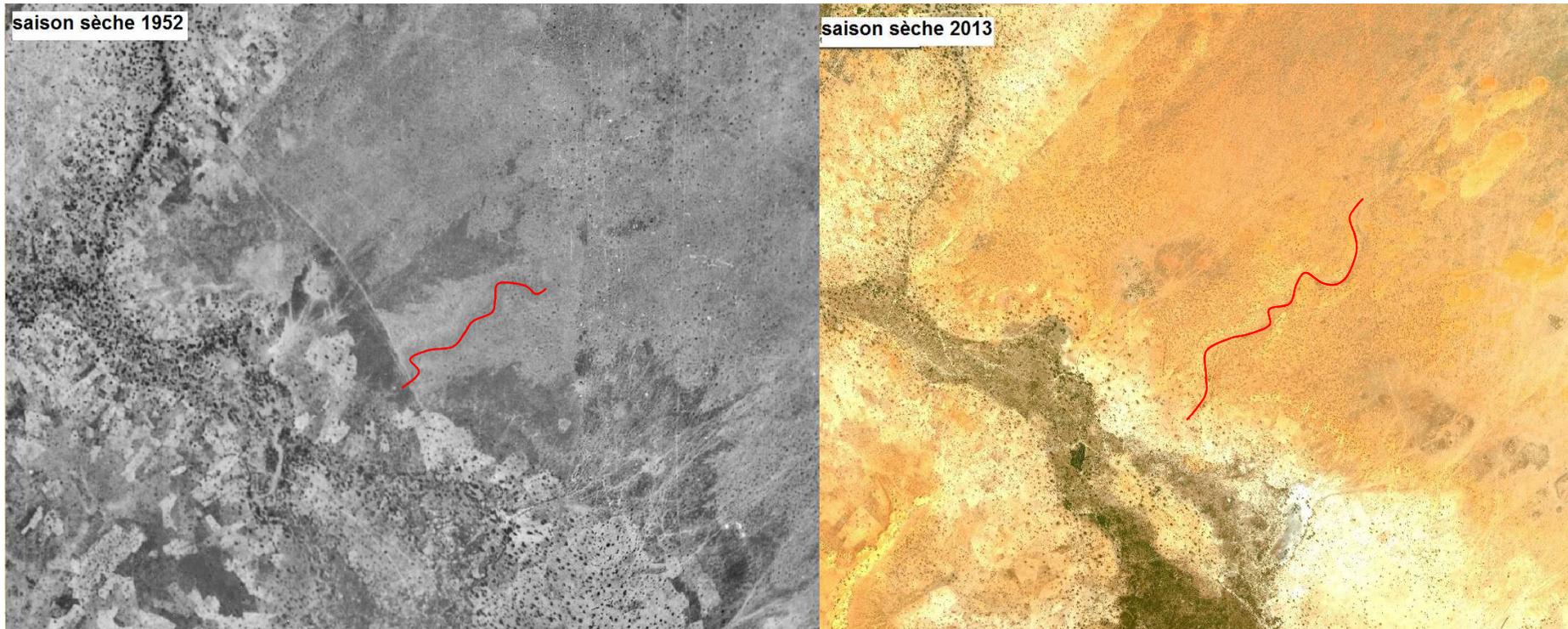
IV.6. Evolution de la piézométrie depuis les années 1950



Hausse moyenne du niveau piézométrique de **0,71m** entre les années **1970** et **2010**

