Water resources management in Chad

Olivier Senegas – UNITAR/UNOSAT

GEOSPATIAL World Forum
Geneva, 8 May 2014

Objectives

Better know to better manage water resources

1- Improving knowledge of water resources

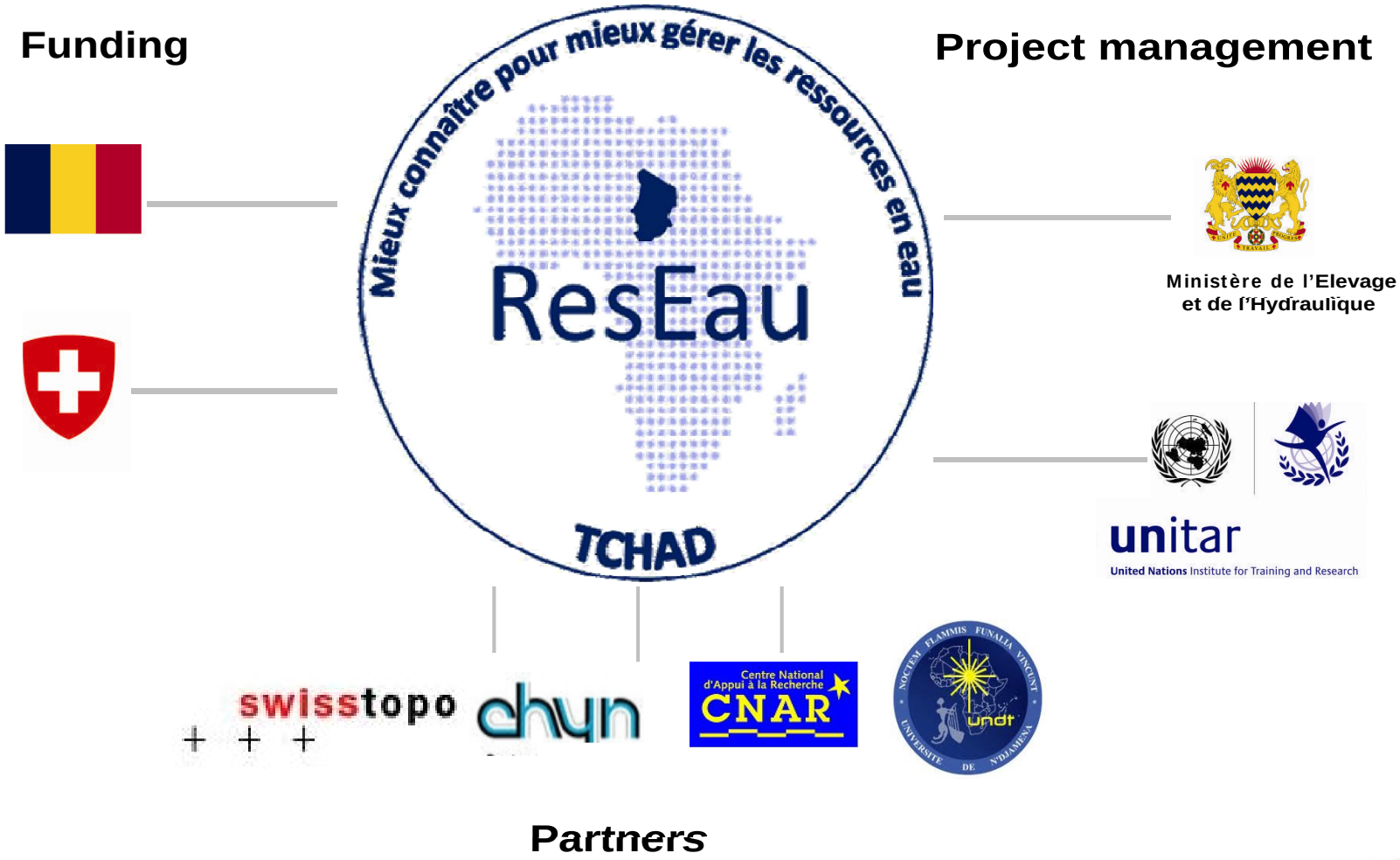
Data Collection & Produc

2- Capacity building

National and Ministerial levels

3- Data Sharing & Dissemination

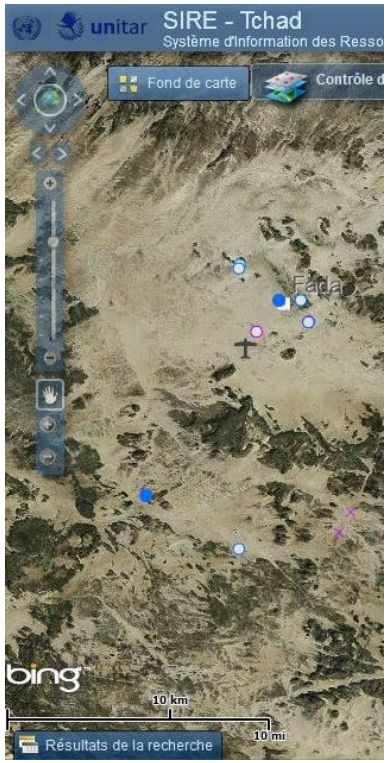
Actors



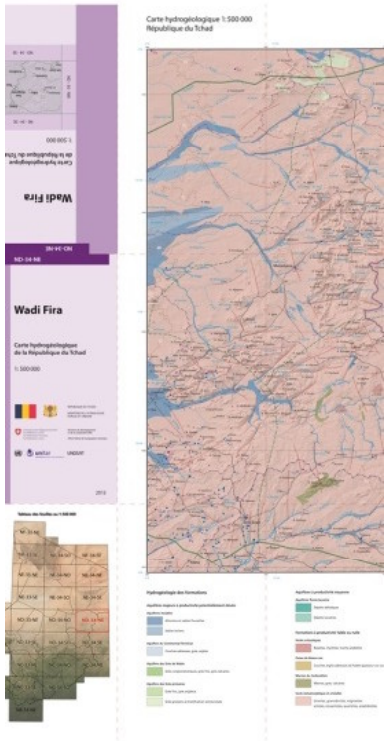
Tools

Knowledge development

SIRE / Water GIS



Hydrogeological maps



Capacity building

Master HydroSIG
UNOSAT trainings

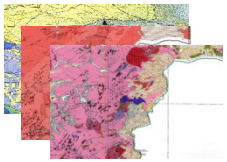
Data sharing

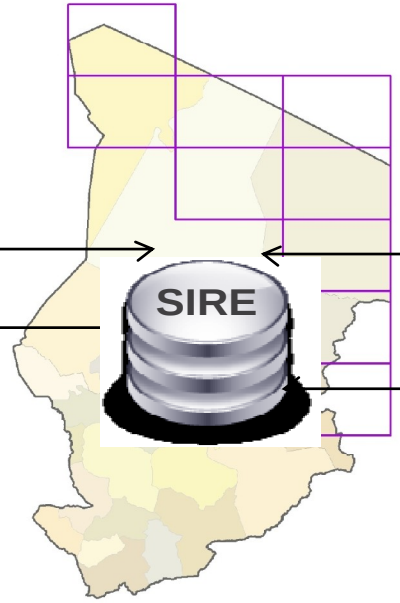
Documentation center
Web Portal

SIRE
water resources information system

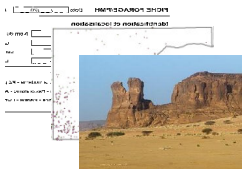
~400 Water/Geology related articles

~600 Thematic and topographic maps

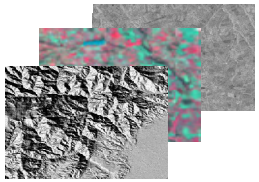




Field data
water analysis, geology, SITEAU well/borehole database

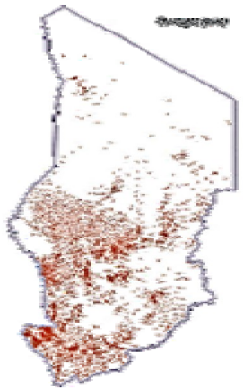


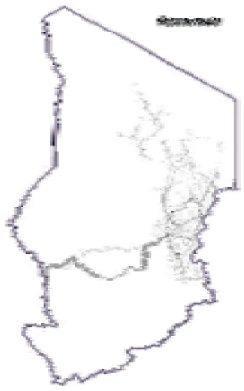
~600 Satellite images

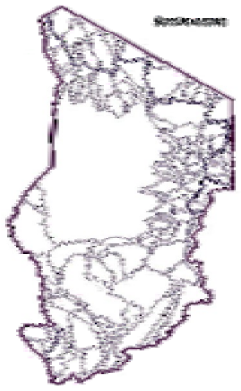


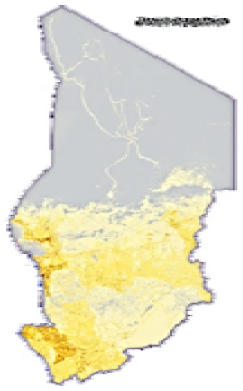
Weaknesses of data collection

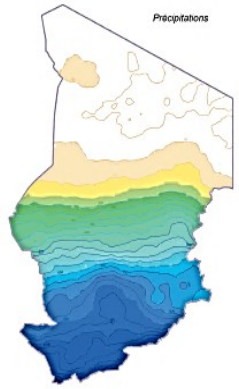
Catalogue SIRE (extract)

