



Environnement / Eau

SIEREM

Système d'Informations Environnementales sur les Ressources en Eau et leur Modélisation

[Claudine DIEULIN](#)
[Jean-François BOYER](#)

UMR HydroSciences Montpellier



Le contexte

Le groupe VAHYNE se donne pour principale problématique l'étude, à une échelle « régionale » de la variabilité hydrologique sur le continent africain. Cette variabilité est appréhendée à une échelle régionale. Le programme s'intéresse non pas aux origines climatiques de cette variabilité mais aux impacts qu'elle est supposée induire sur les ressources en eaux et sur les modifications qu'elle peut entraîner sur la relation « pluie-débit ». L'échelle régionale d'une part, et la prise en compte des différents éléments structurants du milieu (sols, végétations, géologie, etc.), d'autre part, imposent de s'appuyer sur une base de connaissances environnementales couvrant la zone étudiée. Les objectifs de SIEREM sont de trois ordres. Le premier objectif de SIEREM est de récupérer et réunir les données disponibles sur l'ensemble de la sous-région. Pour cela, un inventaire des sources de données a d'abord été effectué afin d'estimer le volume et le format des données qui sont à traiter. Le deuxième objectif est de construire système d'information permettant d'intégrer les données et qui fourni des outils pour les gérer et les utiliser. Enfin, le dernier objectif du projet SIEREM est de fournir des inventaires et des outils de récupération et de manipulation des données aux utilisateurs finaux. Ces outils doivent leur permettre d'avoir rapidement une idée exacte des données présentes afin de choisir leur zone d'étude.

Les données

Les données prises en compte sont de deux types principaux: hydroclimatologiques d'une part et de caractérisation physique du milieu d'autre part.

Le premier type de données se compose essentiellement de séries chronologiques de pluie, de débit et de variables météorologiques mesurées habituellement aux stations synoptiques. Ces séries chronologiques sont caractérisées par des informations descriptives appelées "metadonnées" qui définissent et situent les stations de mesures ainsi que les modes opératoires d'obtention de la donnée.

Le deuxième type de données sont les données de caractérisation physique des bassins versants. Ces données sont nécessaires à l'étude et portent sur toutes les connaissances qui permettent de mieux appréhender les comportements hydrologiques des bassins versants de la région. La nature du sol et son type d'occupation sont des exemples d'informations nécessaires pour définir ce comportement. De plus, le modèle numérique de terrain permet de définir le contour géographique du bassin et, en fournissant une information sur les lignes de pente, permet d'en dessiner le réseau de drainage.

Plusieurs sources de données étaient à notre disposition pour construire se système d'information. Parmi les plus importantes, on citera la base de données historiques de l'ancien Laboratoire d'Hydrologie de l'Orstom représentant, pour les pluies, quelques 83 000 années de données journalières réparties sur près de 3 000 postes et une vingtaine de pays. En ce qui concerne les données de débit des rivières, nous disposions d'environ 20 000 années de débits journaliers pour 1 000 stations de mesures sur une vingtaine de pays. Ces séries de données ont été complétées avec celles récoltées dans le cadre du programme ICCARE mené par l'Antenne Hydrologique d'Abidjan de l'IRD et le projet FRIEND AOC du Programme Hydrologique International de l'Unesco.

Les données météorologiques sont essentiellement celles mesurées par l'ASECNA (Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et Madagascar)

Les données physiques récupérées sur support électronique sont d'abord le réseau hydrographique extrait de la couverture mondiale du DCW. Le Digital Chart of the World (DCW) est une base de données géographiques au 1/1 000 000. Y sont stockées les données géographiques, des attributs de données et du texte qui peuvent être exploités avec ArcInfo et ArcView. Ces données étaient originellement produites par ESRI pour les services cartographiques de la défense américaine et distribuées sur support magnétique.

Le développement du Système d'Informations Environnementales

La méthode de modélisation du système d'information que nous avons utilisée est la méthode Pollen, adaptée de la méthode OMT, basée sur 2 principes :

- Représentations graphiques
- Étapes logiques du cycle de vie du système
- Modélisation conceptuelle des données (diagramme objet, dictionnaire)
- Modélisation des traitements (modèle fonctionnel, dictionnaire des fonctions)

- Identification des système, sous-systèmes et réservoirs de données (diagramme des systèmes, dictionnaires ..)