IV. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

IV.6. Evolution de la piézométrie des années 1950 aux années 2010

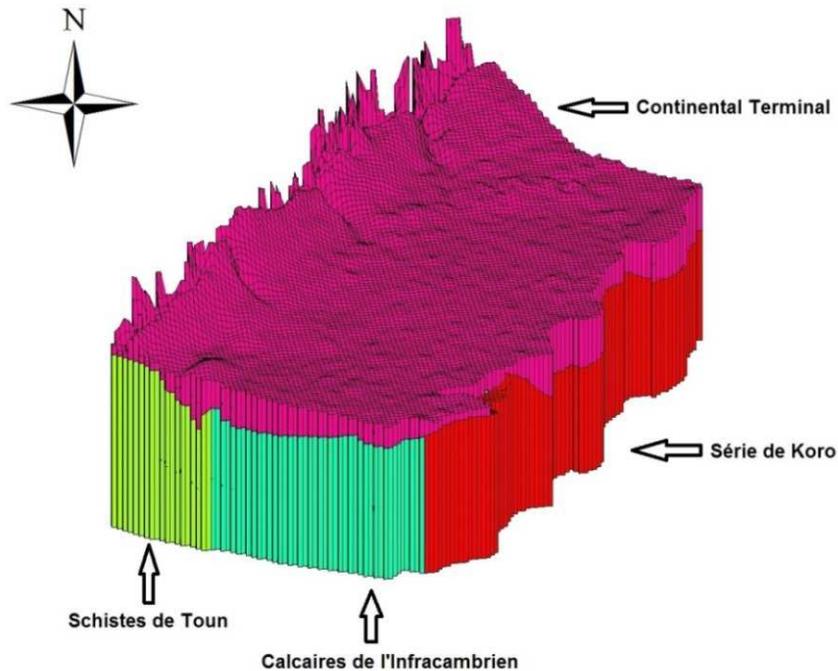


Augmentation du réseau de drainage >> Augmentation du nombre de mares >>
Recharge plus importante?

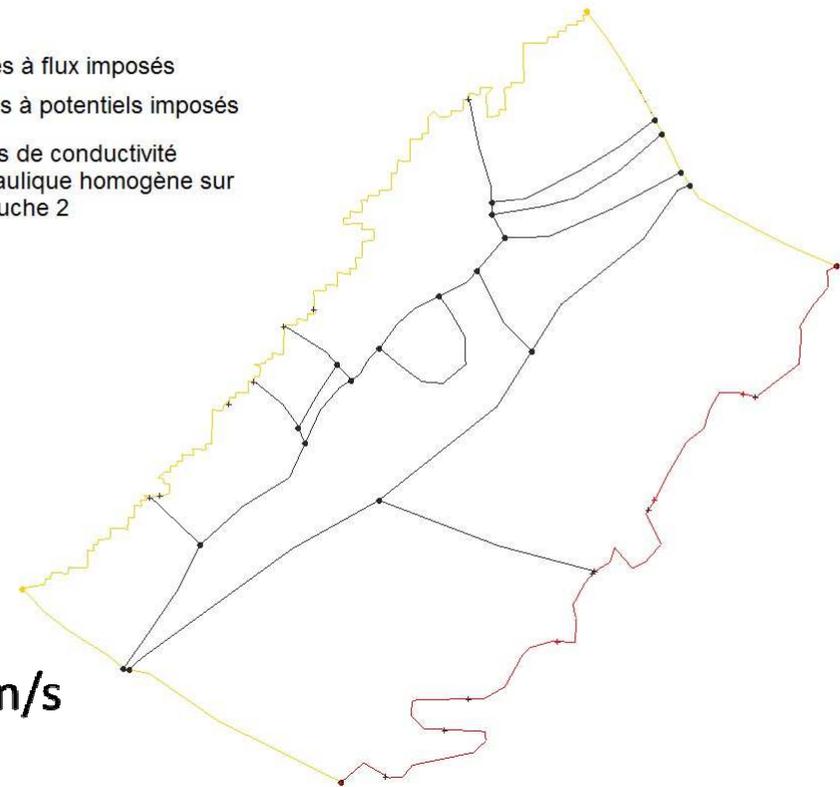
IV. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

IV.7. Modélisation des écoulements souterrains

- Modèle **bicouche** en **régime permanent**
- Flux nul au N. et S., flux imposés à l'O. et potentiels imposés à l'E.



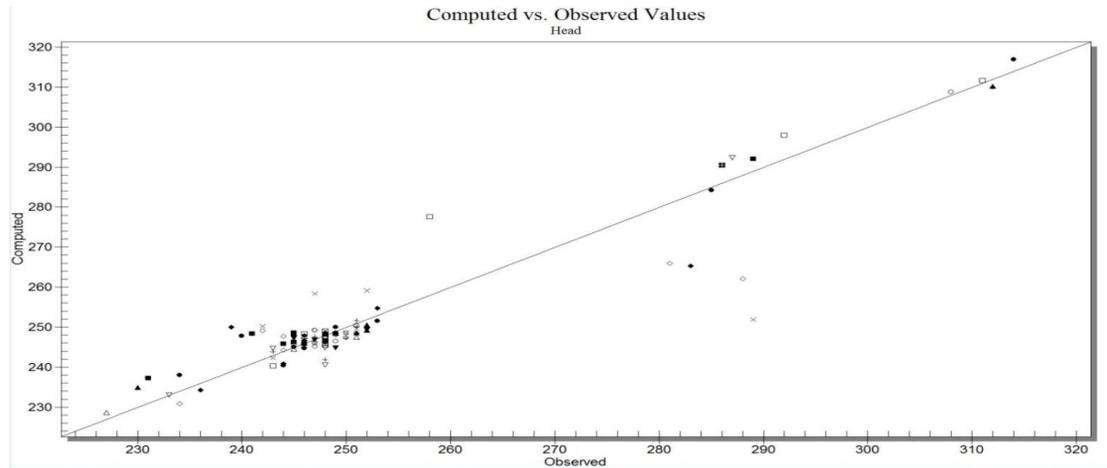
- limites à flux imposés
- limites à potentiels imposés
- zones de conductivité hydraulique homogène sur la couche 2