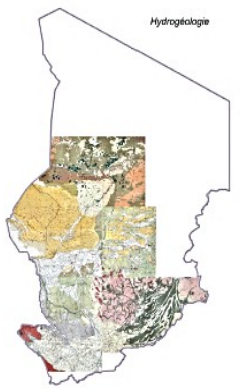


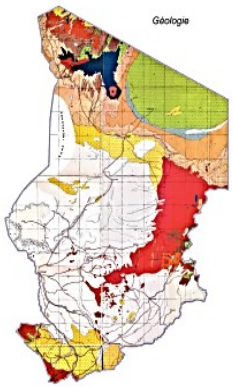


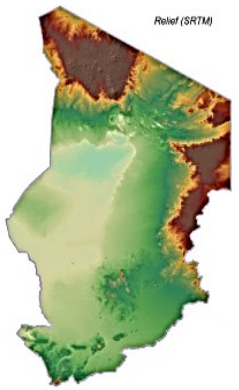












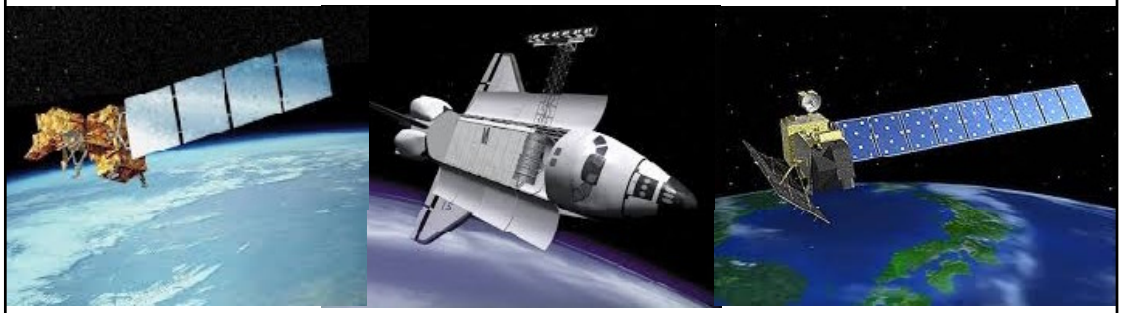
New data acquisition

Field work

+ Field data

+ Punctual data

Remote sensing tools



Optical

+ Geology, Landcover

RADAR+ DEM

+ Structure, Moisture, Faults, Morphology

=

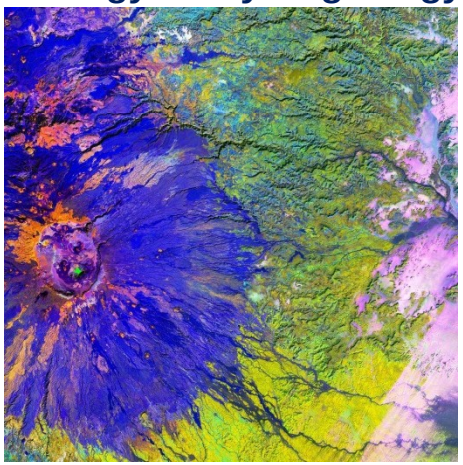
SIRE consolidation

Knowledge development

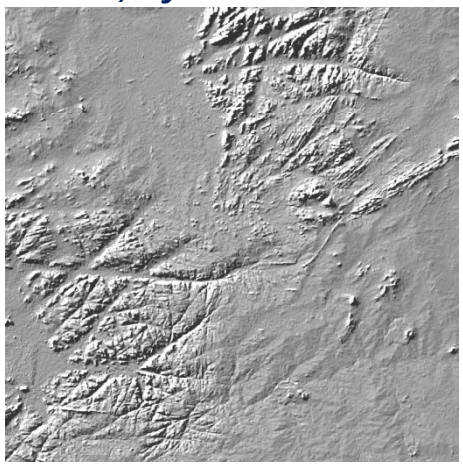
Scientific field missions

Satellite value added information

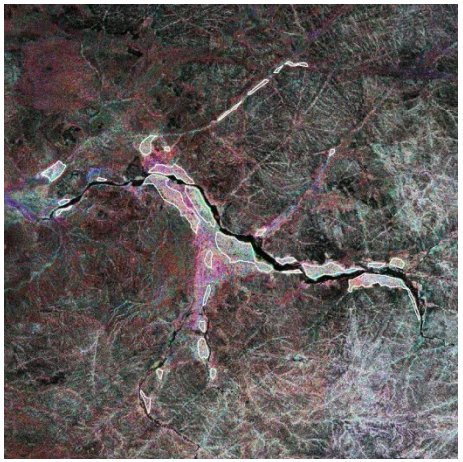
Geology -> Hydrogeology

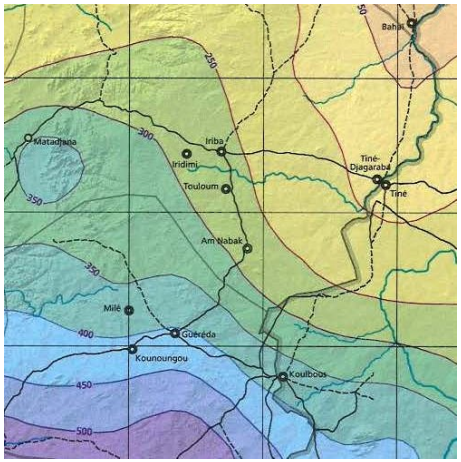


Faults, dykes

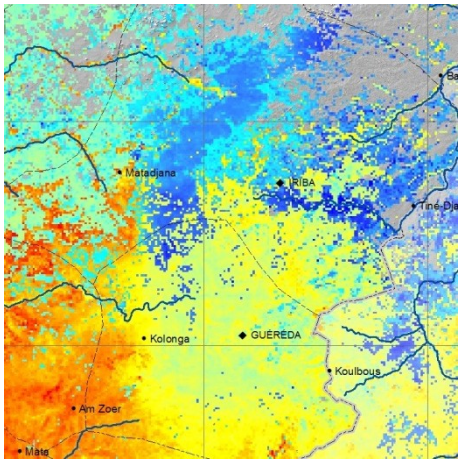


Soil moisture

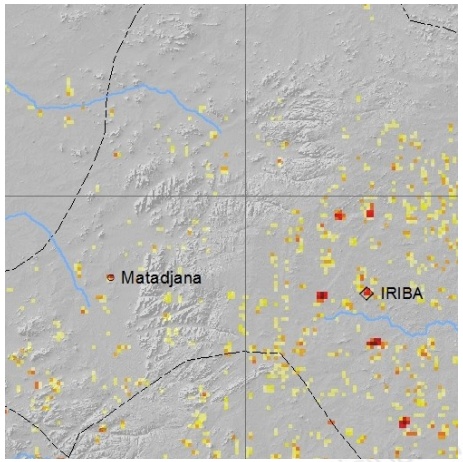




Rainfalls



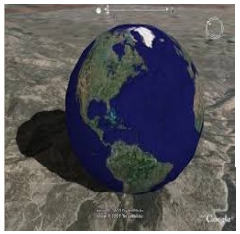
Evapotranspiration



Places and population

Satellite image acquisitions

Google Earth



BING

150 ASTER

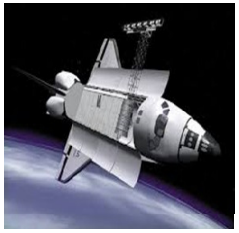
3 VNIR, 5 SWIR, 5 TIR
Resolution: 15 to 90 m
Size: 60x60km
Low cost

> 61 LANDSAT-7

4 VNIR, 2 SWIR, 1 TIR
Resolution: 30 m
Size: 185 x185 km
Free

> 61 LANDSAT-8

4 VNIR, 2 SWIR, 1 TIR
Resolution: 30 m
Size: 185 x185 km
Free



SRTM

Resolution: 90 m
Free

400 ASAR

C (~5 GHz)
Resolution: 30 m
Scene : 100x100 km
Low cost

50 ALOS/ PALSAR

L (~1.5 GHz)
Resolution: 24 m
Scene: 40x70 km
Low cost

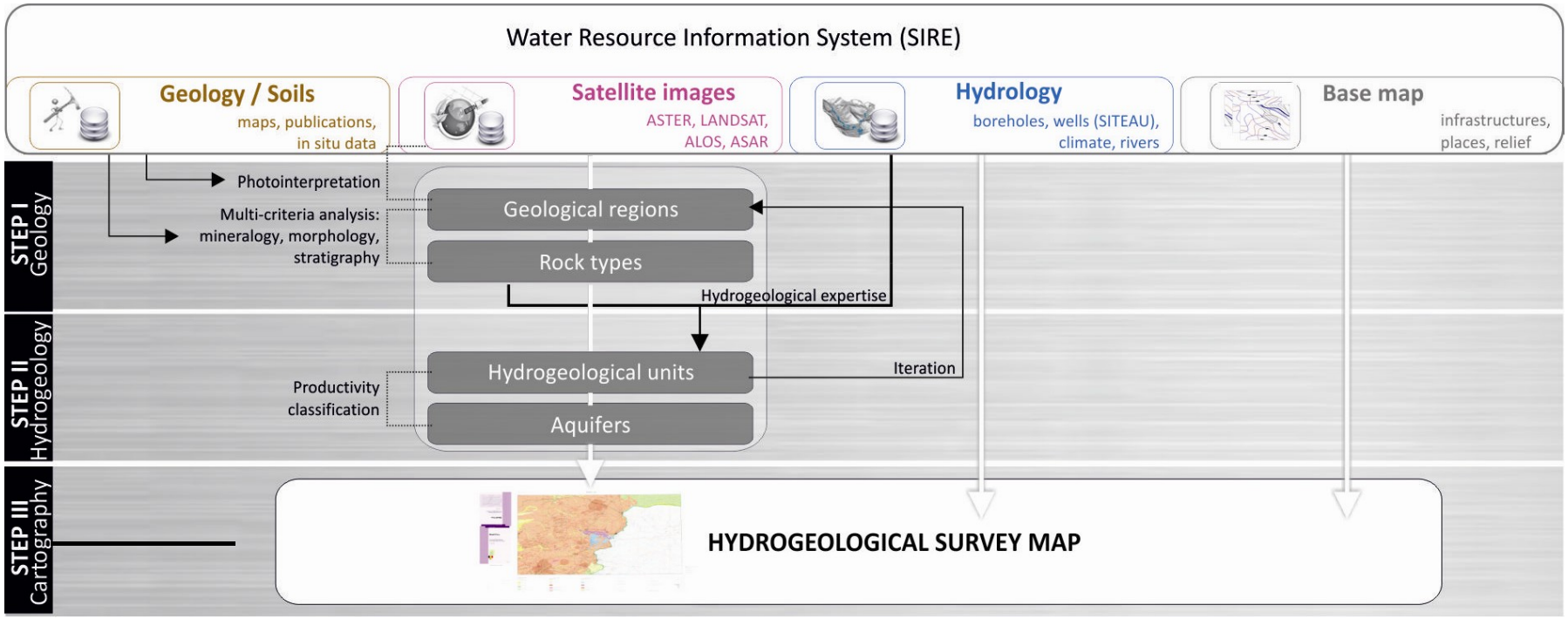
Satellite sensors chosen because of

- **low cost**
- **appropriate spatial resolution for 500'000 or 200'000 mapping**
- **spectral diversity (VNIR, SWIR, TIR, HF)**