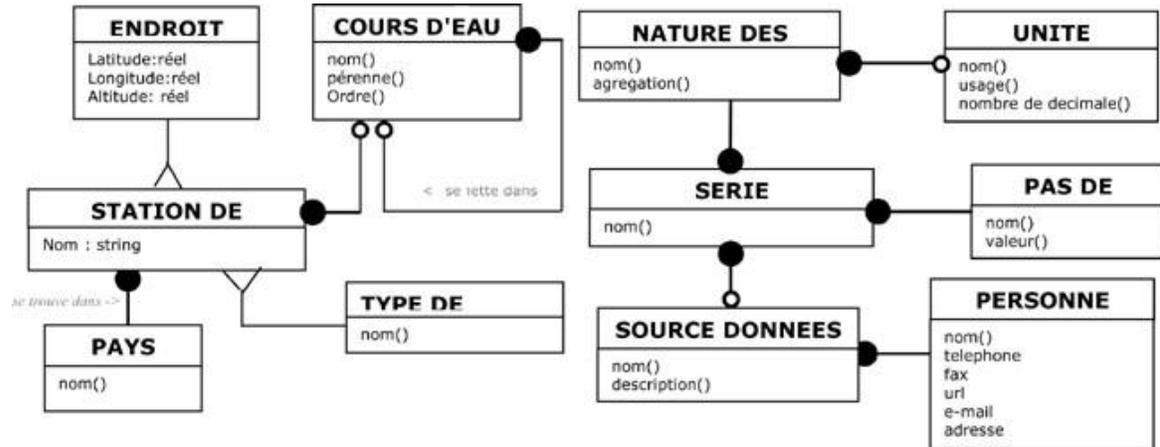


Figure 1 - Modélisation conceptuelle des données chronologiques.

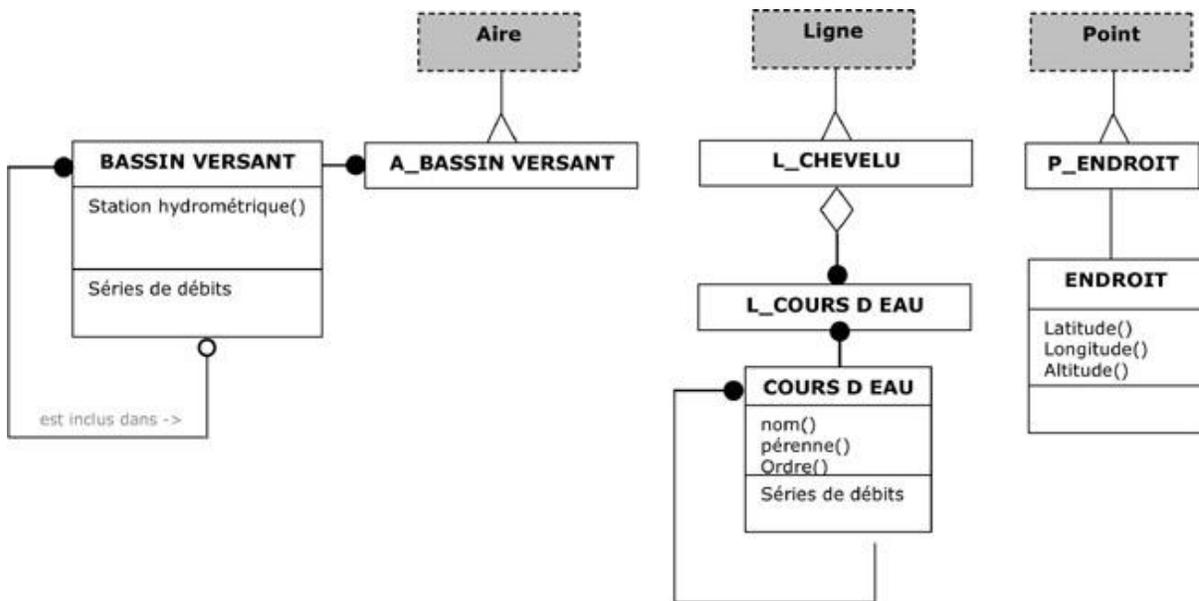


Figure 2 - Modélisation conceptuelle des données spatiales.

Figure 4 – Modélisation des traitements : modèle fonctionnel #1.

