

PROJET AMMA

PROSPECTIONS GEOPHYSIQUES SUR LE BASSIN VERSANT D'ARA

Electrique 2D et électromagnétisme EM34

COMPTE RENDU DE MISSION

5 – 14 mai 2003

**Marc Descloîtres, Maxime Wubda et Yann Le Troquer
UR 027 GEOVAST
Ouagadougou.**

1. Introduction

Dans le cadre du programme AMMA Bénin, l'Unité de Recherche 027 GEOVAST de l'IRD a réalisé du 5 au 14 mai 2003 une mission de reconnaissance géophysique du bassin versant de la rivière Ara, situé à 8 km au nord-ouest de la ville de Djougou, Nord Bénin. Cette mission avait pour objectif principal de cartographier ce bassin versant par des méthodes géophysiques de résistivité et de mettre en place le travail de stage de Maxime Wubda, burkinabé et étudiant en DESS de géophysique appliqué de Paris 6, chargé d'approfondir les premières prospections.

Les problématiques posées aux géophysiciens sont liées aux futures investigations hydrologiques et hydrogéologiques qui seront menées sur ce bassin en 2003 et 2004 par nos collègues de l'IRD prochainement affectés au Bénin. Les questions suivantes ont été recensées :

- Quelle est la géométrie du socle ?
- Où se situent les nappes phréatiques ?
- Quelles sont les zones d'altération d'épaisseur importantes ?
- Y-a-t-il des accidents (failles, filons) pouvant guider les écoulements souterrains ?
- Quelles sont les zones préférentielles d'infiltration, de percolation ?
- Quelle est la nature des formations superficielles ?
- Quel est leur comportement hydrogéologique (perméabilité, etc..)

Le but de cette première mission n'est pas de répondre exhaustivement à toutes ces questions. Il s'agissait cependant de mettre en œuvre les investigations pouvant donner les premiers éléments de réponse et de contribuer ainsi à la mise en œuvre ultérieures d'autres investigations plus poussées, quelles soient géophysiques ou autres.

2. Déroulement de la mission

Participants :

Marc Descloîtres et Yann Le Troquer, IRD Ouagadougou. Maxime Wubda, stagiaire.

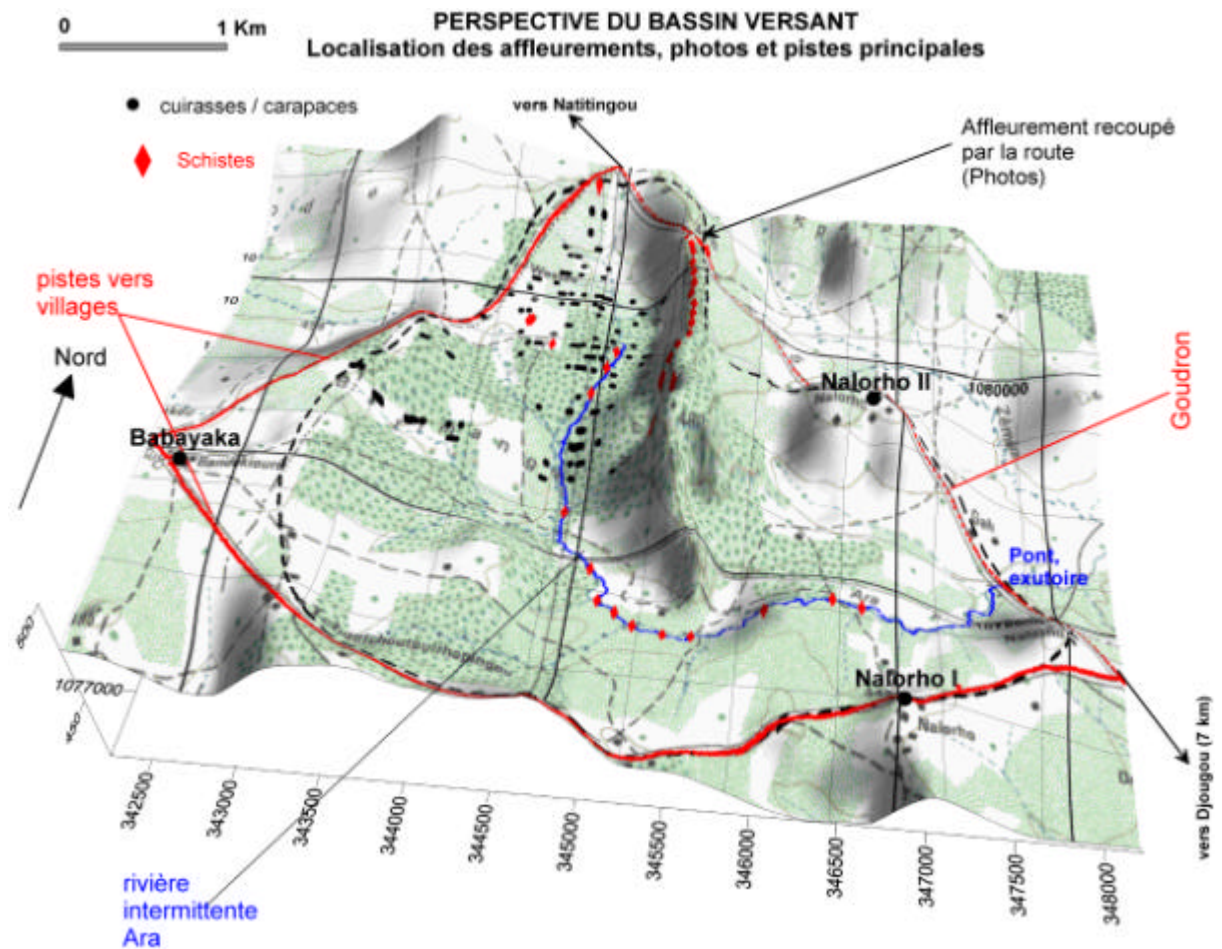
Déroulement :

- 5 mai : voyage en voiture Ouaga Djougou
- 6 et 7 mai : reconnaissance géologique du bassin versant. Prise de contact avec les chefs de villages, embauche des manœuvres, mise en place du premier profil électrique 2D. Nous avons été guidés et assistés par Jean Michel Bouchez, IRD Cotonou.
- 8 mai – 12 mai : réalisation d'un profil électrique 2D de 1800 mètres, cartographie EM34 (électromagnétisme) de 4 km² à l'amont, mise en place d'un second profil électrique 2D.
- 13 mai : dépouillement des premiers résultats. Orientation du travail de stage de Maxime.
- 14 mai : retour vers de MD et YLT à Ouaga.
- Après le 14 mai : Maxime Wubda complètera seul les prospections jusqu'à fin juin. Il rentrera ensuite 1 mois à Ouagadougou pour dépouiller. Il retournera ensuite à Djougou de début août à mi-septembre pour enrichir les prospections. Un contact sur place avec nos collègues hydrogéologues sera un plus à cette période.
- Après le 20 septembre : Maxime rédigera son mémoire en France à Bondy.