= Exhaustive database to support hydrogeological mapping

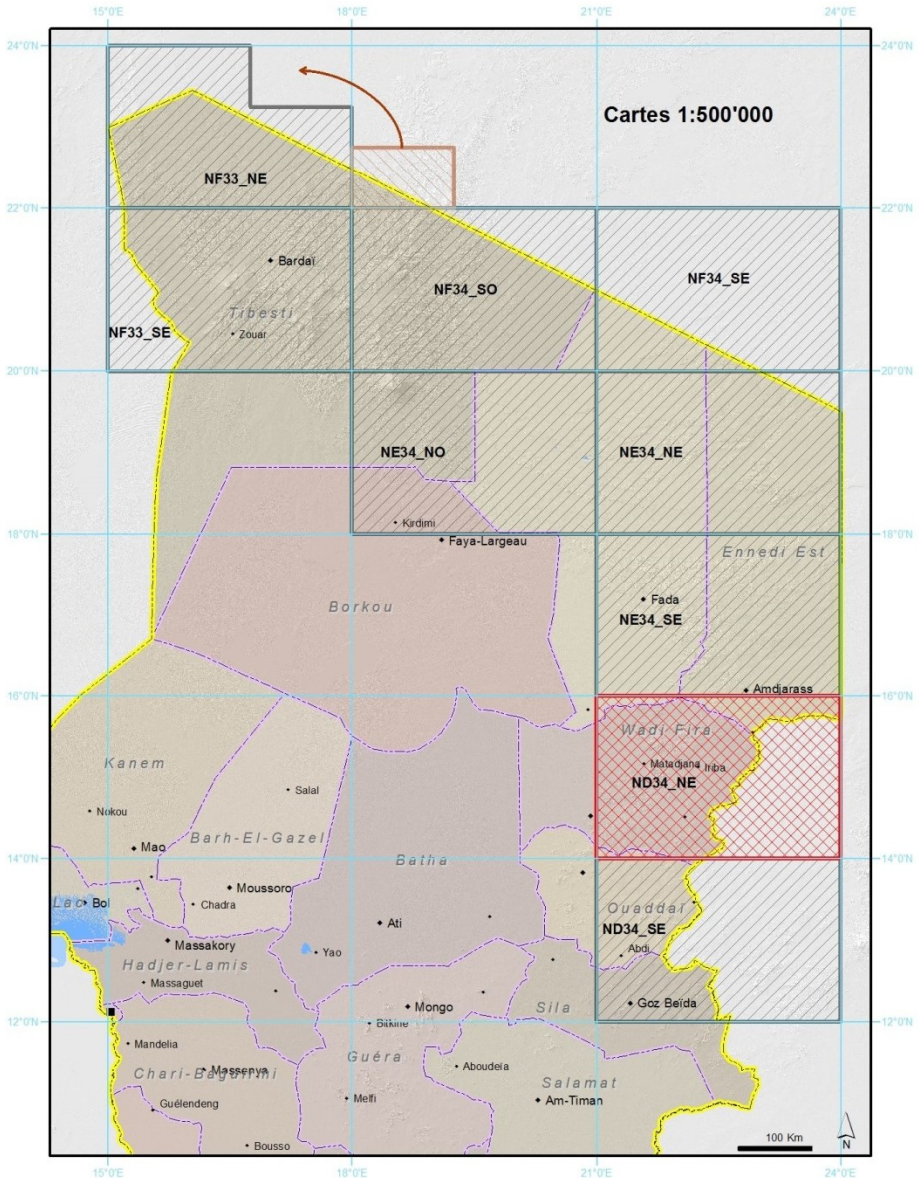
Methodology

From satellite imagery to hydrogeological maps

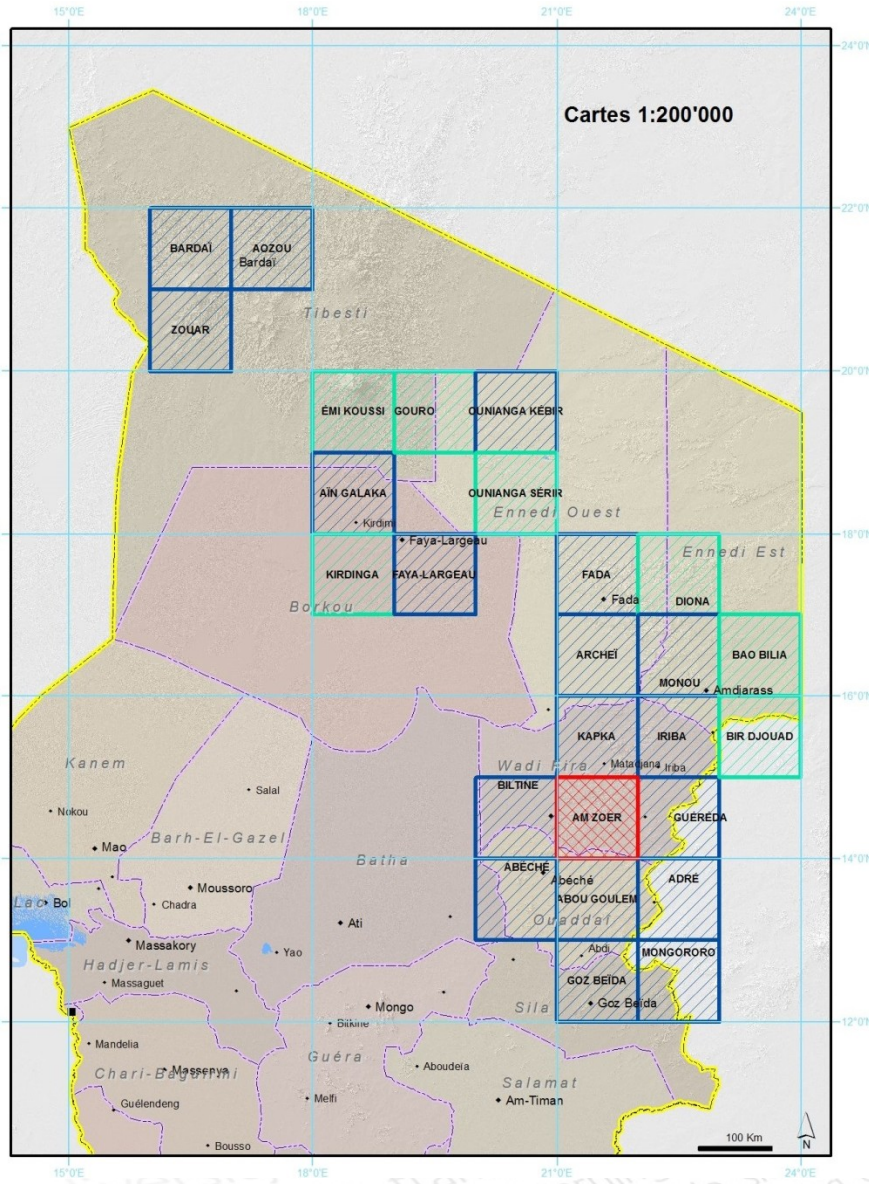


Hydrogeological maps

1:500’000



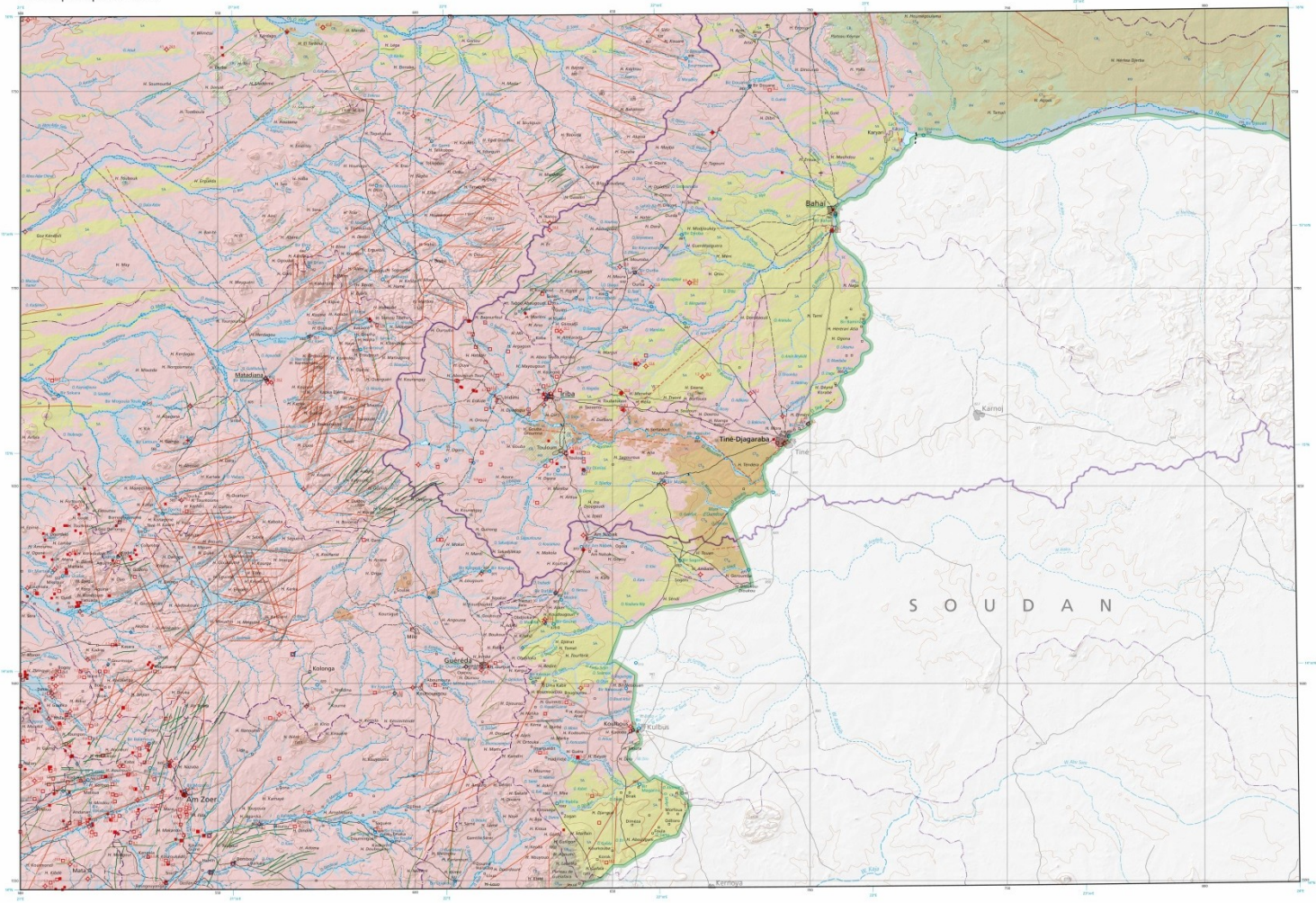
1:200’000



Carte hydrogéologique
de reconnaissance au 1:500000
de la République du Tchad

Wadi Fira

Feuille ND-34-NE



Projection:
Mercator Transverse Universelle (MTU / UTM)
(Coordonnées en nuit en km)

Fuseau 34
Po = 0° (équateur)
Mo = 21° Est du Méridien International

Datum géodésique:
WGS84

Navigation: WGS84
(Coordonnées géographiques en amorce en bleu)

Déclinaison magnétique:
2° 14' 46"
Modification annuelle: +6' E
(Déclinaison calculée sur la base
du modèle IGRF-11)

Référentiel altimétrique:
EGM96 (Earth Gravitational Model 1996)

Produit réalisé par UNITAR et swisstopo
pour le compte de la DDC et du MHRU.
©DDC, MHRU 2014

Hydrogéologie des formations

Aquifères majeurs à productivité potentiellement élevée

Aquifère de couverture
- Alluvions et sables fluviatiles

Aquifère du Continental de base
- Grès grossiers, friables et sablonneux parfois conglomératiques (Grès inférieurs, Cambrien)

Formations à productivité faible ou nulle

Séries de couverture
- Dépôts éoliens (qco)

Zones volcanique
- Basaltes

Continental terminal
- Couches sableuses, grès et argiles en situation de biseau sec ou lambeaux

Continental de base
- Grès fins argileux (Série moyenne, Ordovicicien-Silurien)
  Série hétérogène à passées conglomératiques (Eilitien)
- Grès grossiers, friables et sablonneux parfois conglomératiques (Grès inférieurs, Cambrien) en situation désertique

Socle métamorphique et cristallin
- Migmatites et gneiss, schistes variés, quartzites et marbres recoupés par des granites

Couches de couverture
- Evaporites
- Sables éoliens

Structures jouant un rôle hydrogéologique
- Failles
- Failles supposées
- Filons mafiques (dolérites)
- Filons acides (granites, brèches)

Ouvrages
- Source
- Source tarie
- Source aménagée
- Source aménagée tarie
- Puits traditionnel (débit exploitable (m³/h) / niveau statique (m))
- Puits traditionnel sec
- Puits (débit exploitable (m³/h) / niveau statique (m))
- Puits sec
- Forage (débit exploitable (m³/h) / niveau statique (m))
- Forage sec

Points d'eau
- Aïn, source
- Bir, puits traditionnel
- Guelta
- Oglat, zone humide
- Mare
- Source thermale

Qualité de l'eau
- Analyse chimique (détails: voir tableau au verso)
- Anomalie en fluor (>1.5 mg/l, valeur limite)

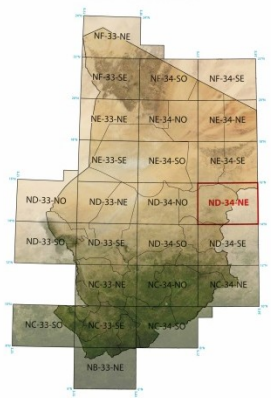
Eaux de surface
- Lac, étang
- Lac, étang (temporaire)
- Lac salé
- Barrage, lac de retenue
- Fleuve, rivière (permanent)
- Ouadi, cours d'eau temporaire (plus de 3 mois par an)
- Ouadi, cours d'eau temporaire (1 mois par an)
- Ouadi, cours d'eau temporaire (1 fois en 3-4 ans)
- Limite du bassin hydrographique du Lac Tchad
- Limite de bassin hydrographique régional
- Limite de sous-bassin hydrographique

1:500000

Equidistance des courbes de niveau: 50 m

Carte de base
- Route principale bitumée
- Route principale non bitumée
- Piste principale
- Piste secondaire
- Aéroport
- Aérodrome
- Ville
- Village important
- Village
- Zone industrielle
- Camp de réfugiés
- N'Djamena — Capitale
- Biltine — Chef-lieu de région
- Iriba — Chef-lieu de département
- Limite d'Etat
- Courbe de niveau (50 m)
- Courbe directrice (500 m)

Tableau des feuilles au 1:500 000



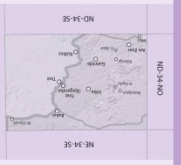
2014

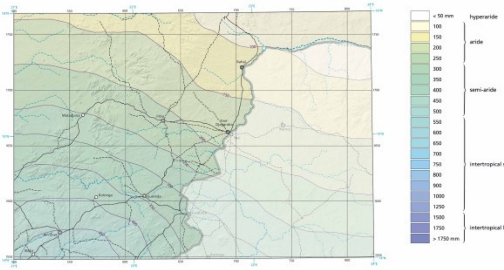
Wadi Fira

Carte hydrogéologique
de reconnaissance
de la République du Tchad

1:500000

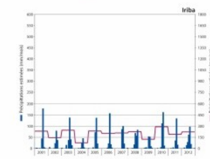
ND-34-NE





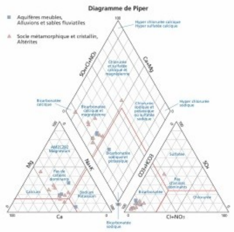
Précipitations annuelles estimées (2001-2012)

Les isohyètes de précipitations (en mm/an) sont estimés à partir du modèle de données Rainfall Estimate (RFE). Il s'agit d'une moyenne annuelle sur la période 2001-2012, calculée à partir de grilles décadaires de 8 km de résolution (produit RFE 2.0).
Les estimations RFE 2.0 se basent sur des acquisitions en mode infrarouge avec le satellite METEOSAT 7 en utilisant la persistance des nuages froids (CCD) auxquelles s'ajoutent des mesures d'instruments micro-onde, tels que le Special Sensor Microwave/Imager (SSM/I) et l'Advanced Microwave Sounding Unit (AMSU). Les données RFE 2.0 sont calibrées avec un réseau de stations au sol équipées de pluviographes.
Le climatogramme représente une reconstitution de données mensuelles et annuelles de précipitations sur la période de référence pour la ville d'Iriba. La pluviométrie y est généralement inférieure à 300 mm/an, avec une grande variabilité interannuelle des chutes de pluies, typique d'un climat aride. Lors des années sèches, la précipitation efficace sera insignifiante et la recharge des nappes nulle.