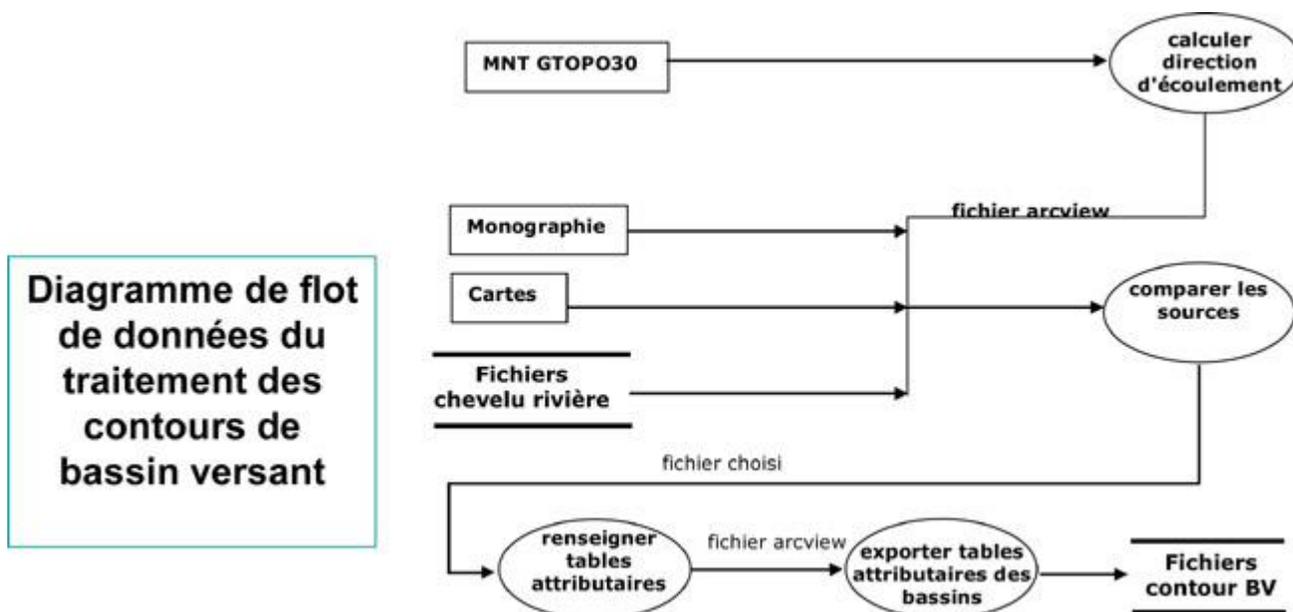


Figure 5 – Modélisation des traitements : modèle fonctionnel #2.

Conception du système

Ce système fonctionne selon un schéma qui identifie chaque maillon du système d'information comme un sous-système. Chaque élément du rouage est identifié par un contenant (sous-système), un contenu (identification du réservoir de données), un mode interne de fonctionnement (diagramme du système) et sa terminologie interne propre (dictionnaire des sous-systèmes).

Identification des sous-systèmes

- **Gestion des données chronologiques**
 - saisie, visualisation, inventaire extraction.
- **SGBD**
 - stockage, gestion des données et des méta-données.
- **SIG**
 - gestion objets spatiaux, services de cartographie et de requête.
- **Acquisition des données cartographiques**
 - stockage des cartes thématiques.
 - calcul de contour des bassins versants
 - détermination du chevelu d'un bassin hydrographique.
- **Exploitation des données cartographiques**
 - calcul et extraction des informations physiques d'un bassin versant.
- **Gestion de fichiers**

- stockage des fichiers des couches thématiques, de contour et de chevelu.

- **Visualisation d'un endroit**

- sélection d'un endroit et visualisation des photographies.

Conception - Identification des réservoirs de données

- **SGBD**

- stocke les instances des classes définissant les données hydro-météorologiques et les méta-données...

- **SIG**

- stocke les données spatiales...

- **Gestion de fichiers**

- organisé (arborescence)

- stocke logiquement les fichiers d'image NDVI, les fichiers des photographies.

Moyens mis en oeuvre

Développement d'un logiciel client d'extraction des données hydroclimatologiques (ORION).

