



COQUEIRAL

Contraintes sur la **QUALITÉ** de l'**Eau** dans l'environnement urbain de Recife.

Comment faire face à la **sALinisation** et à la contamination des eaux souterraines dans les contextes de changements environnementaux planétaires et sociétaux.

Coordinateur ANR : E. Petelet-Giraud - BRGM
 Coordinateur FACEPE : S. Montenegro - UFPE
 Coordinateur FAPESP : R. Hirata - USP

Logos for DREAM, Eco technologies, ANR, FACEPE, FAPESP, CPRM, USP, Apac, UFPE, Observatoire de Rennes, CoRIES, Université de Lille, géo-hyd, and brgm are visible at the bottom of the slide.

BRGM THE FRENCH GEOLOGICAL SURVEY WWW.BRGM.EU

COQUEIRAL



- Projet Franco – Brésilien
- Axes thématiques de l'aap ANR CEP&S 2011
 - Ressources naturelles et sécurité alimentaire dans le contexte de CEP
 - Les Sociétés et Territoires face aux CEP - Vulnérabilité, Adaptation et Mitigation
- Durée du projet : 36 mois + 9 mois (01/2012 – 09/2015)
- Budget global de 1,8 M€
 - Financement ANR : 499 k€
 - Financement FACEPE : 250 k€
 - Financement FAPESP : 250 k€

BRGM THE FRENCH GEOLOGICAL SURVEY WWW.BRGM.EU





COQUEIRAL – Site d'étude




- Région métropolitaine de Recife
- Etude de l'impact humain sur les ressources en eau côtières dans un contexte de surexploitation liée à une augmentation de l'urbanisation
 - Impact quantitatif : baisse du niveau piézométrique
 - Impact qualitatif : contamination et salinisation



La RMR est un exemple type de "point chaud" illustrant les problèmes des villes côtières des pays du Sud

BRGM THE FRENCH GEOLOGICAL SURVEY WWW.BRGM.EU

COQUEIRAL – Objectifs



- Projet interdisciplinaire visant à étudier l'impact des activités humaines sur les aquifères côtiers surexploités
 - 1) **Analyse des pressions** sur les ressources en eau souterraine et leurs **raisons sociales et structurelles**,
 - 2) **Identification des sources et des mécanismes de la dégradation** des ressources en eau souterraine (qualité et de quantité), en se concentrant sur **les processus physiques et chimiques** en tant que vecteurs de la réaction du système aux pressions extérieures
 - 3) **Evaluation des impacts des changements globaux** sur les ressources en eau à l'échelle régionale

BRGM THE FRENCH GEOLOGICAL SURVEY WWW.BRGM.EU



COQUEIRAL – Objectifs



1) **Analyse des pressions** sur les ressources en eau souterraine et leurs **raisons sociales et structurelles**

Etude de la dégradation des ressources en eau souterraines en questionnant les conditions spécifiques d'urbanisation et d'administration de l'eau à Recife à plusieurs niveaux:

- le niveau **macro-sociologique** de l'enjeu politique et institutionnel de gestion de l'eau,
- le niveau **méso-sociologique** des enjeux collectifs de l'eau et leurs perceptions,
- le niveau **micro-sociologique**, avec l'utilisation des représentations et les pratiques individuelles et collectives de l'eau

➔ Ethno-photographie



BRGM THE FRENCH GEOLOGICAL SURVEY WWW.BRGM.EU

COQUEIRAL – Objectifs



2) Identification des sources et des mécanismes de la dégradation des ressources en eau, en se concentrant sur les processus physiques et chimiques

- Acquisition de nouvelles données géologiques, hydrologiques et hydrogéologiques,
- Elaborer des méthodes pour déterminer l'origine et les processus de salinisation et contamination, fondées sur une approche multi-traceurs,
 - pour identifier des sources et des voies de contamination,
 - et pour évaluer le temps de séjour des eaux dans le système aquifère



BRGM THE FRENCH GEOLOGICAL SURVEY WWW.BRGM.EU

COQUEIRAL – Objectifs



3) Evaluation des impacts des changements globaux sur les ressources en eau à l'échelle régionale

- Elaboration de modèles hydrogéologiques conceptuel et numérique tridimensionnel pour appréhender le fonctionnement du système aquifère
 - dans son contexte sociétal
 - sous l'influence de son environnement.