- K de la couche 1 : $3 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$
- K de la couche 2 : entre $1 \cdot 10^{-6}$ et $1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$

IV. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

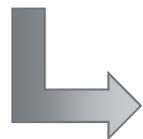
IV.7. Modélisation des écoulements souterrains



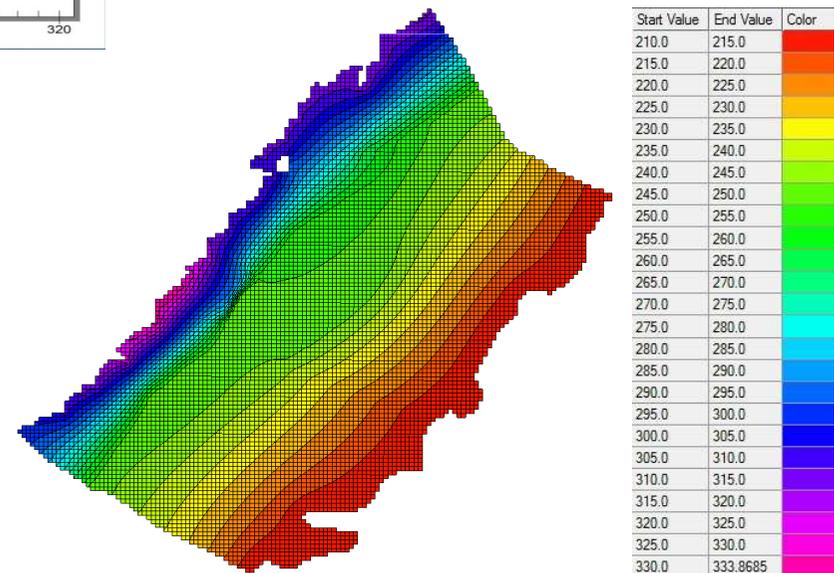
Résultat du calage :
60 puits bien calés
21 puits moyennement calés
24 puits non calés

Flux entrant dans le modèle : **4,2m³/s**

- la partie contributive du plateau : 725km²
- la pluviométrie : 520mm/an



Flux entrant \equiv **35% de la pluie annuelle tombée sur le plateau**



IV. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

IV.7. Modélisation des écoulements souterrains

Tests de sensibilités :

Toit calcaire $\pm 5\text{m}$:

- **-5m** >> piézométrie **+2,8m**
- **+5m** >> piézométrie **-0,5m**

**>> dissymétrie entre
baisse et remontée**

**Flux entrant $\pm 3\%$ du total de la
pluie annuelle tombée sur le
plateau :**

- **+3%** >> piézométrie **+3,3m**
- **-3%** >> piézométrie **-3,4m**

Or flux $\pm 3\% \equiv$ lame d'eau tombée $\pm 17\text{mm}$ >> **le modèle est donc très
sensible au flux entrant**

**Déplacement de
la frontière ouest
après les schistes
de Toun :**

piézométrie **+1m**



CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

V. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

CONCLUSIONS

- Baisse de la piézométrie de 0,86m entre 1950 et 1970, puis hausse de 0,71m depuis les années 1970
- CT sec par endroits mais aussi jusqu'à 60m d'épaisseur saturée du CT ailleurs
- 1,4 à 4,3km³ d'eau dans le CT sur 2 400km² >> pas de problème de ressource en eau
- 35% de la pluie annuelle tombée sur le plateau participerait à la recharge

PERSPECTIVES

- **Prospections géophysiques**
- **Puits pilotes pour évaluer les variations piézométriques**
- **Étude sur la recharge préférentielle de la nappe au niveau des mares**
- **Utilisation du modèle pour proposer des scénarii de gestion de la nappe**

■ ■ ■ ■ MERCI POUR
VOTRE
ATTENTION