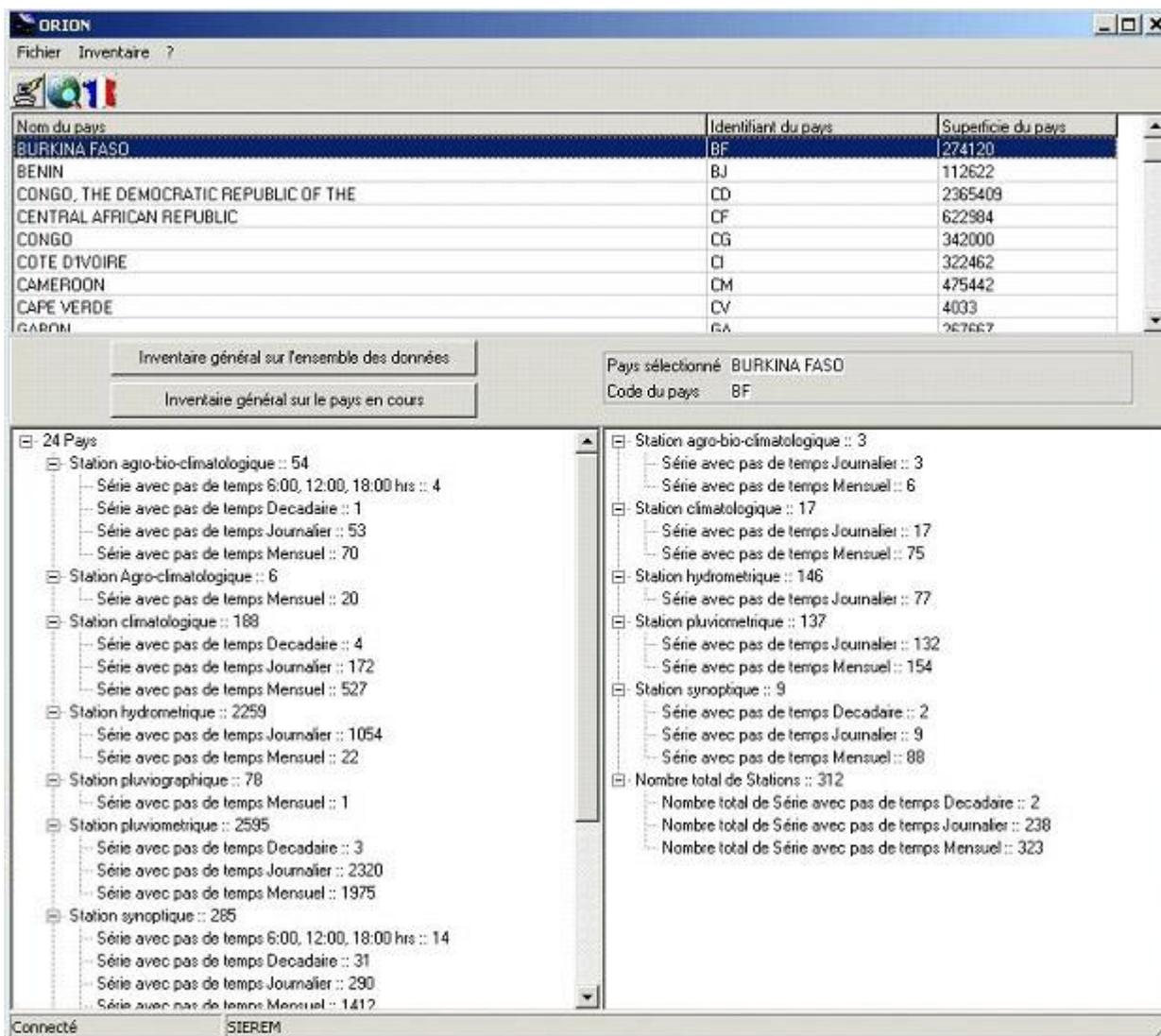


Figure 6 – Fenêtre d'extraction de données du Burkina Faso avec Orion.

Les données spatialisées

C'était le domaine où notre expérience était la moins éprouvée puisqu'au début du projet, nous n'avions aucune donnée spatialisée.

Le réseau hydrographique

En préalable, il était nécessaire de disposer d'une couche avec le tracé des cours d'eau. Nous avons choisi d'utiliser comme base de départ les fichiers DNL du Digital Chart of the World. De cette base, nous avons constitué une couche de polygones par bassin hydrographique. Pour chaque cours d'eau, tous les segments ont été regroupés afin que la rivière ne soit constituée d'une seule ligne allant de la source à la confluence avec un autre cours d'eau ou à l'embouchure pour le fleuve déterminant le bassin.