Améliorer les outils de gestion existants, proposition des grandes lignes de meilleures pratiques

- basées sur des scénarios de l'évolution des ressources en eau souterraine issus des scénarios climatiques et sociologiques



BRGM THE FRENCH GEOLOGICAL SURVEY WWW.BRGM.EU



Ressources en Eau à Recife : le constat

Quantitatif

- o Alimentation en eau repose sur les barrages (+ eau souterraine)
- o Demande en eau totale : 15,1 m³/s
 - ✓ Les barrages 6,5 m³/s
 - ✓ Les eaux souterraines 2,3 m³/s
- o Un réseau de distribution ancien ; coupures et rationnement
- o Sécheresses répétées (1998-1999 ; 2012-2013)
 - ✓ Stratégies alternatives d'approvisionnement en eau
 - ✓ DONT eaux souterraines (puits et forages) : ~15 000, jusqu'à 330/km²

- ➔ Baisse dramatique des niveaux d'eau dans les aquifères profonds stratégiques :
- ✓ Jusqu'à 8,6 m/an
 - ✓ Jusqu'à 90m en 25 ans



©Tadeu Giglio



Ressources en Eau à Recife : le constat

• Qualitatif

- Un réseau de distribution ancien : contamination de l'eau
- Collecte et traitement des eaux usées insuffisants : infiltration dans l'aquifère de surface
 - ✓ < 40% collectées
 - ✓ < 17% traitées
- Localement, des eaux de plus en plus salées dans les forages conduisant à leur fermeture



- Eaux contaminées : vecteur de maladies
- Eaux de plus en plus salées : creusement de nouveaux puits

© Tardet, Giglio

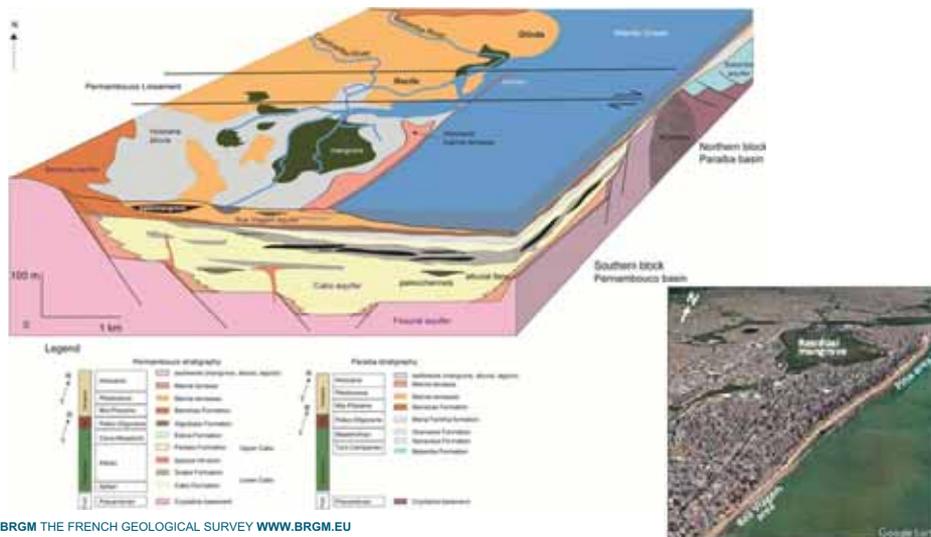


BRGM THE FRENCH GEOLOGICAL SURVEY WWW.BRGM.EU



Contexte géologique et hydrogéologique

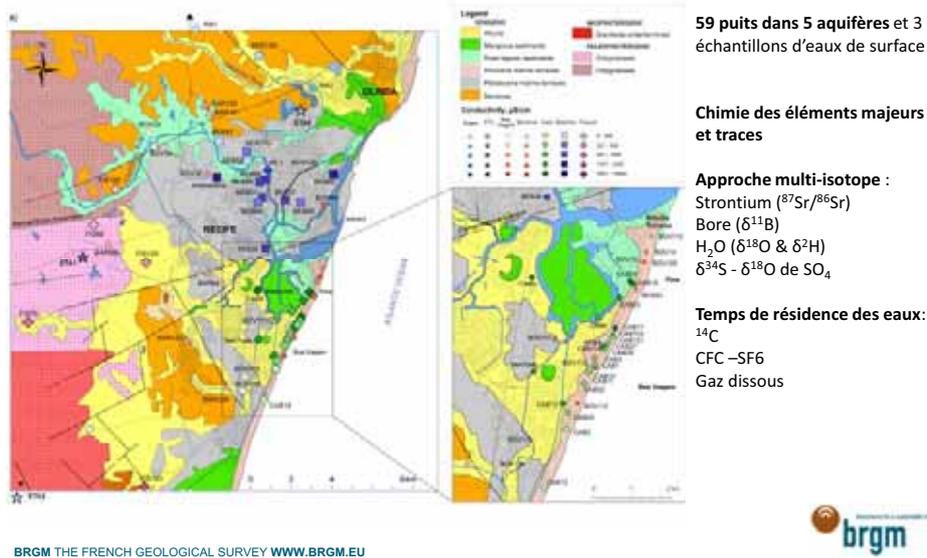
- 2 socles précambriens séparés par un linéament : 2 aquifères de socle
- 2 bassins géologiques, évolution séparée en milieu côtiers: 2 aquifères profonds majeurs
- Evolution géologique commune depuis le Tertiaire : 2 aquifères superficiels