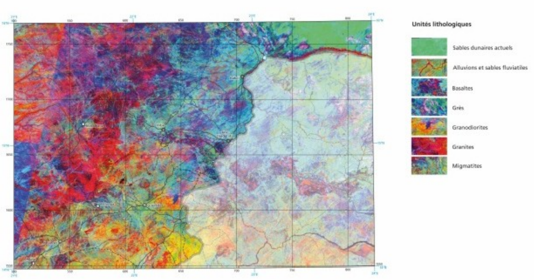
Qualité et chimie des eaux

L'appréciation de l'état chimique des eaux souterraines se base sur les valeurs de conductivité (en µS/cm) et les éléments naturels présents dans les eaux de puits et forages. Le diagramme ternaire de Piper informe sur les faciès chimiques tandis que la table donne la composition chimique d'eaux représentatives, l'un et l'autre selon les unités hydrogéologiques présentes sur le territoire. Le fluor, qui peut représenter une menace pour la santé (valeur limite = 1.5 mg/l) est reporté sur la carte hydrogéologique de reconnaissance. Les données utilisées sont les analyses de laboratoire présentes dans la base SITEAU et les mesures in situ effectuées lors d'importants projets d'hydraulique villageoise et pastorale et lors d'études liées à l'approvisionnement en eau des camps de réfugiés.



Données hydrochimiques de Schneider et Wolff (1992)

No Réf.	Point d'eau	Carte 1:200000	Aquifère	Niveau statique	Conductivité	Résidu sec calculé	Ca++	Mg++	Na+	K+	Cl-	SO4--	HCO3-	Qualité chimique	Date analyse
				m	µS/cm (25°C)	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	norme OMS	
1	Anbourkoul	Am Zoer	Altérites	10.5	390	280	41	8	46	4	7.1	8	258.6	1ère	1969
2	Angourai	Am Zoer	Altérites	5.5	405	290	47	28	10	2	8.5	7	269.6	1ère	1969
3	Djimezi	Am Zoer	Altérites	13.5	490	360	49	8	67	4	17.7	33.3	272	1ère	1969
4	Djounga	Am Zoer	Altérites	11.5	750	540	81	32	64	15	48.3	45	446.5	2ème	1969
5	Guinda	Am Zoer	Altérites	11	640	460	61	19	89	2	24.8	26.7	326.9	1ère	1969
6	Kondorong	Am Zoer	Altérites	16.5	560	410	60	16	67	3	15.6	12	329.4	1ère	1969
7	Maniakoul	Am Zoer	Alluvions	5	670	480	53	6	119	4	32.6	31	375.7	1ère	1969
8	Natika	Am Zoer	Alluvions	13	120	90	9	3	9	5	2.15	8.5	67.1	1ère	1969
9	Lima	Guéréda	Alluvions	5.5	120	90	9	7	11	11	3.6	7	74.4	1ère	1969
10	Ogoune	Guéréda	Altérites	12	270	200	26	7	29	2	6.4	7	167	1ère	1969
11	Ouadi Gourat	Guéréda	Alluvions	7.5	290	210	31	10	19	3	5.7	12	141.5	1ère	1969
12	Tong	Guéréda	Altérites	19	630	450	60	27	46	6	22.7	18.5	383.1	1ère	1969
13	Tous Korangay	Guéréda	Altérites	12	430	312	26	11	43	6	28.4	94	115.9	1ère	1969



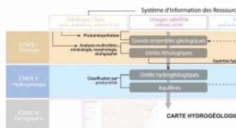
Images satellite et géologie

La mosaïque d'images LANDSAT 7 est affichée en composition colorée dite de Sultan, produit élaboré à partir de ratios de bandes spectrales $(R;V;B)=(5/7; 5/1; 5/4 \times 3/4)$.
Cet algorithme, couplé à des critères contextuels (stratigraphie, recoupement, voisinage) permet une interprétation générale de la géologie en zone aride, dans des régions où l'information est particulièrement lacunaire. Les trois ratios discriminants reflètent la composition minéralogique et l'altération superficielle des lithologies. La clé d'interprétation illustrant la teinte et la texture des principales unités du territoire a été établie à partir des travaux cartographiques existants et validée par des observations de terrain.

CONCEPTION GÉNÉRALE DE LA CARTE

Les ressources en eau des régions Nord, Nord-Est et Est du Tchad sont peu connues. Seuls les travaux d'adduction en eau potable de quelques agglomérations et des puits à usage domestique, d'irrigation ou d'élevage dispersés dans cette vaste zone permettent d'en connaître de façon succincte l'existence. Dans ce contexte, les autorités tchadiennes ont lancé, en partenariat avec la Coopération suisse, le programme RésEAU, dont l'un des principaux résultats est le développement d'un système d'information sur les ressources en eau (SIRE). Cette carte en est une visualisation sous une forme traditionnelle, qui complète l'établissement d'autres représentations thématiques sur support informatique.
Le programme RésEAU a pour objectif d'améliorer significativement les connaissances sur la nature, l'extension et les potentialités des ressources en eau de ces régions essentiellement désertiques. Il vise à élaborer deux séries de cartes hydrogéologiques. La première, à l'échelle 1:500 000, couvre l'ensemble de la zone par l'assemblage de neuf feuilles contiguës présentant la nature, la localisation et la productivité relative des différents réservoirs aquifères régionaux. La seconde série de cartes, à l'échelle 1:200 000, comporte une quinzaine de feuilles, les unes localisées autour des agglomérations importantes, les autres recouvrant des sites d'importance hydrologique remarquable, et fournit des informations détaillées sur les ressources en eau de ces zones.
Compte tenu des difficultés d'accès à ces régions, deux approches indirectes ont été mises en œuvre : la première, classique, a consisté à reconstituer l'hydrogéologie régionale et locale en la déduisant pour l'essentiel de travaux géologiques préexistants ; la seconde, plus novatrice, a recouru au traitement approfondi de nombreuses données satellitaires, dont le contenu en relation avec l'hydrogéologie régionale a été extrait selon les méthodes les plus récentes.
Les cartes ainsi obtenues offrent une synthèse novatrice de l'hydrogéologie des régions investiguées à une échelle et à un niveau de détails inconnu jusque-là. Malgré leur contenu en partie spéculatif, elles permettront d'évaluer la nature et l'importance des ressources en eau et d'en planifier l'usage et le suivi. Elles devraient faciliter de nouvelles campagnes de prospection et, à terme, augmenter le taux de succès des programmes de mise en exploitation de l'eau souterraine. De même, elles devraient contribuer à une gestion plus efficace des ressources hydriques en mettant en perspective les possibilités de recharge artificielle des nappes souterraines par exemple.

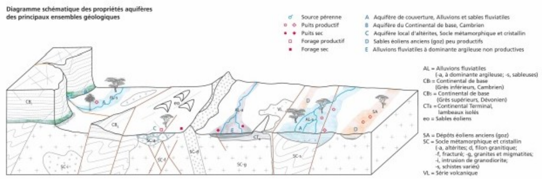
Schéma méthodologique pour l'élaboration des classes d'aquifères et de la carte hydrogéologique de reconnaissance



CONTEXTE RÉGIONAL

La région couverte par la feuille Wadi Fira (ND-34-NE) est située en zone sahélienne tropicale, à climat continental sec, avec une pluviométrie annuelle avoisinant les 450 mm au sud et ne dépassant pas les 150 mm dans la partie septentrionale. La saison des pluies dure généralement de juillet à début septembre, avec des précipitations le plus souvent brèves et intenses.
A proximité des reliefs comme à Iriba et Guéréda (800 à 1000m), la température diurne dépasse les 35°C en mai et juin, avant de légèrement baisser avec la venue des pluies; à altitude équivalente, les températures les plus basses sont d'une quinzaine de degrés en janvier.
La carte comprend six ensembles géologiques dont le potentiel en eau est différencié en classes de productivité. Le socle métamorphique et cristallin d'âge protérozoïque, dans la continuité du Massif du Ouaddaï, en est le principal ensemble. D'un point de vue lithologique, il comprend des migmatites et des gneiss, des schistes variés, des quartzites et des marbres, roches qui ont été fortement plissées et sont recoupées par diverses intrusions de la famille des granites et des filons en essaims. Erodé et pénéplané, le socle est recouvert en discordance par des grès d'âge cambrien, le Continental de base (Kilian, 1931), qui, au nord de la feuille, forme les plateaux du Massif de l'Ennedi et des buttes proches, bordés de falaises. A l'écart de ce massif, la couverture sédimentaire paléozoïque s'exprime très ponctuellement par des lambeaux de grès isolés, dont les niveaux rappellent des séries siluriennes et dévoniennes. Au voisinage du 15ème parallèle, des grès d'âge tertiaire, équivalents au Continental terminal (Kilian, 1931), affleurent au fond d'une dépression et quelques épanchements basaltiques d'âge tertiaire sont localisés en bordure d'une zone d'effondrement (Sonet, 1963). Des alluvions anciennes et récentes, dont la nature est étroitement liée aux roches environnantes et aux conditions hydrologiques, sont plaquées sur le socle, occupant les lits des cours d'eau ou façonnant des terrasses peu étendues. Les dépôts éoliens anciens, bien représentés sur la partie orientale de la feuille, forment des cordons étroits suivant une direction est nord-est. Les dunes actuelles reprennent la même orientation.
Le réseau hydrographique, très actif au Pléistocène supérieur et à l'Holocène lors de périodes humides, n'est plus aujourd'hui qu'un système relique fonctionnant de façon très intermittente. Les écoulements s'amenuisent à l'approche des latitudes désertiques. Les cours d'eau vont à l'ouest se perdre dans la cuvette endoréique du Lac Tchad. Au sud, ils rejoignent le Batha ou le Bahr Azoum. Au nord-est, ils s'écoulent en direction de la frontière soudanaise et convergent vers le Ouadi Howa (ou Wadi Howar), qui autrefois contribuait à l'alimentation du Nil.

Diagramme schématique des propriétés aquifères des principaux ensembles géologiques



Aquifère du Continental de base d'âge cambrien.