Nous avons effectué cette opération en utilisant les cartes topographiques dont nous pouvions disposer et avons également alimenté la table attributaire de ces couches en documentant : le nom de la rivière, un code de cinq caractères alphanumériques pour la rivière, le code du bassin (utilisé également dans la base de données chronologiques), l'ordre d'affluence de la rivière dans le bassin, un code de pérennité du cours d'eau et le code du

cours d'eau dans lequel il se jette.

Nous montrons en figure 7 la zone sur laquelle nous avons effectué cette opération. L'alimentation de la table est évidemment dépendante des documents disponibles sur la zone. Par exemple, sur la Côte d'Ivoire, le Burkina Faso, le Mali, la Guinée, le Sénégal, le Cameroun, nous avons pu disposer des cartes au 1/200 000 alors que sur d'autres pays nous avons dû nous contenter de cartes au 1/1 000 000, voire une échelle inférieure.

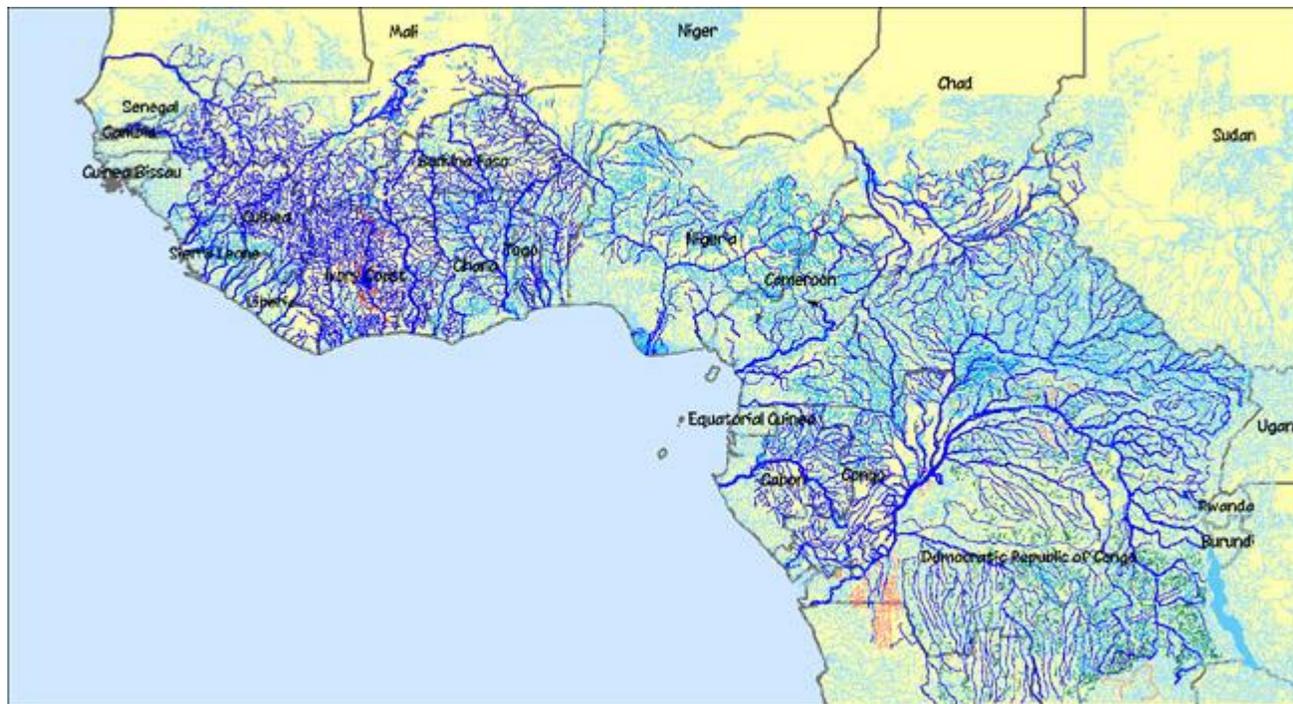


Figure 7 – Réseau hydrographique des bassins gérés dans la base de données spatialisées.

Le tracé des bassins

Au moment où nous avons commencé cette tâche, sur l'Afrique, n'était disponible que GTOPO30 comme modèle numérique de terrain couvrant la totalité de la zone d'étude. Le pas de 30 secondes d'arc était tout à fait adéquat pour l'échelle de notre étude. La qualité était par contre assez hétérogène.