BRGM THE FRENCH GEOLOGICAL SURVEY WWW.BRGM.EU

Méthodes

Comprendre le fonctionnement de ces systèmes aquifères



Principaux résultats

- Sollicitation d'une ressource en eau « fossile » de plus de 10 000 ans, rechargée sous un climat plus froid que l'actuel
- Des pompages bien au-delà de la capacité naturelle des aquifères à se recharger/renouveler
- Une surexploitation des eaux souterraines conduisant à la mise en communication des différents réservoirs
- Contamination des eaux souterraines par les eaux usées, avec un pouvoir auto-épurateur limité
- Transfert de la contamination depuis les aquifères de surface vers les ressources stratégiques profondes (+/-via forages)
- Une salinité majoritairement héritée de l'histoire géomorphologique régionale
- Une intrusion d'eau de mer actuelle limitée aux zones de bord de mer les plus densément peuplées

BRGM THE FRENCH GEOLOGICAL SURVEY WWW.BRGM.EU



Groundwater residence time

Chatton, E.; Aquilina, L.; Petelet-Giraud, E.; Cary, L.; Bertrand, G.; Labasque, T.; Hirata, R.; Martins, V.; Montenegro, S.; Vergnaud, V.; Aurouet, A.; Kloppmann, W.; Pauwels, H., 2016. Glacial recharge, salinization and anthropogenic contamination in the coastal aquifers of Recife (Brazil). *Science of the Total Environment*, 569–570: 1114–1125.

• Cabo & Beberibe deep aquifers

- ¹⁴C ages: **18,000 - 6,700 yr BP**
- Recharge temperature: $\Delta T \approx -7^\circ\text{C}$ / modern T°C



➔ **Palaeo-groundwaters : late-Pleistocene to mid-Holocene**

- **Locally**, presence of CFCs – SF6 : up to 50% modern end-member (Boa Viagem overlying aquifer)

➔ **Downward leakage from the overlying aquifer due to deep groundwater overexploitation**

BRGM THE FRENCH GEOLOGICAL SURVEY WWW.BRGM.EU

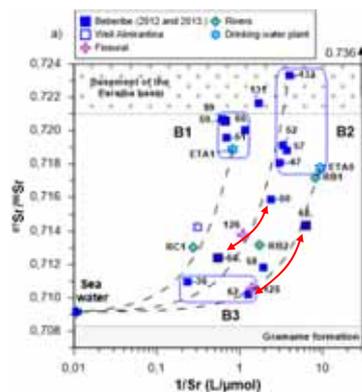


Strontium isotopes

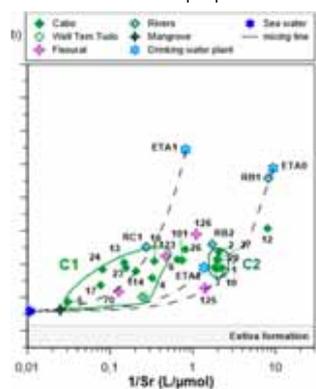
Cary L., Petelet-Giraud, E., Bertrand, G., Kloppmann, W., Aquilina, L., Martins, V., Hirata, R., Montenegro, S., Pauwels, H., Chatton, E., Franzen, M., Aurouet, A. and the team. 2015. Origins and processes of groundwater salinization in the urban coastal aquifers of Recife (Pernambuco, Brazil): A multi-isotope approach. *Science of the Total Environment*, 530-531: 411-429.