3. Présentation générale et esquisse géologique

Une première étude stéréoscopique des photographies aériennes (stéréoscopie partielle car les photos ne se recouvrent pas suffisamment) font apparaître d'emblée une structure nord-sud en relief qui limite partiellement le bassin versant à l'est. La numérisation des courbes de niveau de la carte topographique 1/50.000 permet cependant, après un calcul de krigging sous SURFER, de restituer la topographie du bassin et d'en dessiner les limites. Cette restitution est imparfaite car les courbes sont équidistantes de 20 m seulement. Il est d'ores et déjà évident qu'une topographie plus fine devra être faite, en particulier pour une corrélation fine avec les cartographies géophysiques. La figure 1 présente cette restitution, permet de localiser les affleurement reconnus, et d'apprécier la topographie.

Un mot sur la toponymie : le mot Babayaka signifie «le marché du vieux Baba». En revanche, le mot «Nalorho» désignant sur la carte IGN à la fois la montagne Nord-Sud et les villages environnants (noté I et II sur les pancartes, et orthographié «Naloho») a été impossible à définir. En dialecte Yom, il semble que le nom de ces villages se prononce plutôt «nialorou». «Niam» signifie «l'eau» et «lorou» le «sac». Nialorou signifie «l'eau dans le sac». On peut émettre l'hypothèse que les déformations orales successives aient pu donner «Nalorho» sur les cartes IGN... Nous serions donc sur le site de «l'eau dans le sac». Un linguiste est appelé à l'aide !



- Le bassin versant (limite extérieure approximative en trait pointillés noirs) se partage lui-même en plusieurs sous-bassins. La surface totale est estimée à 11.7 km². Nous avons commencé nos prospections à l'amont, au Nord. Dans cette zone, les principaux affleurements de cuirasse ont été rencontrés lors des cheminements géophysiques EM34 (cf stratégie de prospection géophysique). Il est parfois difficile de dire s'il s'agit de carapace ou de cuirasse. Ces cuirasses sont entaillées par l'érosion de plusieurs ravines intermittentes. D'autre part, elles ne semblent pas s'organiser en « plateaux » mais épouser la topographie. Cela reste cependant à vérifier lors d'une campagne de topographie plus fine.
- Le bassin versant est armé par une structure linéaire nord-sud, véritable épine dorsale, qui empêche en amont la ravine Ara de couler vers l'exutoire régional situé à l'est (bassin versant de Danga). La ravine traverse cette structure au sud du bassin, soit parce que la structure s'interrompt, soit parce qu'elle devient « plus tendre », soit parce qu'une faille E-W affecte les formations ?. C'est une des questions qui se posent.
- J'ai reconnu les affleurements principaux. Celui recoupé par la route est illustré par les photos ci-dessous.

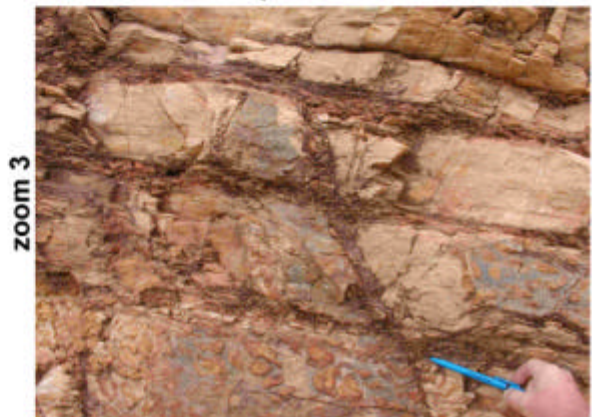
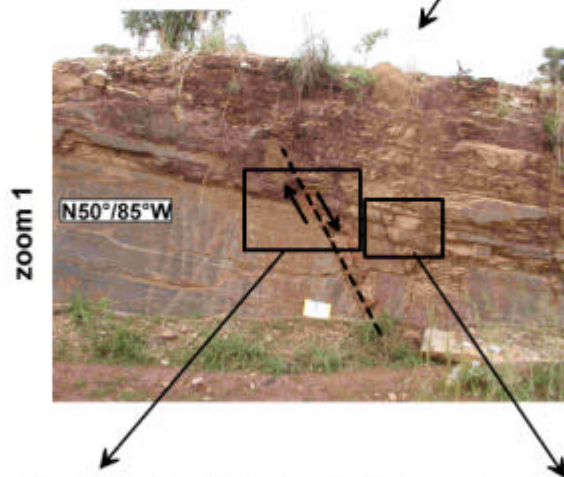
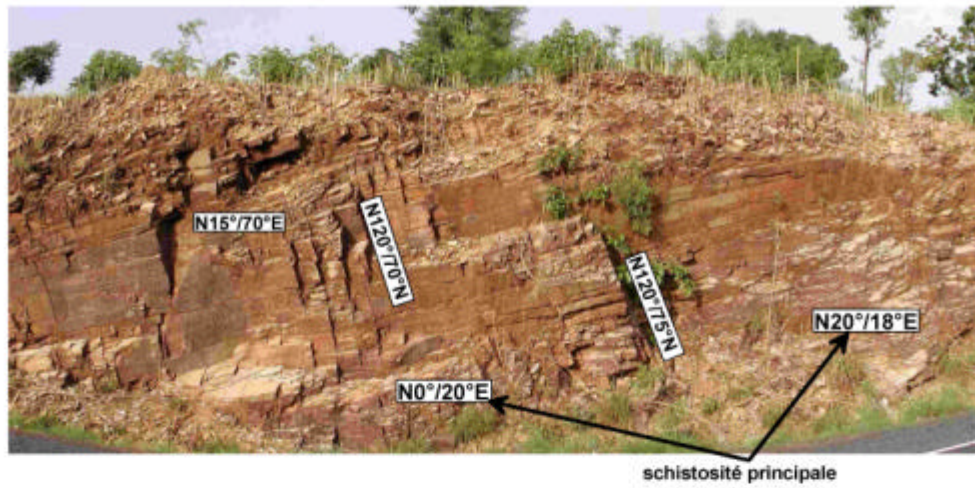


Figure 2 : Affleurements de la structure principale recoupée par la route.