Nous avons utilisé sur ce MNT les modules hydrologie avec Spatial Analyst, en effectuant les opérations de flow direction, puis flow accumulation et enfin le module delineate basin.

À partir de ce processus automatique, il a fallu ensuite regrouper les polygones pour définir les bassins aux points de mesure sélectionnés. Nous avons rencontré de sérieux problèmes sur certaines aires où le relief est très peu marqué. C'est aussi sur ces aires que le réseau numérisé était défaillant. C'est à ce stade du développement que nous avons trouvé dans les publications de l'IRD (monographie du fleuve Niger, du Sénégal...) les solutions aux tracés automatiques défaillants.

Nous avons pendant cette étape de développement dû corriger les coordonnées d'un certain nombre de stations. Ceci s'expliquant par l'absence de moyens efficaces pour relever les coordonnées à l'époque où les équipements ont été installés, mais aussi au fait que l'utilisation d'outils de représentation spatiale en hydrologie n'avait pas encore été couplé avec la base de données chronologiques.

La grille au pas de un demi degré

Le modèle hydrologique utilisé a comme unité d'étude une grille au pas d'un demi degré. Il a fallu constituer une couche de polygones à ce pas. Chaque cellule pour le modèle étant caractérisée par la valeur XY de son centroïde.

Les sols

La quantité d'eau interceptée par le sol est l'un des paramètres en entrée du modèle. Antérieurement, dans les modèles de type bilan hydrologique, ce paramètre était fixé empiriquement. Le fait de prendre en compte la nature du sol est un plus certain dans notre approche.

Il nous fallait disposer d'une couverture pédologique de traitement homogène sur une zone couvrant plus de 6 millions de kilomètres carrés. Nous avons choisi d'utiliser la carte des sols de la FAO. Cette carte est diffusée sur support numérique depuis 1993.

Cette carte est au 1/5 000 000, elle comporte 4 930 unités de sols différentes. Chaque unité est caractérisée par une classe de sol dominant, une ou deux classes de sol associé, jusqu'à trois inclusions, un nombre qualifiant la texture du sol (de grossier à fin), et une lettre minuscule caractérisant la pente de l'unité de sol.

Les classes correspondent ce qu'on peut qualifier en raccourci de "profondeur racinaire", et que nous avons décidé d'utiliser comme profondeur d'infiltration. Chaque classe est donnée pour une fourchette de valeurs. Nous avons dans un premier temps remplacé les pourcentages dans chacune des classes par les valeurs absolues pour le minimum, la moyenne et le maximum de chaque fourchette. Nous avons ajouté ces champs (intitulés SMIN, SMOY, SMAX) à la couverture des sols.

Nous avons ensuite découpé la couverture pédologique avec les contours des bassins. Puis, nous avons intersecté cette couche avec la grille du modèle.

Nous avons alors pondéré les valeurs S à la superficie occupée dans la maille, sommé à l'intérieur de la maille les valeurs pondérées pour n'obtenir que trois valeurs de quantité de pluie interceptée.

Nous avons ajouté aux valeurs données par la FAO, celle calculée par Reynolds à partir d'autres critères.

Tous ces calculs ont été faits sur les 356 bassins destinés à être modélisés. Nous avons utilisé ArcGis 8.2 pour mener à bien ces calculs.

Le site SIEREM

Depuis le début, nous avons développé ce système d'informations environnementales pour servir d'appui à la modélisation. C'était une expérience nouvelle pour toute l'équipe, un challenge que nous avons eu à cœur de réussir. Le stade final fut la réalisation d'un site Internet présentant tout ce travail et proposant un certain nombre de "produits" issus de notre activité.

La partie des données chronologiques

Sur ce site, dès la page d'accueil, on peut s'orienter soit vers les inventaires des données chronologiques qui sont celles qui sont utilisées pour la modélisation avec les contacts des services propriétaires et gestionnaires de ces données. L'accès à cette partie du site se fait par une carte d'Afrique composée de boutons, chaque pays données est un bouton (figure 8), un clic sur un pays amène à une page où apparaissent les différents types de données climatiques observées dans ce pays, un clic sur le type de données affiche la liste des stations qui mesurent ce type de données, la ou les période(s) d'observation.