Addressing the geological context

Northern deep aquifer



Southern deep aquifer

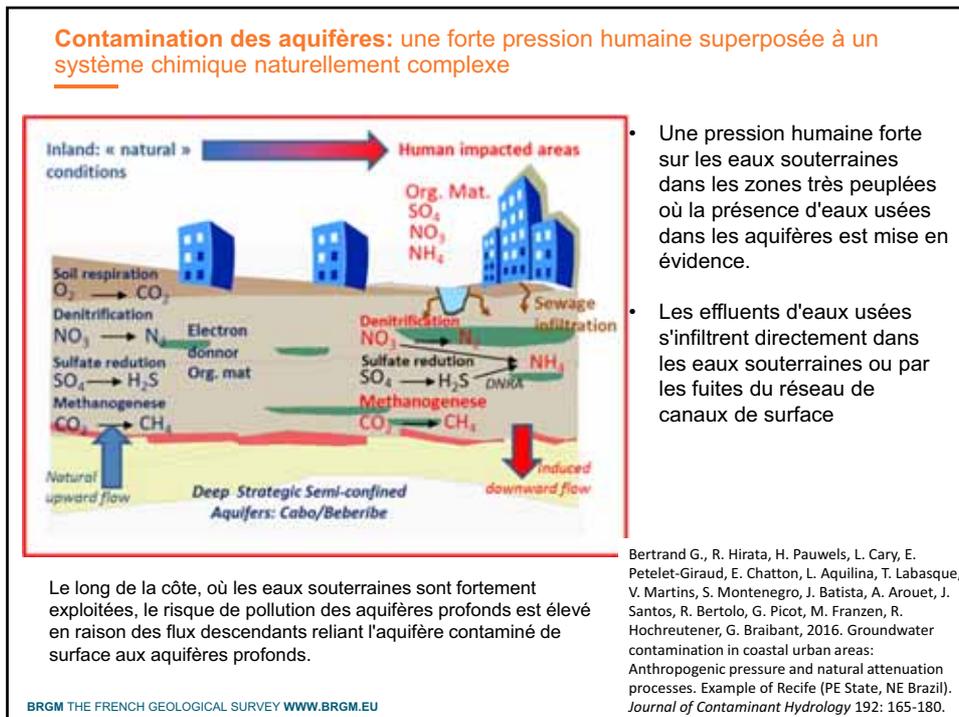
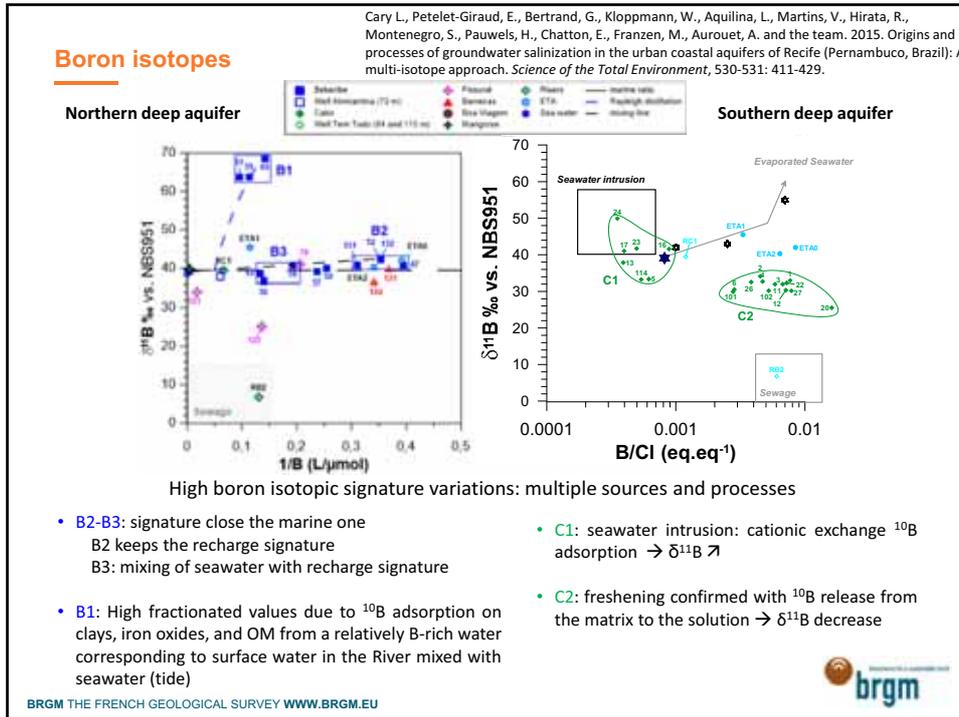


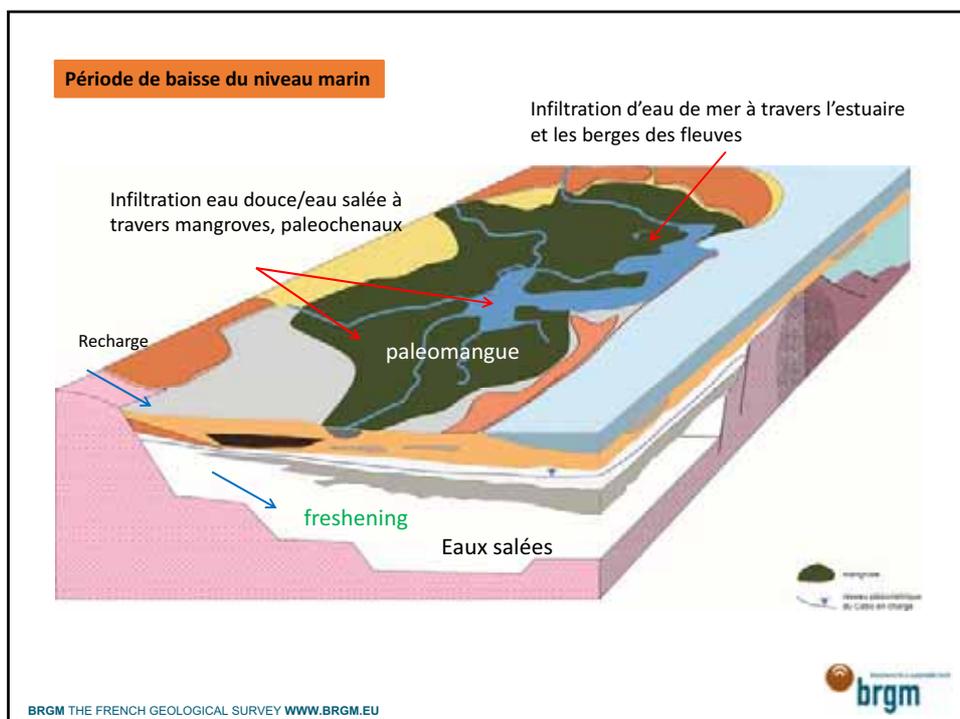
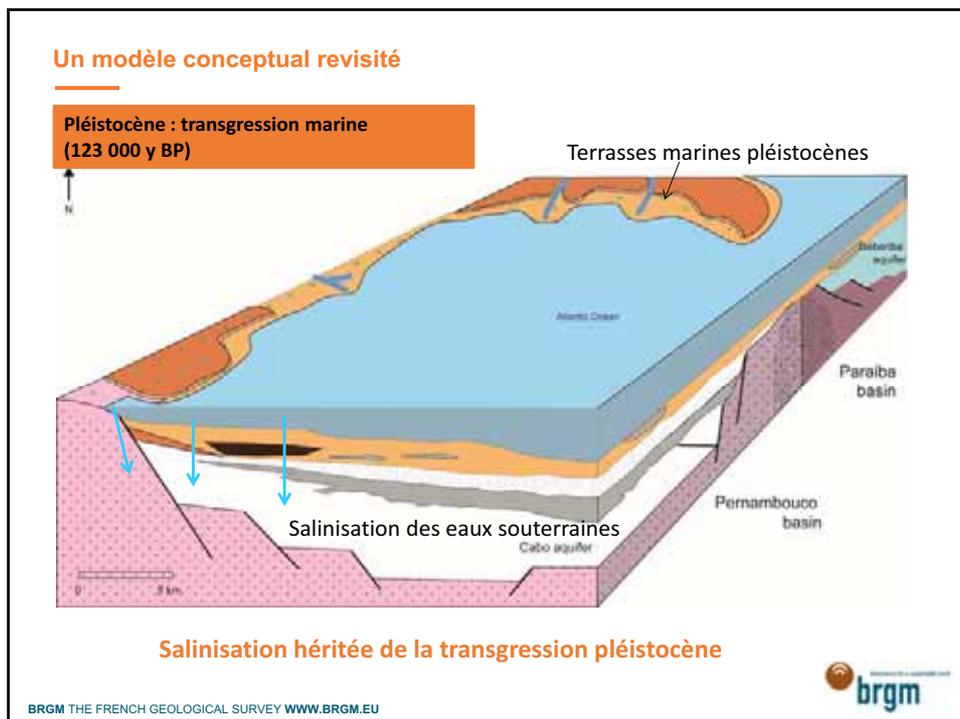
- B1, B2: water-rock interactions
- B3: mixing with seawater
Various mixing proportion over time