- En première analyse, le socle du bassin versant serait constitué par une formation d'origine sédimentaire, largement métamorphisée, que je qualifierai de schistes. La présence de micas *blancs* en très grand nombre me fait dire «mica-schistes» (schistes lustrés serait un terme exagéré cependant). Après l'étude de l'affleurement recoupé par la route, il ressort que la direction principale de la schistosité est N0° ou N20°, pendage 20°E. Il m'est difficile de dire si cette schistosité est conforme aux bancs ou non. On remarque la présence de bancs très épais (0.5 à 1 m d'épaisseur) formés d'une roche moins micacée, semblable à une quartzite. Je n'ai pas fait de test pour m'assurer que c'était bien du quartz et non de la calcite (cipolin ?). Disons que la présence de quartz en abondance a été remarquée sans équivoque ailleurs sur le bassin. Cette roche dure résiste à l'érosion. L'affleurement présente de nombreuses autres directions de fractures : N15°70°E, N50°85°W, N120°70°N. Ces fractures ne montrent pas de traces évidentes de plan de faille (avec stries caractéristiques) mais sont en revanche «remplies» de matériaux témoignant de la mobilisation de fer, parfois vacuolaires. D'autres sont à l'évidence désagrégées en argile. Tout ceci témoigne de la circulation d'eau à mon avis. Il m'est difficile d'estimer si cette circulation d'eau date «des temps anciens» ou si au contraire il s'agit d'un phénomène plus récent et donc très important à diagnostiquer si nous voulons comprendre l'hydrogéologie du socle de ce bassin : les eaux d'infiltrations peuvent-elles encore pénétrer dans le socle ou celui-ci a-t-il été rendu totalement imperméable à la percolation par l'altération et l'argilisation des fractures ?
- J'ai suivi autant que possible le cours de la rivière et reconnu les principaux affleurements. Les directions de la schistosité sont dans la majorité conformes à celle reconnue sur la route : N0°, 20°E. Cependant, on note quelques affleurements où cette tendance n'est pas respectée : le pendage peut être 40°E, et les directions N340°, N10°. Ces variations témoignent peut-être de plissements dans la formation schisteuse...Une reconnaissance exhaustive de ces affleurements en saison sèche à l'aide d'une meilleure boussole que celle utilisée ici (petite RECTA) sera nécessaire pour confirmer cette hypothèse.
- Un affleurement de fond de ravine présente beaucoup de micas noirs, schistosité approximative N0°15°E. Il est recoupé par des filons de quartz décimétriques rectiligne N80°, N120°, N160° subverticaux. Une génération de filons de quartz beaucoup plus ancienne est aussi visible (filons sigmoïdes)
- En amont de la ravine, dans la partie où elle suit un trajet Nord-Sud, le fond est tapissé en permanence de blocs de quartz fauve, ce qui me fait dire qu'elle suit probablement ici un filon de quartz majeur, ou son éponte. Si cette hypothèse se révèle exacte, quel rôle joue ce filon dans l'infiltration ?
- Enfin il me reste à évoquer la présence de cuirassements importants (et carapaces) qui modulent le relief de détail du bassin. Ces cuirassements vont être reconnus «facilement» par la géophysique, mais en première analyse, ceux-ci a) semblent épouser le relief du socle, b) sont entaillés par les ravines intermittentes.

Ces premières indications nous ont permis néanmoins de savoir que les directions majeures de la schistosité étaient plutôt Nord. En conséquence, et en faisant l'hypothèse raisonnable que cette dernière pourrait guider l'essentiel de la géométrie des altérations, nous avons décidé de réaliser nos profils d'investigation géophysique Est-Ouest.

J'interroge actuellement un géologue du Cérège (Marseille) qui a fait sa thèse sur l'Atakora, Pascal Affaton. Il pourra juger de cette première esquisse. En particulier, donner son avis sur le type et le qualificatif des roches reconnues.

Pour l'instant, on peut retenir l'esquisse suivante, figure 3, qui soulève beaucoup d'interrogations sur l'hydrogéologie. Vous qui avez aussi reconnu ce bassin, il est important de me donner votre sentiment sur ce schéma, car il guide pour l'instant toutes nos prospections.

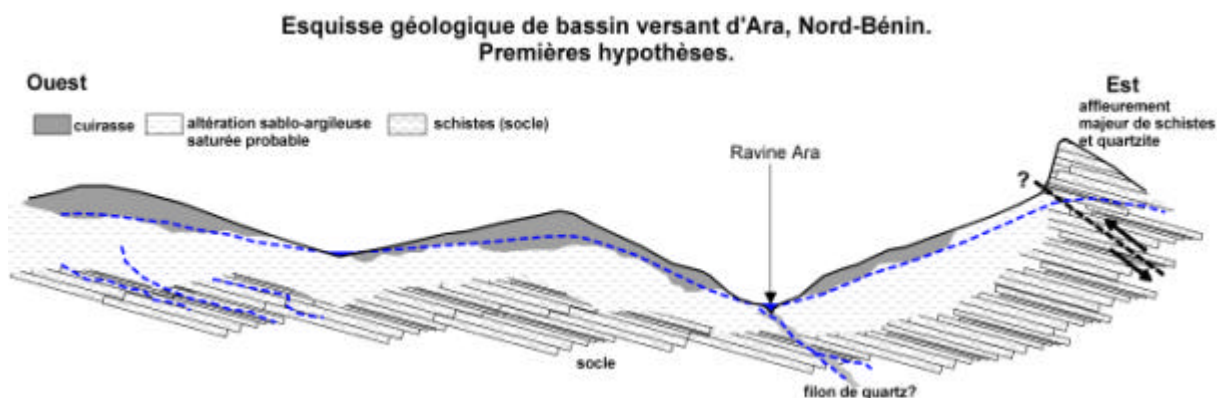


Figure 3.

Les premiers éléments géologiques et hydrogéologiques ainsi que les questions posées à la suite de cette esquisse géologique sont les suivants :

- Quelles sont les épaisseurs des cuirasses /carapaces ? Les cuirasses / carapaces sont érodées par des ravines sur les versants. Elles pourraient aussi protéger les altérites de l'érosion actuelle.
- Quelle est la profondeur du socle ? La disparité probable de la nature et de la dureté des schistes pourrait conduire à des variations de l'épaisseur de l'altération assez importantes. L'épaisseur des cuirasses et des altérites pourra être déterminée par les sondages géophysiques dans certaines limites d'équivalence (sujet probable du stage de Maxime Wubda)
- La nappe affleure dans les versants ("trous" 1 et 2, voir carte de situation EM34 ci-après).
- On ne peut pas dire s'il existe des nappes perchées ou non pour l'instant : Il avait plu 213 mm avant le 6 mai 2003. Cela a pu conduire à la mise en charge d'une nappe de versant.
- La conductivité de la nappe au puits de Babayaka était de 13.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ le 6 mai 2003.
- Un suivi parallèle et simultané des niveaux des puits de Babayaka et Nalorho II me semble impératif. En effet, les pluies à l'Est de la crête principale doivent s'infiltrer suivant la schistosité et « quitter » le bassin versant souterrain par l'Est...