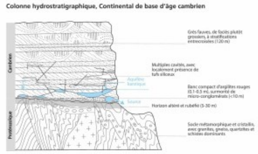
Au nord du Ouadi Howa, à l'endroit où le Massif de l'Ennedi s'estompe, les grès à stratifications entrecroisées du Cambrien reposent sur un socle à prédominance granitique. Au contact, le socle, profondément altéré au cours de processus de pédogenèse, présente un horizon rouge à forte proportion de minéraux argileux, qui agit comme un niveau imperméable. La série sus-jacente de grès moyens à grossiers est remarquable par les très nombreuses fractures ouvertes qui parfois, forment des conduits de taille décamétrique rappelant un système karstique. Cette géométrie permet la circulation rapide le long des conduits de grandes quantités d'eau, qui, s'écoulant au contact socle-grès, forment des sources et gueltas. Le puits de Bir Djouab en est un bon exemple. La zone nord du Ouadi Howa est l'objet d'une importante recharge de l'aquifère gréseux qui se traduit par une végétation importante de forêts-galeries le long des différents bras du cours d'eau. Les analyses chimiques effectuées dans l'Ennedi indiquent que les eaux de Grès primaires sont très peu minéralisées, avec des conductivités comprises entre 60 et 300 µS/cm, suggérant que seules des eaux juvéniles, issues de la recharge par la pluie, circulent dans ce système karstique. Quant aux buttes gréseuses situées à l'écart du plateau du Massif de l'Ennedi, elles sont généralement sèches.

Formations à productivité faible ou nulle

Série de couverture, Dépôts éoliens anciens.

Les formations dunaires anciennes sont constituées de sables hétérogènes résultant de l'érosion et de la sédimentation de matériel d'origine lointaine. Elles apparaissent principalement sous forme de bandes d'orientation ENE-OSO qui ensablent d'anciennes vallées et sont dénommées localement goz. Elles ont un faible potentiel de stockage des eaux pluviales annuelles. Les précipitations les rechargent facilement à travers le sable. Des mares temporaires s'y forment parfois après de fortes averses. Lorsque les précipitations sont suffisantes, ces sédiments sont mis en culture, comme à l'est de Guéréda où l'on y cultive le mil et le sorgho. Plus au nord dans les zones moins arrosées, seule une végétation buissonnante clairsemée peut s'y développer.

Colonne hydrostratigraphique, Continental de base d'âge cambrien



MÉTHODES

La méthodologie utilisée pour produire la carte hydrogéologique a été dictée par la nature et le niveau de connaissances disponibles de la zone à cartographier. Développée principalement à partir d'images satellite et des dernières techniques de traitement d'image, la carte intègre trois méthodologies issues de la géologie, hydrogéologie et cartographie, comme l'illustre le diagramme joint.
Une carte géologique a été établie à l'échelle 1:50 000 lors de la première étape en délimitant par photo-interprétation d'images satellite LANDSAT et ASTER les grands ensembles du territoire, puis en les subdivisant en unités lithologiques à partir de produits dérivés tels que la composition colorée de Sultan et al. (1987), des données exogènes et, très ponctuellement, de vérifications sur le terrain. Sur la base des travaux de Schneider et Wolff (1992), Schneider (2001a, b) et de Kusnir (2005), le substratum rocheux est subdivisé en 21 unités lithologiques selon des critères pétrographiques, alors que les dépôts quaternaires sont séparés en 16 unités lithologiques principalement d'après leur genèse.
Dans une seconde étape, les unités lithologiques sont converties en unités hydrogéologiques selon leur nature (consolidé ou non), leur perméabilité, le type d'aquifère (fissuré, poreux ou karstique).
Elles sont ensuite classées en aquifères selon les informations de productivité des forages et puits. Il n'y a pas d'équivalence linéaire entre unités lithologiques et hydrogéologiques : en effet, des unités lithologiques ayant des propriétés hydrogéologiques similaires sont regroupées, d'autres ont été subdivisées et certaines même écartées, car étant trop superficielles. Cette subdivision permet de séparer pour une même unité lithologique des régions productrices (sables, granites fracturés et altérites, plateaux de grès avec aire de recharge) des régions sèches (argiles, granites sains, buttes de grès isolées). Ce travail d'interprétation a été réalisé par un groupe de géologues et d'hydrogéologues ayant une grande connaissance de la région sahélienne et en se basant sur la littérature scientifique existante.
La troisième étape a consisté à réunir les différentes informations liées aux ressources en eau sur un fonds topographique standard. La carte de reconnaissance hydrogéologique est conçue pour permettre une vue globale de la distribution des aquifères et de leur potentiel tout en représentant symboliquement des ouvrages hydrauliques (puits et forages) représentatifs.
Ces données hydrauliques, qui proviennent principalement de la base SITEAU (MHRU, 2014), ont fait l'objet d'une analyse critique par les auteurs, ce qui a permis l'extraction des informations et des paramètres les plus exacts. Une incertitude résiduelle subsiste pour une partie des données et des valeurs numériques (débit, niveau statique), aucune vérification terrain n'ayant été été conduite depuis la réalisation de l'ouvrage. Les eaux de surface (fleuves, rivières et ouadis) ont été classées selon leur fréquence d'écoulement sur la base de données historiques ou des estimations de précipitations. Les lignes de partage hydrographiques et les limites des bassins versants ont également été tracées. Enfin, les structures géologiques jouant un rôle hydrogéologique important telles que les failles et les filons ont été cartographiées à partir des reliefs ombrés et des images satellite, en tenant compte du contexte régional.

HYDROGÉOLOGIE

Aquifères majeurs à productivité potentiellement élevée

Aquifères de couverture, Alluvions et sables fluviatiles.

Dans les régions arides, des cours d'eau intermittents appelés ouadis alimentent des nappes peu profondes qui constituent une ressource en eau précieuse et renouvelable. La pente de la rivière, la nature des roches ainsi que l'étendue du bassin versant en amont déterminent le faciès et la granulométrie des dépôts alluviaux. Deux types principaux d'alluvions composent les lits des cours d'eau et les terrasses attenantes. D'une part, les sédiments grossiers, tels que graviers et sables, déposés principalement en amont des bassins versants près des reliefs, ou parfois plus en aval lors de crues importantes, sont les plus fréquents. Ces dépôts ont généralement une porosité importante, qui leur confère une bonne capacité de recharge et de stockage et une productivité relativement élevée lorsqu'ils sont mis en exploitation. D'autre part, des particules fines déposées lors du long retrait des eaux de crues colmatent localement les sédiments les plus grossiers. Si la morphologie du terrain s'y prête, des séries puissantes d'alternances de sables argileux et d'argiles plus ou moins sableuses peuvent se former, recouvrant des formations détritiques plus anciennes. Au Wadi Fira, la nature des alluvions actuelles est essentiellement sableuse en zone de relief, reposant directement sur le socle. Plus en aval, vers les zones de piémont ouest et est, les alluvions deviennent argilo-sableuses. Elles sont souvent argileuses lorsqu'elles dérivent de basaltes (Schneider et Wolff, 1992). La capacité de stockage de ces alluvions est bien supérieure à celle du socle, puisque la porosité efficace y est beaucoup plus importante. D'une puissance de 5 à 10 mètres, elles sont généralement exploitées par des puits implantés dans les lits des cours d'eau asséchés. Le rendement des puits cimentés très fréquents le long de grands ouadis peut atteindre 6 m^3/h (MHRU, 2014). L'étude qualitative de ces eaux révèle un faciès chimique bicarbonaté et de faibles teneurs en sels, lui assurant une bonne potabilité. Toutefois, la vulnérabilité à la pollution de ces nappes superficielles est grande, étant donné la capacité limitée de filtration biologique des sédiments meubles.

Séries volcaniques.

Des affleurements de roches volcaniques d'âge crétacé sont visibles dans la région d'Iriba, où des coulées de basaltes de faible épaisseur recouvrent le socle et des séries gréseuses. Le potentiel en eau de ces basaltes est très faible, mais la présence de quelques puits traditionnels indique que localement les zones très fracturées peuvent receler des ressources en eau significatives, rechargées par les lits de ouadis qui les entaillent tel que le Ouadi Absonout. Les appareils volcaniques d'âge quaternaire près de Guéréda, contournés par les cours d'eau actuels, sont secs.

Continental terminal.

Les lambeaux de grès du Continental terminal ont une étendue trop réduite pour être aquifères. Ils affleurent au nord-est de la carte et se répartissent en deux aires : vers l'aval de la dépression du Ouadi Absonout qu'ils comblent et où ils sont recoupés par des lits des cours d'eau, et au nord du Ouadi Howa sous forme de petits massifs isolés ruiniformes (Sonet, 1963). Ces grès à passées argileuses ont une origine fluvio-lacustre et sont rubéfiés à leur sommet par latéritisation. Du fait de leur position géomorphologique et de la couche imperméable sommitale, leur recharge en en eau est limitée, comme le montre la quasi absence de points d'eau (Plote, 1970). La Mare d'Oumdour, non-pérenne, le long du Ouadi Tiné et au pied de ces grès, pourrait faire exception mais l'origine de son alimentation en eau est toutefois incertaine.

Socle métamorphique et cristallin.

Le modèle conceptuel généralement retenu pour les aquifères de socle de l'Afrique sahélienne (Detay et al., 1989) permet de reconnaître 3 zones : un recouvrement faiblement perméable d'altérites, une zone de socle fissuré et une zone de socle fracturé. Le développement du recouvrement tendant à diminuer avec une réduction de la pluviométrie, cet horizon, qui peut au sud atteindre quelques mètres d'épaisseur, s'atténue au fur et à mesure que l'on remonte vers le nord du Tchad, où il disparaît. La zone de stockage alimentée par la surface est constituée par les altérites qui forment une zone de réservoir potentiel en contact avec les zones saturées en eau des fissures et des fractures du socle. Le taux de recharge des réservoirs d'altérites est généralement faible, en raison du pourcentage d'argile élevé dans les produits d'altération de la roche en place. La nappe des altérites, tributaire de l'infiltration des eaux de pluie et des ruissellements, subit de fortes variations piézométriques. En saison sèche, les altérites sont ainsi fréquemment dénoyées. Les puits qui les captent ont des débits généralement inférieurs à 4 m^3/heure et leur puissance moyenne est de 10 mètres (Schneider, 2001b). La matrice des roches du socle est caractérisée par une porosité primaire faible de l'ordre de 1%, avec une conductivité hydraulique très faible également. La zone productrice, liée aux fractures et exploitée par des forages profonds, est généralement inférieure à 20 mètres d'épaisseur et les débits disponibles toute l'année sont de l'ordre de 1 à 2 m^3/heure dans les granites, à l'exception de la zone plus productive d'Am Zoer, où ils peuvent atteindre 5 à 10 m^3/heure (IGIP-BURGEAP, 2009). L'eau qui s'écoule dans les lits des ouadis contribue à recharger les aquifères du socle, surtout dans les zones où la drainance se combine avec une densité élevée de fracturation. Quatre familles de failles sont observées sur la carte Wadi Fira, la principale étant N60-80°E, dans la prolongation des accidents majeurs du Massif de l'Ennedi, et les autres N10-30°E, N0-10°O et N30-50°O, cette dernière de faible envergure et relativement fréquente en bordure ouest du massif granitique du Ouaddaï. L'analyse des directions de fracturation dans les forages réalisés dans le socle indique une potentielle productivité accrue selon une orientation proche de N50°E (Ragot, 2005). Toutefois, les prospections hydrogéologiques n'ont jamais donné de bons résultats dans la zone de socle, avec un taux de forages positifs longtemps égal à 40%, en légère progression suite aux travaux cartographiques réalisés à l'échelle régionale (UNHCR/UNOSAT, 2005).