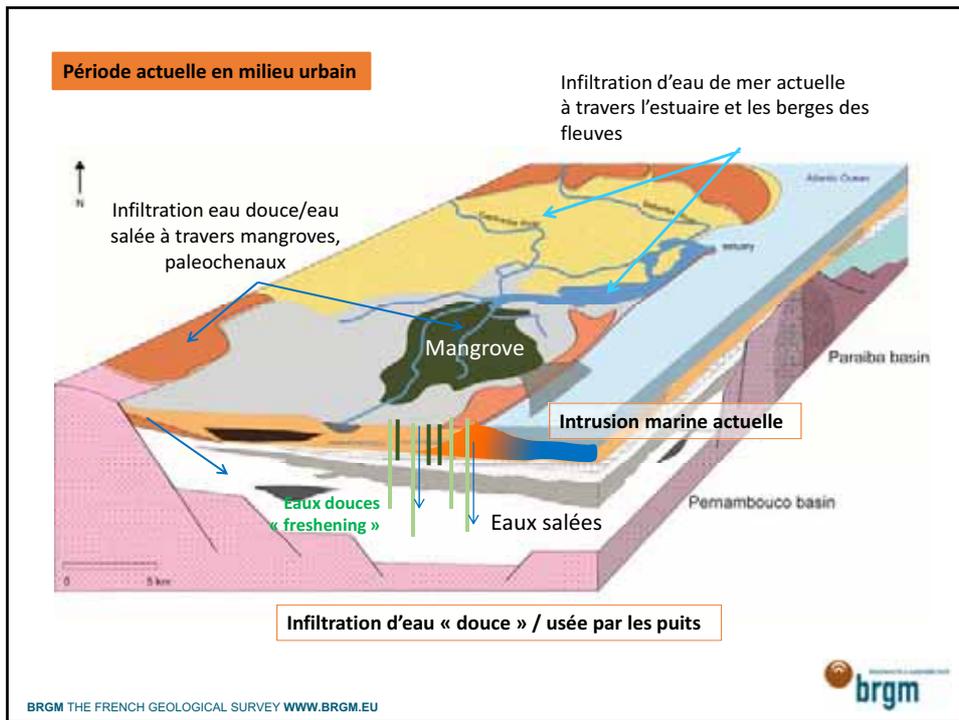
- C1: Salinized groundwater
- C2: Freshened groundwater (Sr loss)

BRGM THE FRENCH GEOLOGICAL SURVEY WWW.BRGM.EU









Et le futur ?