- Le filon de quartz de la ravine Ara est seulement suspecté. S'il s'avère présent, il pourrait jouer un rôle important.
- Le socle est-il infiltrant (par sa schistosité, ses fractures, ...) ?
- La structure à l'est est-elle le résultat d'un chevauchement ? Les chevauchements sont un trait géologique régional majeur, et souvent d'alignement N0° à N20°. (cf thèse de Pascal Affaton, « Le bassin des Volta de l'Ouest. Une marge passive, d'âge protérozoïque supérieur, tectonisée au Panafricain (600 +/- 50 Ma) », Faculté des Sciences et Techniques de St Jérôme, Marseille, 1987)

En conclusion, je ne peux que recommander la venue d'un géologue sur le site. Ses travaux permettront d'avoir une meilleure idée de l'histoire du bassin versant. Un pédologue des altérations serait un vrai plus pour comprendre l'organisation des cuirassements, qui pourraient bien avoir une grande importance sur les flux souterrains.

4. Méthodes et stratégie de prospection adoptée.

L'expérience acquise par l'UR Geovast confirme que les méthodes de résistivités sont pertinentes pour l'étude des altérations et des aquifères. Elles ont donc été proposées d'emblée. Je ne décrirai pas ici en détail ces méthodes, ni celles qui pourraient être complémentaires à l'avenir.

Nous avons mis en œuvre la méthode électrique à courant continu, avec une technique d'acquisition permettant l'obtention de panneaux de résistivité apparente. Ces derniers ont été réalisés en donnant la priorité à une reconnaissance rapide du terrain en 2D (écartement initial de 4 mètres entre les électrodes, 64 électrodes au total, déplacements de 128 mètres de recouvrement, dispositif Wenner). Les résultats se présentent sous la forme de panneaux de résistivité apparente concaténés. Ils sont interprétés en utilisant le logiciel d'inversion 2D RES2DINV. Les résistivités calculées donnent une première idée de la distribution 2D des résistivités du sous-sol sur une profondeur d'investigation de 25 mètres. J'attire l'attention du lecteur sur le fait que ces images géophysiques réclameront une vérification ultérieure par forages et diagraphies géophysiques. En effet, une interprétation géophysique n'est jamais unique, et plusieurs modèles de résistivité peuvent être proposés pour satisfaire les données expérimentales.

La seconde méthode de prospection est électromagnétique. Il s'agit d'électromagnétisme fréquentiel (à nombre d'induction faible) dit « Slingram ». L'équipement est le Geonics EM34. Pour cette méthode, la profondeur d'investigation est réglée à la fois par l'écartement des bobines, mais aussi par leur disposition par rapport au sol. Cette méthode d'investigation permet de réaliser relativement rapidement des cartes de résistivité (ou de son inverse, la conductivité) sans avoir à planter des électrodes dans le sol.

Nous avons adopté la stratégie suivante :

- Réalisation d'un profil 2D électrique perpendiculairement à la direction majeure de la schistosité, en choisissant pour cela le bassin versant amont (au nord) pour des raisons logistiques. Nous avons choisi le tracé proposé par Luc Séguis. Après 600 mètres de

prospection (2 jours), l'interprétation 2D de ce profil partiel nous a permis de choisir le meilleur compromis pour la prospection EM34.

- « Extraction » de profil verticaux de résistivité calculée d'après le profil électrique 2D dans des zones contrastées.
- Evaluation de la longueur d'onde des changements de résistivité latérale.
- Modélisation de la réponse théorique de l'EM34 à ces profils verticaux.
- Choix des 5 paramètres essentiels à la prospection EM34 :
 - a) Orientation des profils EM34: *Est-Ouest* (grâce à la reconnaissance géologique)
 - b) Ecartement des bobines : *20 mètres* (40 m non praticable, 10 mètres : pas assez de dynamique de mesure)
 - c) Pas de mesure au long des profils : *inférieure à 20 mètres* pour être sûr d'échantillonner correctement les ondulations du socle calculée en électrique 2D
 - d) Configuration des bobines : *verticales* (dipôle horizontal) à cause des conditions difficiles de prospection (végétation parfois dense et topographie prononcée dans certaines zones).
 - e) Espacement entre les profils : *100 mètres*.
- Réalisation de quelques kilomètres carrés pour confirmation de la pertinence de ces choix.
- Réalisation d'un profil électrique 2D nord-sud dans la partie sud-est du bassin versant. L'orientation de ce profil n'est pas correcte vis à vis de l'orientation des schistosités. Mais il recoupe perpendiculairement la ravine, coulant vers l'Est à cet endroit. Il m'a semblé important de pouvoir évaluer si le socle était ici entaillé par une structure d'orientation régionale N75°. Bien que des affleurements de socle soient largement visibles à cet endroit dans le lit de la ravine, la géophysique pourrait confirmer l'absence de faille. Ce profil 2D n'était pas terminé à notre départ.
- Par la suite, en fonction de la cartographie EM34, d'autres profils électriques 2D pourraient être décidés.

Après 6 jours de prospection je juge la stratégie de prospection EM34 optimale pour garantir une numérisation suffisamment fine des structures, tout en garantissant une mesure fiable de la conductivité du sous-sol à +/- .5 mS/m près. La dynamique s'étendant de 0.5 à 25 mS/m, la précision atteinte est suffisante pour distinguer les grandes tendances. Enfin, cette stratégie de prospection permet la réalisation de 0.25 à 0.35 km² de terrain par jour. Il faudra environ 20 jours à Maxime pour compléter la cartographie des 7.7 km² restant après notre départ du site.

La carte de la figure 4 situent les prospections réalisées au 14 mai.