SOURCE DE DONNÉES ET CRÉDITS

L'information représentée sur cette carte provient de produits élaborés par l'UNITAR et le MHRU et de données exogènes. La préparation des données hydrogéologiques, géologiques et hydrauliques propres à cette carte est décrite dans la partie méthodologie et les ressources documentaires consultées sont référencées. Les autres données géographiques ont été produites comme suit:

a) Les localités, les cours d'eau, le réseau routier et les limites administratives sont repris du projet SIDRAT du Ministère de l'Aménagement du Territoire, de la Décentralisation et des Libertés Locales (MATDLL) et ont été extraites de son atlas cartographique numérique du Tchad au 1:200 000. Ces données, à l'exception du réseau hydrographique, ont fait l'objet d'une réédition cartographique en se référant à des images satellite de très haute résolution (scènes QuickBird, IKONOS et SPOT de 2003 à 2012).
b) La couverture quaternaire (diatomites, évaporites, dunes actuelles) et les zones agricoles sont adaptées de la carte numérique de l'occupation du sol élaborée sur la base d'images SPOT par le groupement BRGM-FIT pour le compte du projet SIDRAT.
c) La toponymie, l'hydronymie et l'oronymie, ainsi que les points d'eau traditionnels (bir, aïn, guelta) sont repris des séries de feuilles topographiques au 1:200 000 de la République du Tchad, publiées entre 1955 et 1979 par l'Institut Géographique National (IGN).
d) Le relief, les courbes de niveaux et les points côtés ainsi que les lignes de partage des eaux sont extraits du modèle numérique de terrain SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), produit par la National Aeronautics and Space Administration (NASA), le Jet Propulsion Laboratory (JPL) et le National Geospatial Agency (NGA), et distribué par l'US Geological Survey (USGS).
e) L'information sur le pastoralisme découle des observations effectuées lors des projets Almy Bahaïm de l'Agence Française de Développement (AFD) et de l'atlas des potentialités pastorales du Sahel (IEMVT, 1985)

Diverses données et images satellite ont été utilisées en production des cartes principale et synoptiques:

- Les images LANDSAT et ASTER, base à l'interprétation géologique du territoire, sont respectivement mises à disposition par l'USGS et distribuées par le Ministry of Economy, Trade, and Industry (METI) of Japan.
- Les données de précipitations sont issues du modèle Rainfall Estimate RFE 2.0, élaboré par la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) et son Climate Prediction Center.

Réserves

BIBLIOGRAPHIE (Hydrogéologie, Géologie, Hydraulique)

Benard, C., Guibert, B., 2010. Sécuriser le pastoralisme pour préserver la paix : Almy Bahaïm au Tchad Oriental. *IRAM, 48 p.*

Beuf, S., Biju-Duval, B., de Charpal, O., Rognon, P., Gariel, O., Bennacef, A., 1971. Les grès du paléozoïque inférieur au Sahara: sédimentation et discontinuités, évolution structurale d'un craton. *Editions Technip, Paris, 464 p.*

Bocquier, G., Audry, P., Barbery, J., Cheverry, C., Fromaget, M., Poisot, P., Gautier, Y., 1975. Carte pédologique de reconnaissance de la république du Tchad à 1:200 000 : Abou-Goulem, Adré, Am Zoer, Guéréda - Cartes et notice explicative no 61. *ORSTOM, 106 p.*

BURGEAP/AGRITCHAD, 2003. Almy Bahaïm - Projet 2 Sud Ennedi-Biltine (Iriba-Bilia). Rapport fin de travaux pour la réalisation de 40 points d'eau dans le Nord-Est du Tchad. *Ministère de l'Environnement et de l'Eau, 23 p.*

Crépeau, C., Cavalier, J.R., Pristchepa, I., Rouzeau, O., 2013. Service de télédétection en vue d'élaborer une couche "occupation du sol et géomorphologie" sur l'ensemble du territoire et au niveau de 4 régions pilotes (Tchad) - Rapport méthodologique. *BRGM, 826 p.*

Detay, M., Poyet, P., Emsellem, Y., Bernardi, A., Aubrac, G., 1989. Influence du développement du réservoir capacitif d'altérites et de son état de saturation sur les caractéristiques hydrodynamiques des forages en zone de socle cristallin. *C.R. Acad. Sci. Paris, vol. 309, ser. II, p. 420-436.*

Gachet, A., 2005. Tchad-Phase II. Synthèse des études hydrogéologiques du Ouaddaï oriental - Rapport interne. *UNOSAT/UNHCR, 98 p.*

Gsell, J., Sonet, J., 1960. Carte géologique de reconnaissance à l'échelle du 1:500 000 : Adré - Carte et notice explicative. *BRGM-IERGM, 43 p.*

HCNE/MEE/PNUD/DAES, 2003. Schéma Directeur de l'Eau et de l'Assainissement (SDEA) du Tchad 2003-2020 - Document principal atlas SIG et 6 documents thématiques. *Lin D.A. Durand Inc., 236 p.*

IEMVT, 1985. Elevage et potentialités pastorales sahéliennes, synthèse cartographique, Tchad. *Maisons Alfort, CIRAD-IEMVT, 28 p.*

IGIP-BURGEAP, 2009. Projet d'hydraulique villageoise Ouaddaï-Biltine -Rapport final 2001-2008. *Ministère de l'Environnement, de l'Eau et des Ressources Halieutiques, Direction de l'approvisionnement en eau potable, 239 p.*

Kilian, C., 1931. Des principaux complexes continentaux du Sahara. *C.R. Somm. Soc. Géol. Fr., vol. 9, p. 109-111.*

Kusnir, I., 1995. Géologie, ressources minérales et ressources en eau du Tchad - Travaux et documents scientifiques du Tchad, 2ème édition. *CNAR, 115 p.*

MHRU, 2014. SITEAU, Système d'Information Tchadien sur l'EAU. Base de données des ouvrages hydrauliques. *Direction de la Connaissance du Domaine Hydraulique, N'Djaména.*

Pias, J., 1964. Cartes pédologiques de reconnaissance au 1:200 000: Feuilles d'Abéché, Biltine et Oum Hadjer - Cartes et notice explicative. *ORSTOM, 105 p.*

Plote, H., 1970. Hydrogéologie de l'Ouaddaï. Programme quadriennal d'aménagement hydraulique de l'Ouaddaï – rapport. *BRGM, 423 p.*

Ragot, J.-M, 2005. Rapport de mission d'appuis géophysiques/hydrogéologiques de janvier 2005, villages 20 à 40, projet PHVOB, Ouaddaï-Biltine – rapport interne. *IGIP-BURGEAP, 11 p.*

Schneider, J.L., 2001a. Carte de valorisation des eaux souterraines au 1:1 500 000 de la République du Tchad. *Ministère de l'Environnement et de l'Eau, direction générale, direction de l'hydraulique.*

Schneider, J.L., 2001b. Géologie, archéologie, hydrogéologie de la République du Tchad – 2 volumes. *Ministère de l'Environnement et de l'Eau, direction générale, direction de l'hydraulique.*

Schneider, J.L., Wolff, J.P., 1992. Carte géologique et cartes hydrogéologiques au 1:1 500 000 de la république du Tchad - Mémoire explicatif. *Documents du BRGM, vol. 209 (2 volumes).*

Sonet, J., 1963. Carte géologique de reconnaissance des états d'Afrique équatoriale : Feuille Niéré ND-34-NE au 1:500 000 – Carte et notice explicative. *BRGM-IERGM, 79 p.*

Sultan, M., Arvidson, R.E., Sturchio, N.C., Guinnes, E.A., 1987. Lithologic mapping in arid regions with Landsat TM data: Meatiq dome, Egypt. *Bull. Geol. Soc. Amer., vol. 99, p. 748-762.*

UNHCR/UNOSAT, 2005. Cartographie hydrogéologique de l'Est du Tchad. Système d'information géographique (SIG), cartes et notice explicative. *Genève.*

Vincent, P.M., 2010. Synthèse hydrogéologique. Document de capitalisation. Projet Almy Bahaïm - rapport interne. *Ministère de l'Eau, Direction de l'hydraulique pastorale, 29 p.*

PROGRAMME RésEAU ET AUTEURS

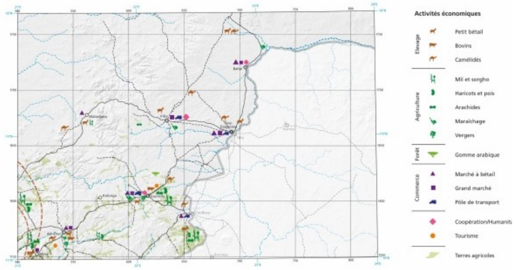
Cette carte hydrogéologique de reconnaissance, feuille d'une série au 1:500 000 couvrant la République du Tchad, a été produite dans le cadre de la phase 1 du programme RésEAU Tchad, financée par la République du Tchad et la Confédération suisse. Ce programme résulte d'une demande du Ministère de l'Hydraulique Rurale et Urbaine (MHRU) de la République du Tchad auprès de la Direction du Développement et de la Coopération (DDC) de la Confédération suisse. L'Institut des Nations Unies pour la Formation et la Recherche (UNITAR) et son programme opérationnel pour les applications satellitaires, UNOSAT sont chargés de sa mise en œuvre, ainsi que de la création d'un Système d'Information des Ressources en Eau (SIRE) et de l'élaboration de cartes hydrogéologiques.
Cette carte est l'œuvre conjointe d'experts tchadiens et internationaux. Le concept, les esquisses de cartes, les illustrations et les textes explicatifs ont été préparés par UNITAR-UNOSAT, en collaboration avec le Comité Scientifique du programme RésEAU. Les contenus ont été révisés et améliorés par les ingénieurs du MHRU. La maquette a été réalisée par les cartographes et graphistes de swisstopo, l'Office fédéral de topographie. Le produit, publié et imprimé par swisstopo, a été approuvé en l'état par les instances de gouvernance du programme, à savoir les Comités Scientifique et de Pilotage et a fait l'objet d'un contrôle qualité par un Comité de Lecture, composé d'experts en hydrogéologie, géologie et télédétection issus du MHRU, de l'Université de N'Djaména et du Centre National d'Appui à la Recherche (CNAR).
La part incombant aux différents auteurs dans la réalisation de cette feuille se répartit comme suit:

Concept cartographique – F. Zwahlen [d], Y. Haeberlina [b], A. Kraiem [a], M.-A. Bünzli [b]
Données SIG – A. Kraiem [a], J. Tschopp [a], T. Tchang [a]
Télédétection – M. Aubert [a]
Validation terrain – I. Musa Mohamed [c], M.-L. Vogt [a,c], Y. Haeberlin [a,b], M.-A. Bünzli [b]
Notice explicative – Y. Haeberlin [a,b], M.-A. Bünzli [b], F. Zwahlen [d]
Cartographie et graphisme – P. Marguerat [f], P. Schütz [f]
Contrôle qualité – I. Ali Malloum [c], A. Moudari [c], A. Hamit [e], J. Libar [g], I. Moustapha [c], D. Laoumaye [c]
Coordination – O. Sénégas [a], Y. Haeberlin [a,b], M.-L. Vogt [a,c]
Affiliations: [a] UNITAR-UNOSAT, [b] DDC, [c] MHRU, [d] Centre d'Hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel, [e] Université de N'Djaména, [f] swisstopo, [g] CNAR

En bibliographie, cette carte sera citée comme suit :
Ministère de l'Hydraulique Rurale et Urbaine, 2014. Carte de reconnaissance hydrogéologique du Tchad au 1:500 000, feuille ND-34-NE Wadi Fira. Produit réalisé par UNITAR et swisstopo, Genève et Berne.

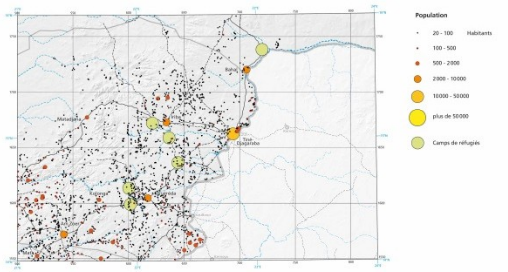
Mention légale

REPUBLIQUE DU TCHAD
MINISTERE DE L'HYDRAULIQUE RURALE ET URBAINE
Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra
Direction du développement et de la coopération DDC
Office fédéral de topographie swisstopo
unitar
UNOSAT



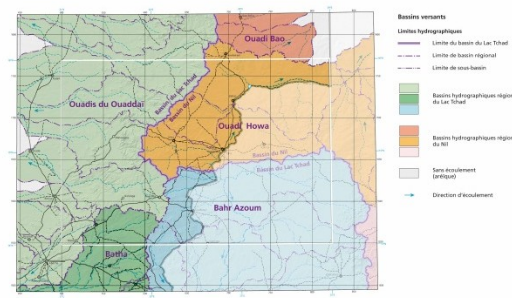
Lieux et activités économiques

Cette carte schématique illustre les principales activités et potentialités économiques du territoire et les met en perspective avec les ressources en eau. L'élevage sédentaire, semi-sédentaire et transhumant est le secteur prédominant. Les camélidés, ovins et petit bétail sont répartis sur l'ensemble du territoire et les bovins sont plutôt présents sur la partie méridionale. L'agriculture sous forme de cultures de mil, sorgho et arachides et de petit maraîchage est cantonnée le long des ouadis et aux terres plus arrosées du Sud. Des marchés se sont développés le long des principaux axes de communication et des zones frontières. Les symboles sont proportionnels à l'importance relative (faible, moyenne ou majeure) de l'activité sur l'économie régionale.
A titre indicatif, les couloirs et axes de transhumance permettent de visualiser les zones de vie et de déplacement des populations nomades. Les terres agricoles comprennent les zones de cultures annuelles et les périmètres irrigués, extraits à partir d'images satellite.