- **Une augmentation de la demande en eau**
urbanisation et industrialisation
- **Changement climatique**
 - Baisse locale des quantités de pluie de 20% d'ici 2100
 - Des extrêmes climatiques plus intenses : sécheresses, crues
 - Augmentation de la température de +3°C d'ici 2100
- **Montée du niveau marin**
 - Modèles locaux : 0,28 cm/an

Des conséquences majeures sur les ressources en eau déjà largement fragilisées

BRGM THE FRENCH GEOLOGICAL SURVEY WWW.BRGM.EU

brgm



Les approches SHS



BRGM THE FRENCH GEOLOGICAL SURVEY WWW.BRGM.EU



La perception individuelle de la relation à l'eau

L'analyse de la vie quotidienne des habitants de Recife face au **manque d'eau** ou à sa **mauvaise qualité** montre que :

- Les statistiques officielles de connexion au réseau d'eau ne reflètent pas la réalité de l'accès à l'eau,
- Les statistiques officielles ne décrivent pas ce que cela signifie de manquer d'eau, dans une grande ville, au début du 21ème siècle.

➔ Les contrôles de qualité de l'eau n'impliquent pas que les problèmes de santé publique soient pris en compte dans la gestion des réseaux d'eau.

➔ Il y a un fort discrédit des acteurs publics de l'eau et de l'assainissement.

➔ Développement de stratégies alternatives pour l'approvisionnement en eau



BRGM THE FRENCH GEOLOGICAL SURVEY WWW.BRGM.EU



Déni institutionnel du problème de l'eau



Les autorités publiques tendent à nier tout ou partie de la situation difficile que connaissent les personnes, en particulier celles qui se trouvent dans une situation précaire, en période de sécheresse.

Les raisons d'un tel déni?

- Un discours basé sur le nombre, qui réduit la question de l'eau à sa capacité de stockage dans les barrages ou aux indicateurs de sa distribution potentielle;
- Une gouvernance particulièrement complexe avec une fragmentation intense des acteurs politiques et institutionnels responsables de l'approvisionnement public en eau.



La fragmentation, l'incapacité des autorités à faire appliquer la loi et la capacité des populations à inventer des alternatives ne facilitent pas l'émergence de formes de gouvernance plus efficaces

L'échec de l'approvisionnement public en eau ne produit pas seulement des victimes

Le manque de régulation des ressources en eau profite aux :

- **Entrepreneurs**
 - foreurs de puits,
 - producteurs d'eau minérale (embouteillée),
 - entreprises de camions-citernes,
 - vendeurs d'unité de dessalement d'eau,
- **Utilisateurs**
 - Baisse des coûts de l'accès à l'eau par le biais de puits privés



Cela favorise l'émergence de stratégies prédatrices difficiles à dépasser en raison de la faible efficacité des opérateurs publics

Main public actors in charge of water management National, Pernambuco State and the Recife Municipality levels

Regulatory and administration agencies	Responsibilities regarding water resources
National level	
National Water Agency (ANA - Agência Nacional de Águas)	ANA is legally liable for implementing the National Water Resources Management System (Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos - SINGREH) , created to ensure the sustainable use of rivers and lakes for the current and future generations. ANA is intended for, concerning water resources management, ensuring that the different types of water use are made in a complementary way, so that one use will not hinder the other, also considering the need for prevention of hydrological events (National Water Resources Policy - <i>Plano Nacional de Recursos Hídricos</i> - PNRH).
Ministry of Environment (MMA - Ministério do Meio Ambiente) and its Water Resources and Urban Environment Secretariat (SRHU - Secretaria de Recursos Hídricos em Ambiente Urbano)	The SRHU is acting as executive secretariat of the National Council of Water Resources (Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH) : responsible for the formulation of the National Water Resources Policy (PNRH).
State Level (Pernambuco)	
Water Resources Secretariat (SRH - Secretaria de Recursos Hídricos)	Definition and implementation of the regional policy for the management of water resources.
Pernambuco Agency for Water and Climate (APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima)	Regional Agency for the Implementation of Water Resources Policy; holder of a police authority over water resources.
Regional Environmental Agency (CPRH - Agência Estadual de Meio Ambiente)	Regional Agency with a police authority over the management of environmental resources.
Pernambuco Regulatory Agency (ARPE - Agência Estadual de Regulação de Pernambuco)	Regional agency for the regulation of public services (in particular water supply and sanitation - controls tariff evolutions).
Pernambuco Sanitation Company (COMPESA - Companhia Pernambucana de Saneamento)	Regional Company concessionaire for water supply and sanitation services.
Municipal Level (Recife)	
Secretariat for sanitation	Implementation of sanitation policies at the municipal level.
Municipal Agency for sanitation (SANEAR - Autarquia de Saneamento do Recife)	Implementation of sanitation policies at the municipal level, with a more flexible legal status than the Secretariat for sanitation
Health Secretariat (Secretaria de Saúde da Prefeitura da Cidade do Recife) and its Environmental Health Program (PSA - Programa de Saúde Ambiental)	Actions to prevent and respond to public health risks related to water.