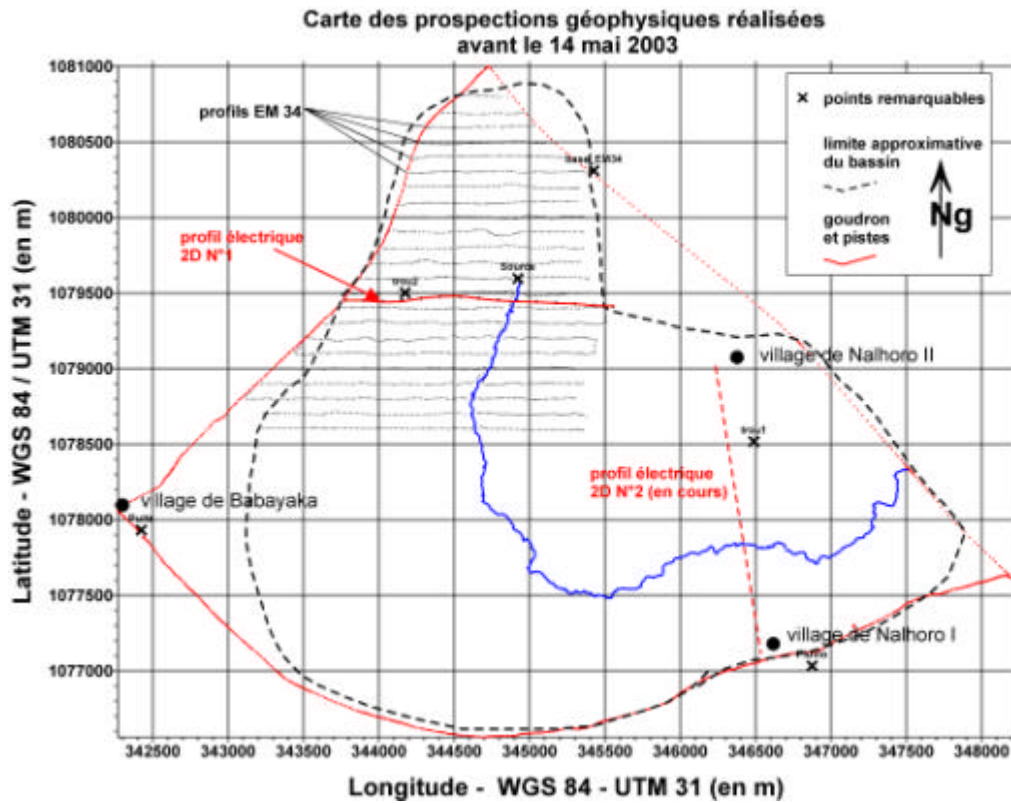


Figure 4. Prospections géophysiques préliminaires réalisées avant le 14 mai 2003

5. Premiers résultats géophysiques

5.1 Profil électrique 2D N°1.

L'inversion (conduite avec des paramètres de calcul « moyens ») nous donne la coupe présentée sur la figure 5.

**Electrique 2D. Résultats de l'inversion préliminaire
du profil de reconnaissance P1 (dispositif Wenner alpha, écartement électrodes
4 mètres, avec correction topographique)**

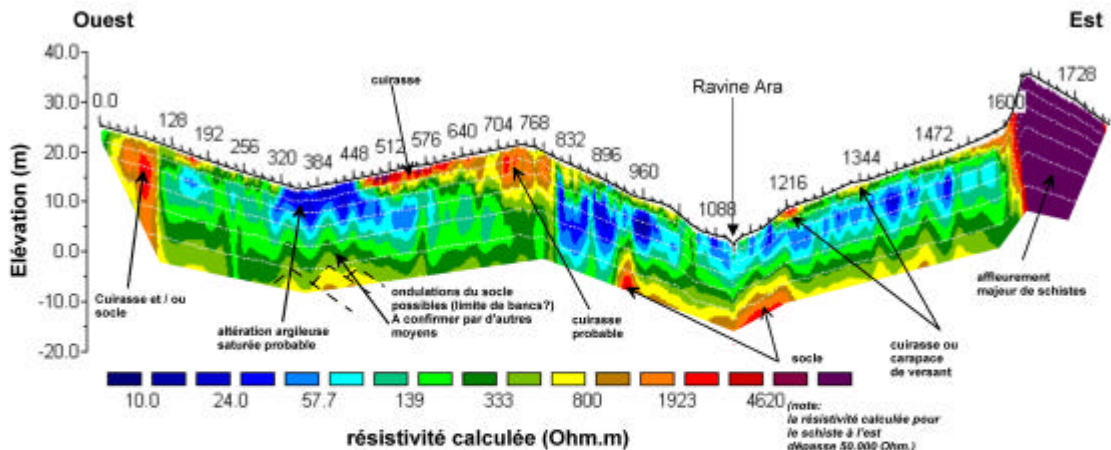


Figure 5.

Pour une première lecture de ce profil, il faut savoir que la résistivité est d'autant plus élevée que la roche est saine, ou que le terrain est sec. D'autre part, cette représentation en iso-contour n'est pas le reflet exact du calcul, qui est à base d'éléments finis. Néanmoins, on peut décrire cette coupe sommairement pour l'instant, de l'Ouest à l'Est :

- A l'extrême Ouest, sur le plateau où passe la piste du nord, le sous-sol est très résistant. Cet élément résistant semble bien s'enraciner profondément. La présence de cuirasse affleurante, ainsi qu'une reconnaissance visuelle et très approximative des parois du puits de Babayaka à 1 km au sud-ouest montre une épaisseur de cuirasse supérieure à 10 mètres. Cet ensemble constitue probablement soit une cuirasse épaisse, soit une cuirasse épaisse et un socle très proche de la cuirasse, sans zone d'altération, soit enfin une cuirasse peu épaisse et un socle proche. Nous tenterons de trancher entre ces hypothèses.
- Entre 128 et 320 mètres, on note la présence de petits bancs cuirassés en surface. Il laisse la place en profondeur à une zone d'altérite dont la résistivité varie entre 30 et 300 Ohm.m. Dans cette gamme, tout peut être imaginé : argiles saturées (20-40 Ohm.m), terrains sableux avec eau d'imbibition assez conductrice (20- 100 Ohm.m, mais connaissant la conductivité faible des eaux souterraines extraites du puits de Babayaka, 13.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$, cela semble peu probable), terrains sableux avec eau peu minéralisée (gamme 100-300 Ohm.m). Ces terrains sont épais, plus de 15-20 mètres.
- Entre 320 et 448 mètres : en surface, l'altérite affleure. Elle est conductrice et donc argileuse. Le repérage à proximité d'un trou villageois où la nappe affleure montre qu'elle est saturée. Un prélèvement d'eau pourrait nous renseigner sur la conductivité

des eaux dans cette zone. En profondeur, à 20 mètres, des ondulations d'un terrain plus résistant apparaissent. Même si l'interprétation 2D peut être erronée à cette profondeur, on peut néanmoins émettre l'hypothèse d'un pointement de socle à cet endroit. Les ondulations pourraient, si elles se confirment, être le témoin des limites des bancs de schistes de nature et/ou de dureté différentes.