Répartition de la population

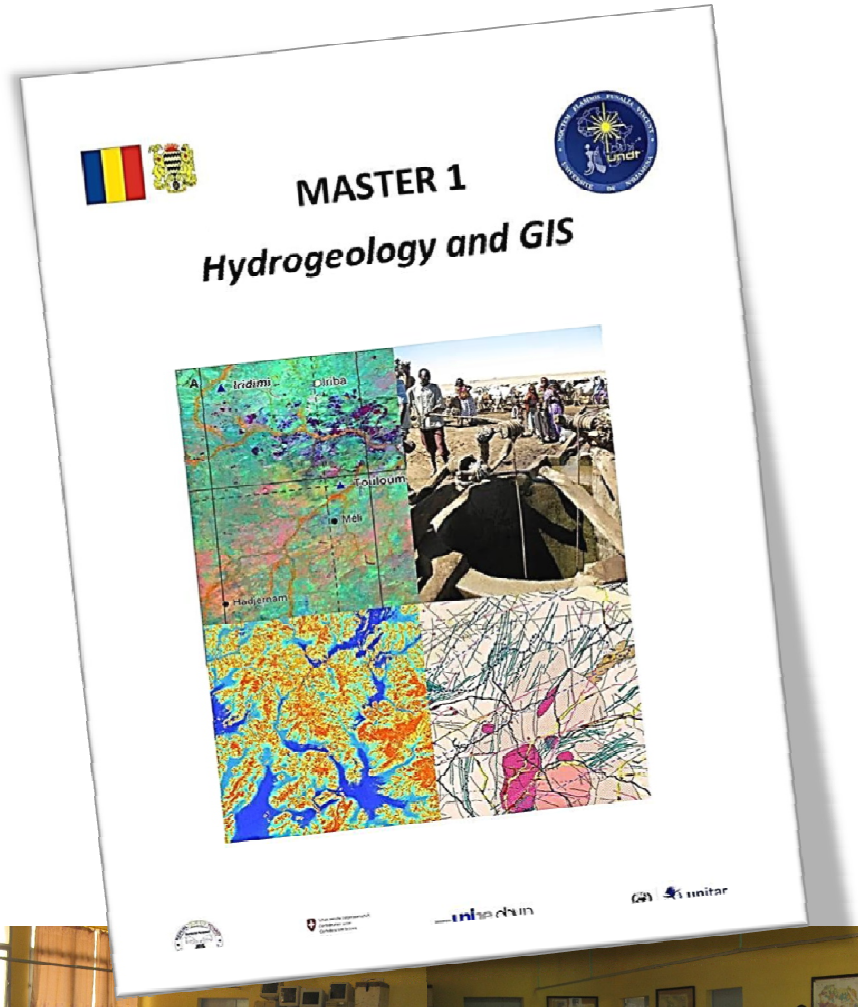
Les localités (ville, village et hameau) sont représentées sur un fonds de carte administratif, par des cercles dont l'aire est proportionnelle à la population. Le chiffre de population est attribué selon un modèle, avec une densité résidentielle estimée de 25 hab./ha pour les villes. En zone rurale, les villages et hameaux ont été cartographiés selon leur taille (<500 m, 500-1000 m, > 1000 m), ce qui équivaut à trois classes de population (20-100 hab., 100-500 hab., 500-2000 hab.).
Les camps de réfugiés sont représentés à titre informatif tels qu'existant en 2014.

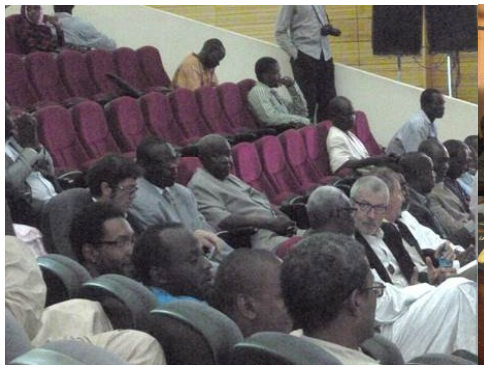


Bassins versants

Les bassins hydrographiques sont représentés selon une hiérarchie à trois niveaux: bassins continentaux, bassins régionaux et sous-bassins. Leur délimitation se fonde sur la ligne de partage topographique des eaux d'après le modèle numérique de terrain SRTM. Cette limite a été produite par calcul sur les zones de relief et par interprétation visuelle sur les zones planes. Les zones sans réseau hydrographique organisé ou aréiques ne sont pas classées et cartographiées en gris. Les flèches indiquent le sens d'écoulement des eaux.

Professionnal Master 1 HydroSIG





INTRODUCTION AUX SIG
DU LEVÉ DE TERRAIN AUX CARTES NUMÉRIQUES

Session de formation continue, Projet RésEau

N'Djaména, Tchad, Décembre 2012

Lieu	Lundi 3 déc. CNAR	Mardi 4 déc. Uni Farcha	Merc. 5 déc. CNAR	Jeudi 6 déc. CNAR	Vendr. 7 déc. CNAR
8.30-10.00	Ouverture et objectifs de la session (PPT) Les données hydrauliques - du terrain aux cartes (PPT)	Prise en main des appareils GPS (Terrain)	Introduction à Google Earth (PPT)	Introduction aux Systèmes d'Information Géographique (PPT)	Création de petites cartes avec données terrain sous Google Earth (Travail perso)
10.00-10.30	Pause-Café				
10.30-12.00	Principes de bases du système GPS (PPT)	Relevés GPS d'ouvrages hydrauliques (Terrain)	Fonctions de base de Google Earth (Exercice sur PC)	Introduction au logiciel Quantum GIS (PPT)	Présentation et discussion des cartes des participants (Evaluation) Clôture (PPT)
12. 00-13.00	Repas				
13.00-15.30 (avec pause de 15 min)	Présentation des appareils GPS Juno (PPT) Création de dictionnaires pour relevés de terrain (Exercice	Relevés GPS d'ouvrages hydrauliques (Terrain)	Intégration et manipulation des données de terrain sous Google Earth (Exercice sur PC)	Aperçu de Quantum GIS (Exercice sur PC)	

QUANTUM GIS : INTRODUCTION ET BASES
PRÉCÉDÉ PAR UNE MISE A NIVEAU GPS

Session de formation continue, Projet RésEau

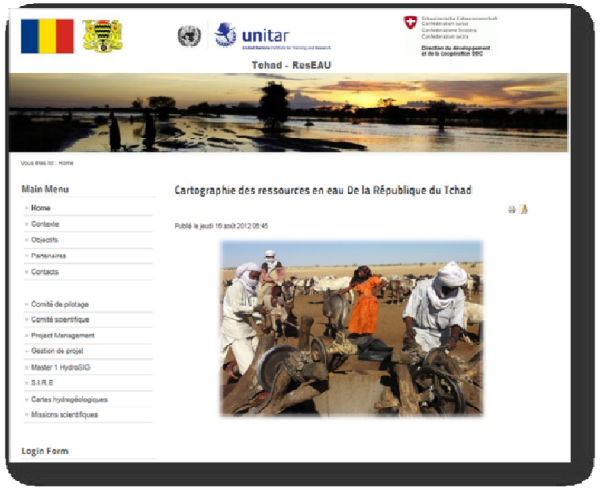
N'Djaména, Tchad, Juin 2(

[redacted]

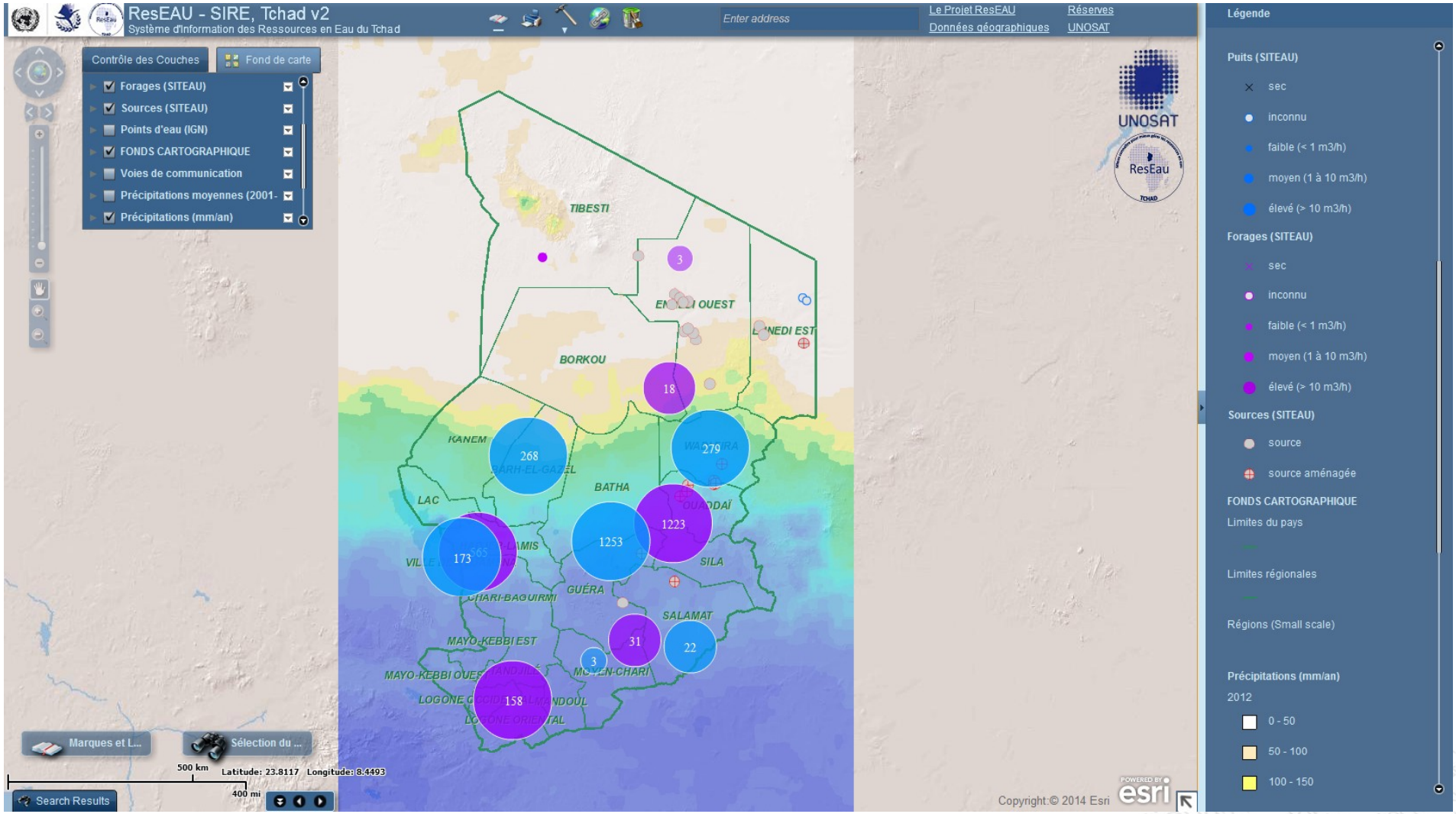
Communication

Data are accessible and used by the actors involved in the water sector

- New documentation center
- Conferences and workshops
- Geo-Portal (Web Mapping)
- Web site