Schéma conceptuel du système multicouche imbriqué de l'eau

- **La ressource en eau**
 - est située en 3 couches
 - est gérée par un système de gouvernance multicouche
 - est consommée / utilisée à travers différentes stratégies individuelles, liées aux intégrations socio-environnementales contrastées de la population
- Sous l'effet du **forçage climatique** et des **pressions démographiques locales**, les interrelations entre ces systèmes multicouches peuvent entraîner des conflits d'un points de vue
 - quantitatif,
 - Qualitatif,
 - et sanitaire

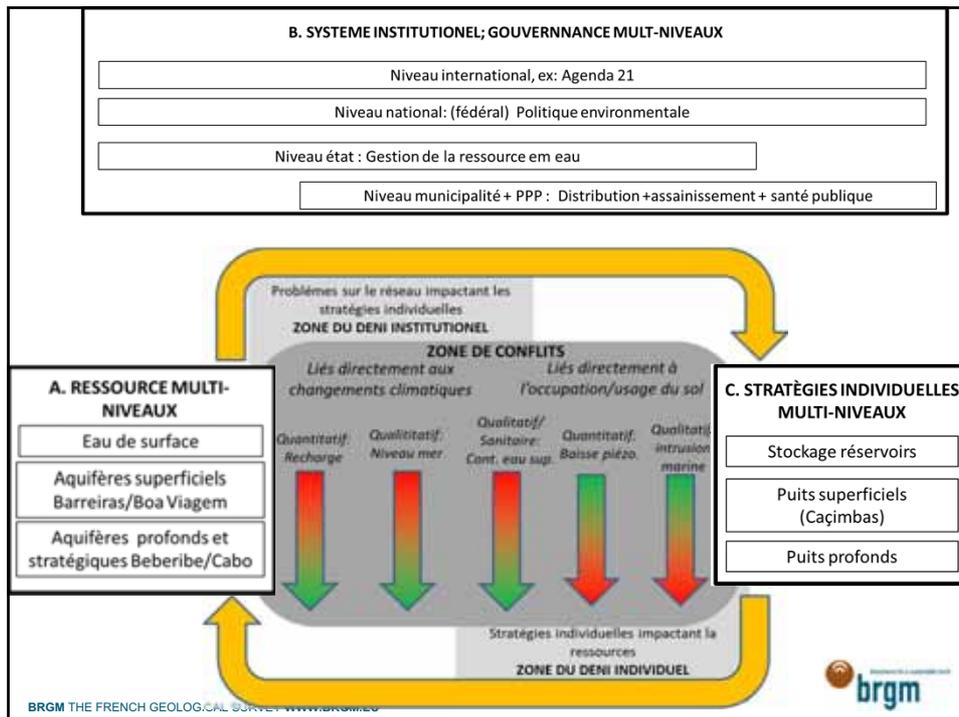
} Déni institutionnel
 } Déni individuel
- Prise en compte des **dimensions dynamiques** de chaque système multicouche,
 - Devenir de la ressource,
 - Devenir de la gouvernance,
 - Devenir des stratégies individuelles



Base de propositions pour une gestion durable des ressources



Schéma hydrogéo-socio-ethnologique intégré transférable vers d'autres zones urbaines côtières du sud.



En résumé

- **Une revisite complète de la compréhension des systèmes aquifères locaux**
 - Temps de résidence des eaux / recharge
 - Origine et processus de salinisation et de contamination
- **Une projection réaliste sur le futur des ressources en eaux**
 - Changements climatiques
 - Changements sociétaux
- **Un état des lieux porté à connaissance des acteurs locaux du domaine de l'eau**