- De 448 à 780 mètres : une cuirasse apparaît en surface, confirmée par de nombreux affleurements et l'épaulement de la topographie. Elle s'épaissit considérablement vers $X = 710$ m (environ 10 mètres). Le socle disparaît au-delà de l'interprétation possible. L'altérite située sous la cuirasse est assez résistante dans l'ensemble et témoignerait de terrains plutôt sableux, probablement saturés puisque leur résistivité ne dépasse pas 300 Ohm.m.
- De 780 à 950 mètres : la cuirasse disparaît de place en place. L'altérite devient franchement conductrice (plus argileuse ?)
- De 950 à 1210 mètres : l'altérite reste conductrice, épaisse, (10-20 mètres). Des pointements de socle apparaissent pour se généraliser au droit de la ravine Ara à faible profondeur (moins de 15 mètres).
- De 1210 à 1600 mètres : Quelques reliquats de cuirasse se distinguent de loin en loin, surmontant une altérite qui reste assez conductrice organisée en « poches » et on retrouve la présence probable du socle à environ 20 mètres de profondeur. Cette profondeur est, je le rappelle, encore incertaine à cause des équivalences possibles dans les modèles de calcul. Réduire cette incertitude sera un vrai travail de modélisation, mais aussi probablement d'acquisition de données plus complètes à l'avenir.
- De 1600 à 1800 mètres : le profil traverse la structure Nord-sud. Les résistivités calculées atteignent plus de 50.000 Ohm.m, et témoignent d'une structure massive, peu altérée et probablement assez « sèche », ce qui n'aurait rien d'étonnant si on considère un ruissellement probablement important sur le toit des couches à l'Est. Des essais de mesures électriques sur affleurement seront probablement faites pour connaître l'anisotropie électrique de ce substrat rocheux.

En conclusion, l'approche en coupe électrique 2D fournit les premières clefs de compréhension de l'organisation des couvertures de ce bassin. Des zones cuirassées, parfois épaisses (10 m), sont entaillées par l'érosion. L'altérite sous-jacente semble de nature variable (argiles à sables selon les endroits) et probablement entièrement saturée. Le socle sain est peut-être proche de la surface à l'Ouest, reste enfoui à plus de 10-15 mètres, voire plus profondément, sur toute la longueur du profil sauf peut-être au droit de la ravine. Il affleure bien sûr à l'Est.

5.2 Cartographie électromagnétique EM34

La figure 6 présente la carte des conductivités EM34. La figure 7 est un zoom de la figure 6. On parle en effet plus communément de conductivité lorsqu'on donne des résultats d'électromagnétisme. La raison est que ces méthodes sont inductives, et ne fonctionnent bien qu'en terrain conducteur. Pour lire ces cartes et ne pas perdre le lecteur, j'ai inversé le code des couleurs de manière à faire apparaître les zones conductrices en

bleu (fortes valeurs de conductivité) et les résistantes en rouge, comme sur l'image de résistivité de la figure 5.

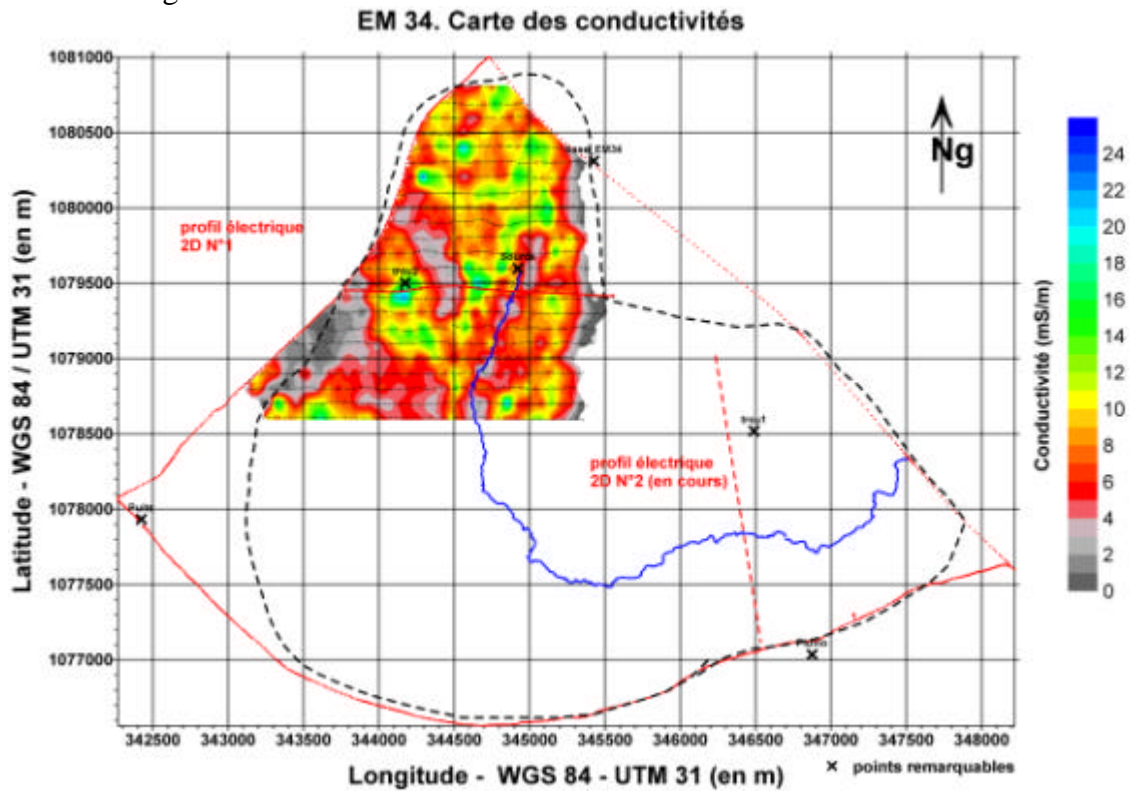


Figure 6. Carte des conductivités EM34.