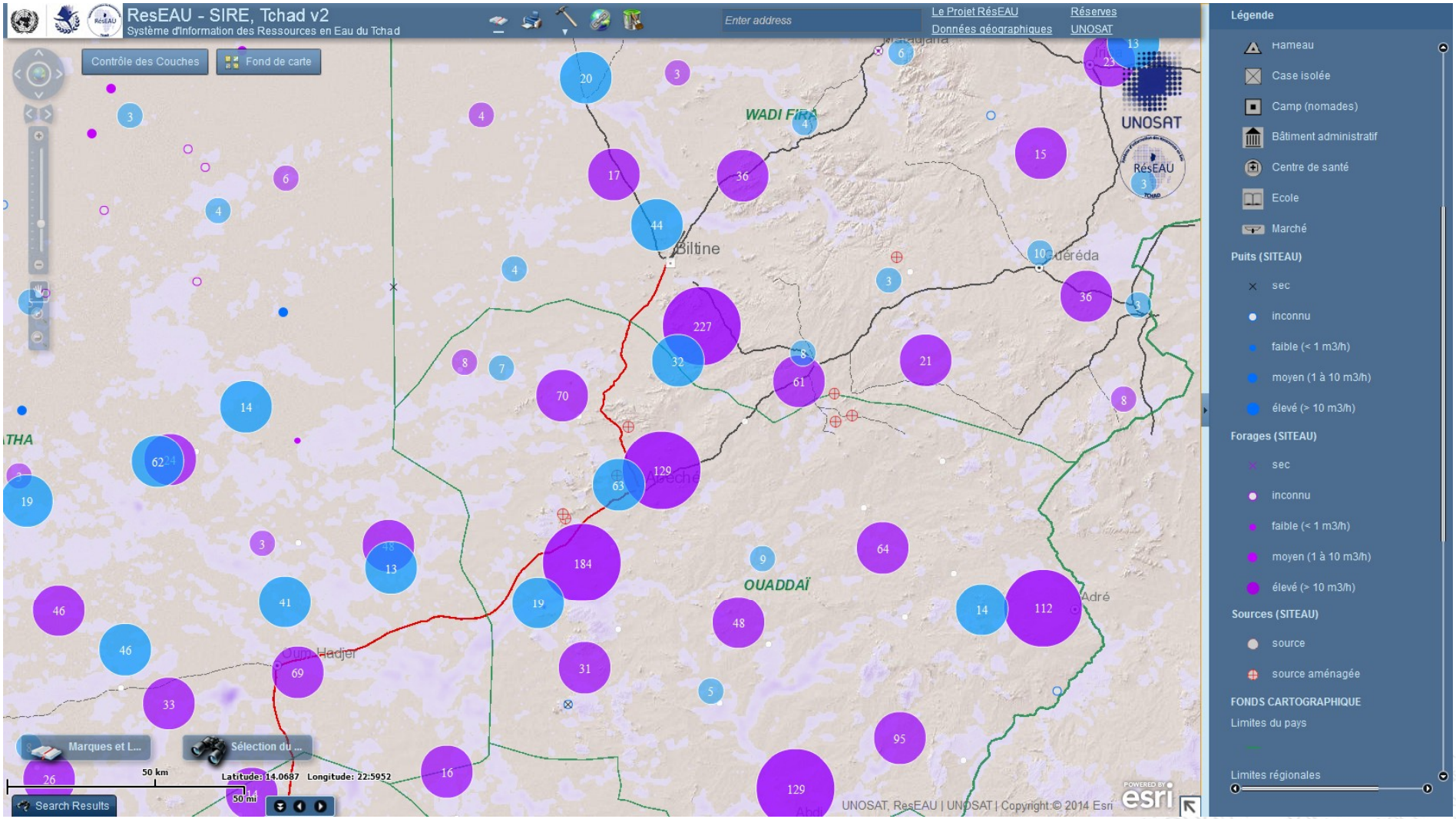


Geo-Portal ResEau

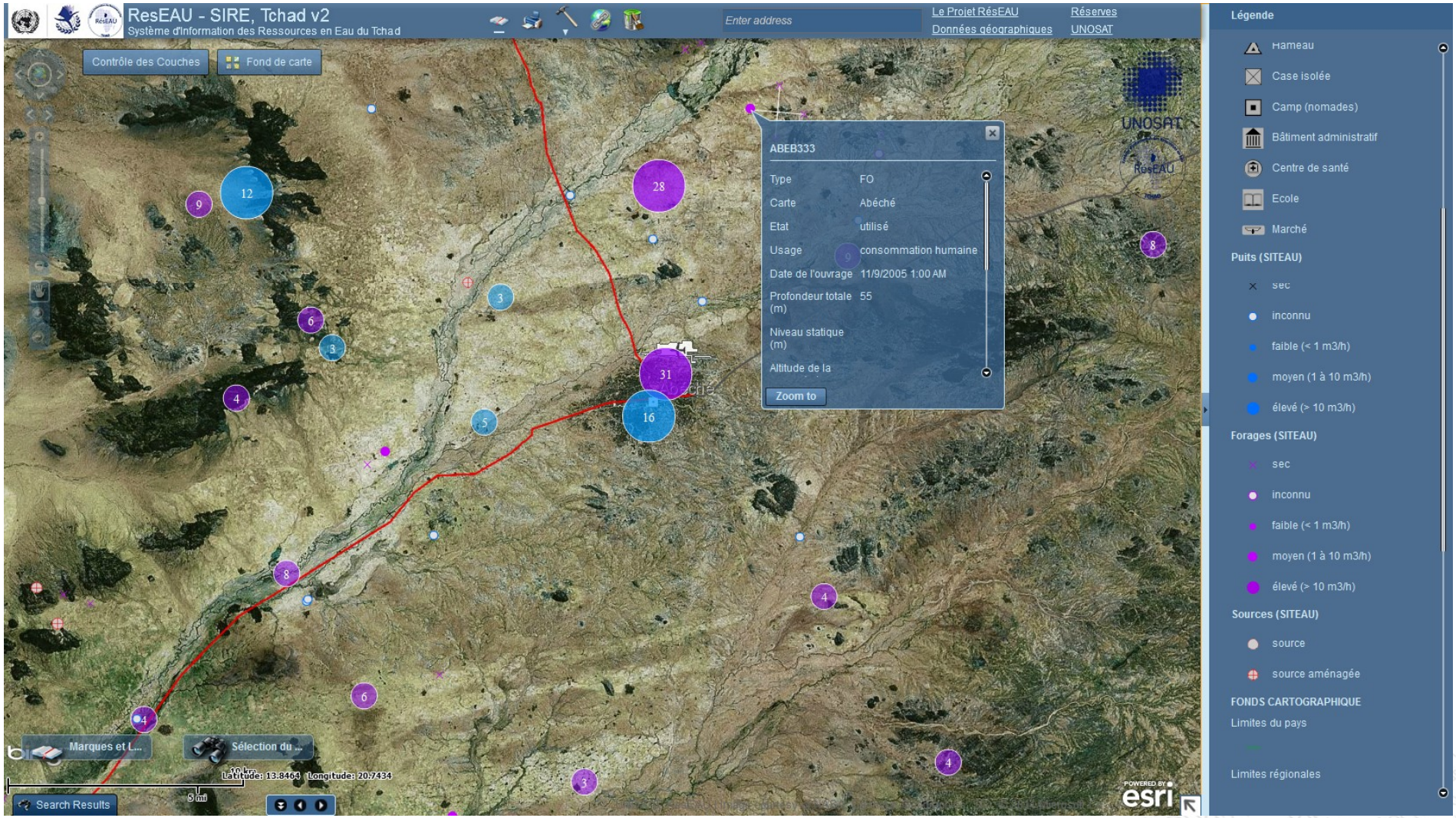


https://unosatgis.cern.ch/webmap/projects/reseau_v2/

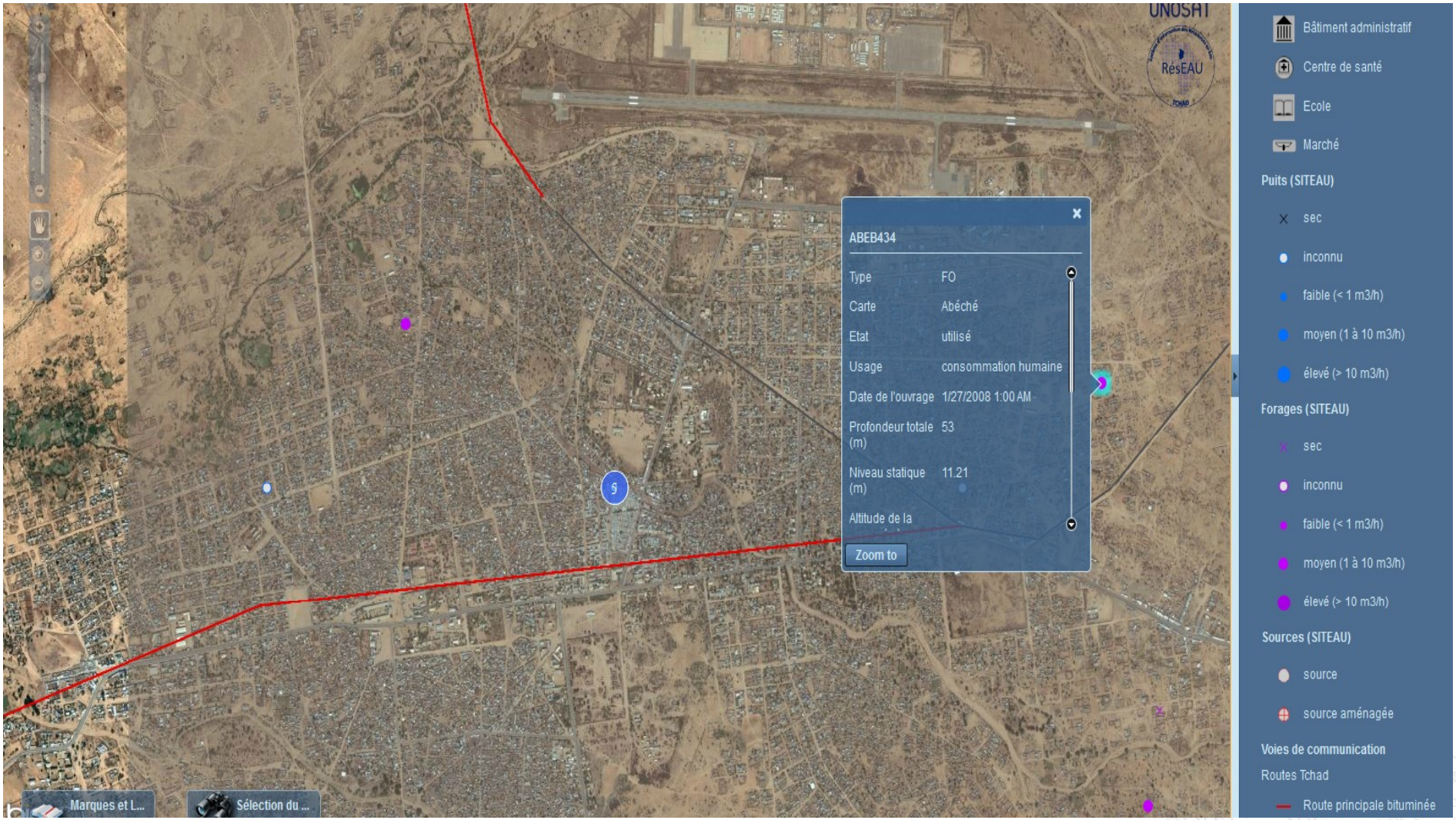
Geo-Portal ResEau



Geo-Portal ResEau



Geo-Portal ResEau



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Direction du développement et de la coopération DDC

Thank you!

olivier.senegas@unitar.org

http://www.unitar.org/unosat/

unitar
United Nations Institute for Training and Research

United Nations Institute for Training and Research
Institut des Nations Unies pour la Formation et la Recherche
Instituto de las Naciones Unidas para Formación Profesional e Investigaciones
Учебный и научно-исследовательский институт
Организации Объединенных Наций
معهد الأمم المتحدة للتدريب والبحث
联合国训练研究所

Palais des Nations
CH-1211 - Geneva 10
Switzerland
T +41-22-917-8455
F +41-22-917-8047
www.unitar.org