La valorisation scientifique du projet – Articles

- Cary L., Petelet-Giraud E., Montenegro S., Hirata R., Martins V., Arouet A., Pauwels H., Kloppmann W., Aquilina L. and the COQUEIRAL team. Groundwater Salinization in a Coastal Multilayer Aquifer: Preliminary Results on Origins and Mechanisms- Example of Recife (Brazil). Water Rock Interaction [WRI-14] Conference. *Procedia Earth and Planetary Science*, 7, 118-122.
- Cary P., Giglio-Jacquemot A., Giglio T. et Melo A., 2015. Vivre avec la pénurie d'eau à Recife, *Espace populations sociétés*, 2014/2-3, <http://eps.revues.org/5824>.
- Cary L., Petelet-Giraud, E., Bertrand, G., Kloppmann, W., Aquilina, L., Martins, V., Hirata, R., Montenegro, S., Pauwels, H., Chatton, E., Franzen, M., Arouet, A. and the team. 2015. Origins and processes of groundwater salinization in the urban coastal aquifers of Recife (Pernambuco, Brazil): A multi-isotope approach. *Science of the Total Environment*, 530-531: 411-429.
- Bertrand G., R. Hirata, H. Pauwels, L. Cary, E. Petelet-Giraud, E. Chatton, L. Aquilina, T. Labasque, V. Martins, S. Montenegro, J. Batista, A. Arouet, J. Santos, R. Bertolo, G. Picot, M. Franzen, R. Hochreutener, G. Braibant, 2016. Groundwater contamination in coastal urban areas: Anthropogenic pressure and natural attenuation processes. Example of Recife (PE State, NE Brazil). *Journal of Contaminant Hydrology* 192: 165-180.
- Kloppmann W., Petelet-Giraud E., Guerrot C., Cary L., Pauwels H., 2015. Some extreme B isotope ratios in groundwater. 11th Applied Isotope Geochemistry Conference, AIG-11 BRGM. *Procedia Earth and Planetary Science*, 13: 296-300.
- Chatton, E.; Aquilina, L.; Petelet-Giraud, E.; Cary, L.; Bertrand, G.; Labasque, T.; Hirata, R., Martins, V., Montenegro, S., Vergnaud, V., Arouet, A., Kloppmann, W., Pauwels, H., 2016. Glacial recharge, salinization and anthropogenic contamination in the coastal aquifers of Recife (Brazil). *Science of the Total Environment*, 569-570: 1114-1125.
- Cary P., Giglio A. et Melo A.M. ,2016. Faire face au manque d'eau à Recife : les leçons d'une métropole brésilienne, *Métropolitiques*, 24 novembre 2016. URL : <http://www.metropolitiques.eu/Faire-face-au-manque-d-eau-a.html>
- Bertrand G., Hirata R., Auler A, Cruz F., Cary L., Petelet-Giraud E., Chatton E., Aquilina L., Moquet J.S., Bustamante M.G., Millo C., Martins V., Montenegro S., Celle-Jeanton H., 2017. Groundwater isotopic data as potential proxy for Holocene paleohydroclimatic and paleoecological models in NE Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 469:92-103.
- Petelet-Giraud E., Cary, L., Cary, P., Bertrand, G., Giglio-Jacquemot A., Hirata, R., Aquilina, L., Alves, L.M., Martins, V., Melo, A.M., Montenegro, S., Chatton E., Franzen, M., Arouet, A. and the COQUEIRAL team. 2018. Multi-layered water resources, management, and uses under the impacts of Global Changes in a Southern Coastal Metropolis: when will it be already too late? Crossed analysis in Recife, NE Brazil. *Science of the Total Environment*, 618: 645-657. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.228>



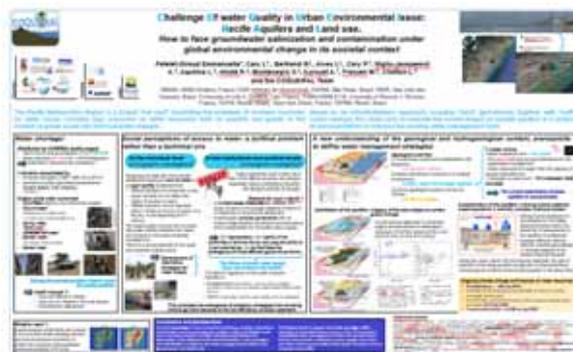
BRGM THE FRENCH GEOLOGICAL SURVEY WWW.BRGM.EU

La valorisation scientifique du projet – Présentations à congrès

- Un total de 19 présentations orales et posters sur les différentes thématiques du projets par les équipes brésiliennes et françaises



Salt Water
Intrusion
Meeting (SWIM)



BRGM THE FRENCH GEOLOGICAL SURVEY WWW.BRGM.EU

La valorisation scientifique du projet – Ouvrage en FR



Affronter le manque d'eau dans une métropole
Le cas de Recife – Brésil

Date prévue par l'éditeur : mi Mai

Auteur : **Paul CARY** |

Editeur : **PRESSES UNIVERSITAIRES DU SEPTENTRION**

Année : **05/2018**

São Paulo, San Francisco, Rome... Les métropoles, au Nord et au Sud, manquent régulièrement d'eau. Les 4 millions d'habitants de Recife, au Brésil, affrontent depuis plusieurs décennies les défaillances du réseau public: l'eau au robinet fait souvent défaut et sa qualité n'est pas assurée. Les habitants se sont organisés pour faire face selon leurs moyens financiers: puits profonds, ravitaillement par camions-citernes ou connexions illégales sont monnaie courante. Les pouvoirs publics renouvellent les problèmes tout en tentant de réguler le secteur et d'investir dans les réseaux d'eau et d'assainissement. Cependant, la rapidité des changements climatiques et de l'impact de l'urbanisation a des impacts majeurs sur la ressource, en particulier sur les eaux souterraines. Est-il déjà trop tard ou quand le sera-t-il? L'Etat de la collaboration de chercheurs en sciences sociales et en sciences de la terre, cet ouvrage propose une analyse sans concession du défi de la gestion de l'eau dans les métropoles.

Reliure : **Relié**
Nbr de pages : **240**

Dimension : **cm**
ISBN 10 : **2757420267**
ISBN 13 : **9782757420263**

BRGM THE FRENCH GEOLOGICAL SURVEY WWW.BRGM.EU

La dissémination : Une Expo photos en Français et en Portugais



BRGM THE FRENCH GEOLOGICAL SURVEY WWW.BRGM.EU



Merci de votre attention
Remerciements à l'équipe franco-brésilienne

COQUEIRAL research project, co-funded by

- ANR CEP&S (ANR-11-CEPL-012)
- FACEPE (APQ-0077-3.07/11)
- FAPESP (2011/50553-0)

BRGM THE FRENCH GEOLOGICAL SURVEY WWW.BRGM.EU