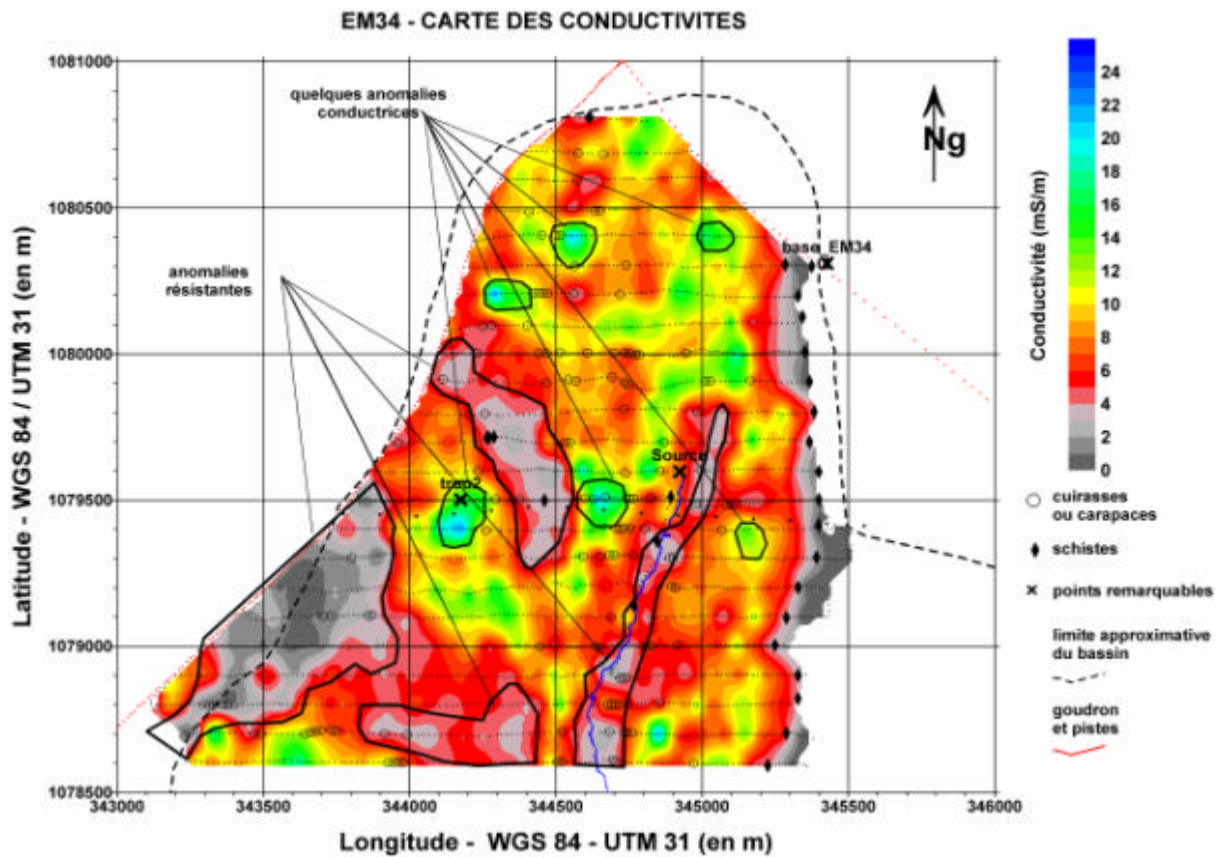


Figure 7. Zoom sur la partie prospectée avant le 14 mai 2003

Une première analyse de cette carte fait apparaître une gamme de conductivité de 0.5 à plus de 25 mS/m, conforme à celle calculée théoriquement à partir des résultats de l'électrique 2D. Cette dynamique est peu étendue, mais autorise une erreur de mesure de +/- 0.5 mS/m en routine. Cette gamme se situe aussi dans une décade de conductivité faible, peu favorable aux méthodes électromagnétiques. Cependant, la résolution de notre appareillage est excellente. D'autre part, nous avons établi une base fixe, dont la conductivité ne variera pas pendant toute la saison, sur l'affleurement de roche recoupé par la route : Un retour quotidien à cette base permet de s'assurer du bon fonctionnement de l'appareil et de corriger d'éventuelles dérives instrumentales.

La numérisation du terrain me paraît pour l'instant optimale : les petites anomalies conductrices sont définies sur quelques points seulement. Le pas de mesure de 15-17 mètres initialement retenu entre les mesures a cependant été augmenté à 20-22 mètres pour les prochains profils. L'espacement des profils est plus difficile à valider. L'idéal aurait été de faire des profils tous les 50 ou 75 mètres. Nous avons jugé que, puisque les anomalies majeures se rejoignent bien latéralement du nord au sud, 100 m restait acceptable à notre échelle de prospection. Il est aussi difficile de juger de la pertinence des orientations est – ouest des profils dans certaines zones. Connaissant la tendance généralisée de la géologie, nous avons préféré maintenir cette orientation pour toute la carte.

- L'ensemble de la carte laisse apparaître une organisation complexe. Des anomalies conductrices se répartissent en «poches» isolées les unes des autres. De vastes zones résistantes se dégagent à l'ouest et à l'aplomb de la ravine Ara, confirmant ici la présence du socle proche détecté en profil électrique.
- L'interprétation quantitative de cette carte n'est pas facile. Ce n'est pas forcément une carte des pointements du socle. Ni celle des cuirasses. Mais probablement un peu des deux. En effet, plusieurs modèles électriques peuvent donner la même valeur de conductivité EM34. Il est par conséquent impossible de distinguer par exemple une zone à cuirasse épaisse d'une zone où le socle serait très proche...En revanche, cette carte nous apparaît comme extrêmement intéressante pour étendre latéralement d'autres observations (géophysiques ou autres). Mais il faudrait cependant tenter de quantifier les anomalies principales. En conséquence, nous avons choisi comme sujet de stage de Maxime une évaluation des dispositifs qu'il faudra mettre en œuvre ponctuellement (en EM34, en électrique) pour interpréter cette carte de la meilleure façon possible.
- La figure 8 présente la carte EM34 drapée sur la topographie. Si on souligne les ravines intermittentes, on a le sentiment qu'elles suivent bien les zones de fortes conductivités. Ces ravines seraient donc aussi un guide d'interprétation évident : favorisent-elles les infiltrations ? Se mettent-elles en place dans des zones où l'altérité est plus argileuse ? L'exception majeure est la ravine Ara, qui suit une zone résistante. Le repérage de nombreux affleurements de schistes et la présence de blocs de quartz confirme la nature de cet alignement résistant N20°.

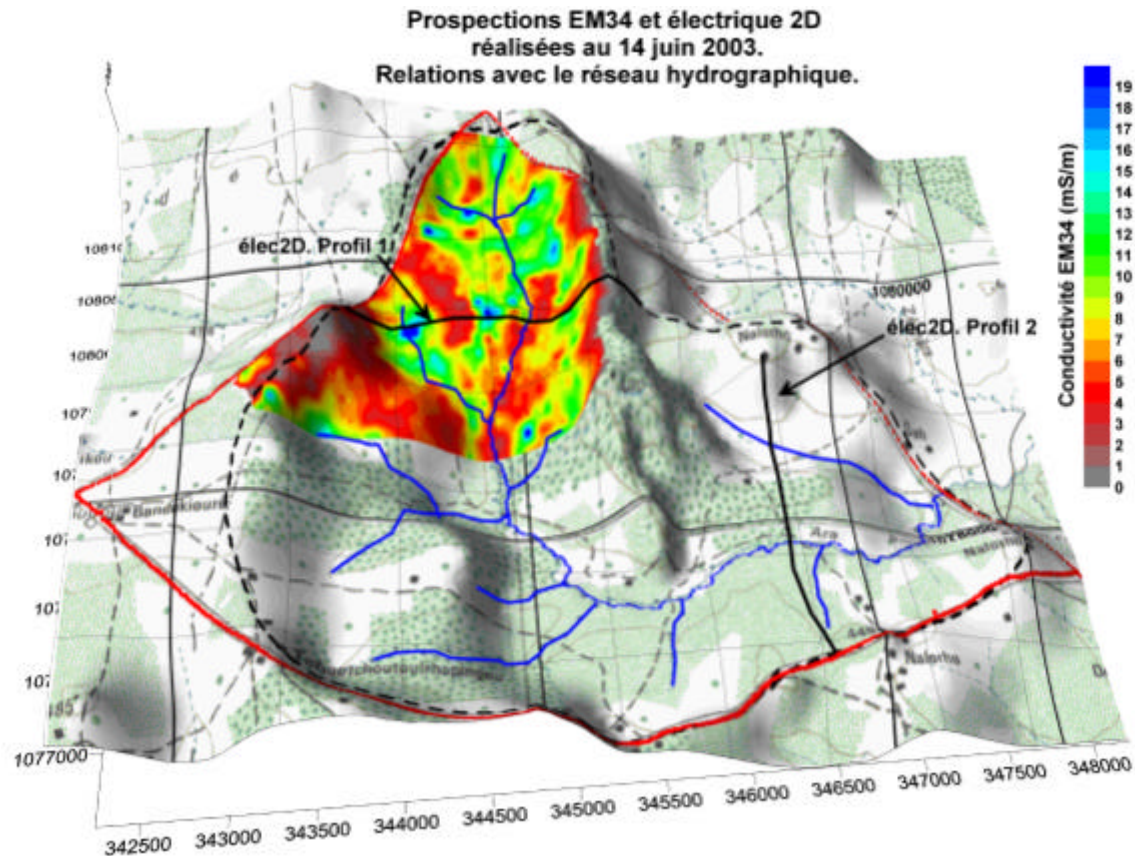


Figure 8. Carte électromagnétique EM 34 drapée sur la topographie. Corrélations avec le tracé des ravines.

En conclusion, j'ai jugé que cette carte EM34 devait être poursuivie sur l'ensemble du bassin. C'est un gros travail, qui sera mené à terme par Maxime. Cette carte devrait permettre la localisation des autres mesures géophysiques. Il sera probablement possible de définir le tracé des futurs profils électriques 2D, des zones de cartographie EM fines avec plusieurs écartements destinées à suivre les variations de la conductivité des sols sur la saison ou lors d'un événement isolé.

6. Définition du sujet de stage de Maxime

En premier lieu, il s'agit pour lui, une fois la cartographie EM 34 terminée, de modéliser les réponses théoriques des configurations EM34 possibles pour savoir si elles pourraient aider à l'interprétation de la carte (discrimination des zones de cuirasses épaisses, pointements de socle, altérites épaisses). Des simulations de variations de conductivité saisonnière pourront nous indiquer si un suivi temporel sera possible. Il tentera des mesures sur affleurements.

Dans un second temps, une zone plus réduite sera choisie en concertation avec nos collègues de Montpellier. Elle sera cartographiée plusieurs fois pour tenter une approche en suivi temporel. Des fosses pourraient être creusées en certains endroits de cette zone pour vérifications.

Je tiens cependant à dire que plus la saison avancera, plus les conditions de prospection vont se dégrader (hauteur de l'herbe, etc..). Il s'agira donc aussi de choisir une zone encore facilement accessible...

7. Conclusions.

D'un point de vue géophysique, ce terrain se révèle très intéressant par sa complexité d'organisation (géologie complexe, présence de cuirasses et carapaces enfouies, nappe assez proche semble-t-il). Pour l'instant, je tire un bilan positif de cette opération en cours.

En considérant les questions posées en introduction, je donne un premier avis sur les réponses géophysiques qui me paraissent possibles à la suite de cette première mission de reconnaissance, sans anticiper sur le travail de Maxime qui enrichira certains points.

- Quelle est la géométrie du socle ?

Elle semble complexe. C'est probablement les profils électriques 2D qui nous renseigneront le mieux. Si une interprétation plus quantitative de la carte EM est possible (sujet de Maxime), il devrait être possible de dresser une vue d'ensemble des ondulations du socle.

- Où se situent les nappes phréatiques ?

Sur ce point, les résistivités mesurées ou calculées ne nous renseigneront pas de façon précise. Mais on peut déjà dire que la gamme de résistivité est large et suppose une variation de nature des altérites de place en place en faisant l'hypothèse que la conductivité de l'eau des nappes reste relativement uniforme. Nous devons confirmer cette hypothèse. Ce sont surtout des investigations (tarière) qui nous renseigneront le mieux puisque j'ai constaté la présence quasi-affleurante de la nappe en quelques points. Ceci dit, il est impossible à l'heure actuelle de dire s'il s'agit de nappe perchée ou non. Pour séparer un éventuel système aquifère «bi-couche», il est probable que la méthode RMP sera plus performante.

- Quelles sont les zones d'altération d'épaisseur importantes ?

Elles ressortent à priori très bien sur la carte EM. Il s'agira d'identifier leur nature par trous à la tarière ou fosses.

- Y-a-t-il des accidents (failles, filons) pouvant guider les écoulements souterrains ?

Ces accidents ne se distingueraient pas aisément par des méthodes de résistivité seules. Il faudra employer d'autres méthodes à mon avis (magnétisme, sismique, PS par exemple)

- Quelles sont les zones préférentielles d'infiltration, de percolation ?

Pour l'instant, je n'ai pas de réponse géophysique sur ce sujet : il faut attendre les simulations de variation de résistivité pour savoir si un suivi temporel sera pertinent pour les localiser.

- Quelle est la nature des formations superficielles ?

Les profils géophysiques EM permettent une reconnaissance grossière des affleurements de cuirasse. Il sera possible de faire une carte de ces affleurements. Pour les autres états de surface, les sols semblent bien être assez sableux, parfois argileux. Pourra-t-on disposer

d'image satellite à haute définition sur cette zone ? Une reconnaissance par photos aériennes couleur en saison sèche pourrait aussi être extrêmement utile. La carte EM 34 situera cependant les principales unités de sol et les endroits clés à reconnaître par fosses. Enfin, il me semble impératif de lancer une opération de topographie fine sur ce bassin à l'aide d'un GPS différentiel. Cela constituera une base solide pour un SIG.

➤ Quel est leur comportement hydrogéologique (perméabilité, etc.) ?

Je m'interroge sur le rôle des cuirasses, de la schistosité du socle sur les flux souterrains. Des mesures RMP pourraient évaluer la perméabilité hydraulique de ces formations.

Je souhaite évidemment qu'un dialogue s'instaure entre nous à la vue de ces premiers résultats.

D'un point de vue financier, les opérations du 5 au 15 mai ont été conformes aux prévisions. Il est nécessaire que Maxime puisse disposer de l'argent nécessaire à l'embauche des manœuvres pendant les opérations de terrain (salaires «élevés» de 1500 f/cfa par jour en raison de la difficulté à trouver des hommes qui ne travaillent pas aux champs à cette époque). Je ferai un bilan financier détaillé et prévisionnel ultérieurement. Maxime se révèle à la hauteur et je souhaite vivement qu'il soit encouragé de tous côtés.

Toute l'équipe se joint à moi pour remercier vivement Jean Michel Bouchez pour son accueil chaleureux à Djougou.