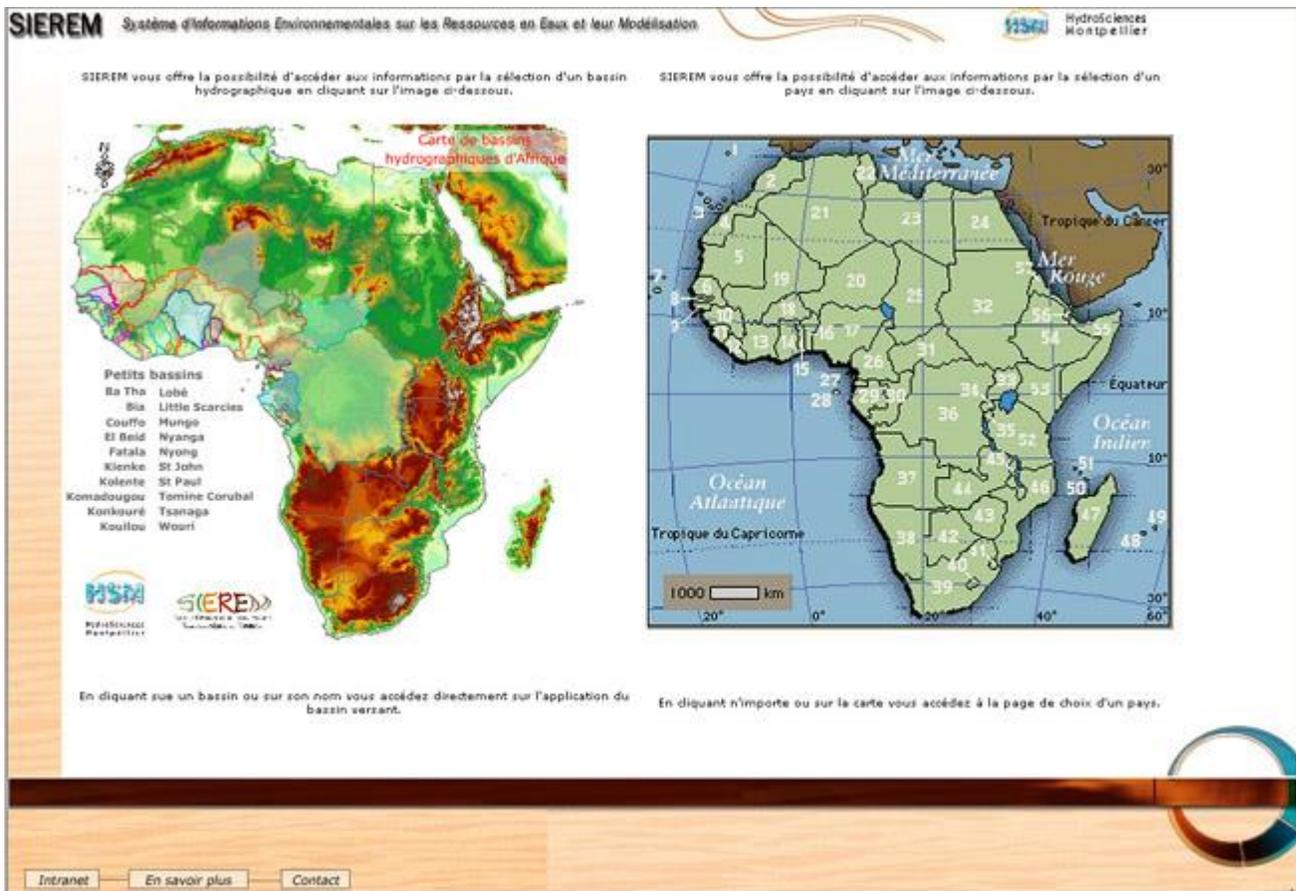


Figure 8 – Page d'accès aux données.

Si dans la liste une station a fait l'objet d'un traitement spatialisé, un lien permet d'accéder au serveur Arclms. Lorsque les méta-données sont documentées, un lien permet d'y accéder.

La partie données spatialisées

L'autre carte disponible amène aux données hydrographiques, de nouveau, une liste apparaît sur laquelle figurent les stations hydrologiques se situant dans le bassin dont la carte est affichée à gauche de l'écran.

Un icône dans la partie inférieure gauche de cet écran permet de se diriger sur une première carte cliquable du bassin hydrographique, cette carte affiche tous les sous-bassins tracés pour le fleuve. Un clic sur un sous-bassin lance l'application Arclms.

Chaque sous-bassin comporte le tracé de la zone drainée au point de mesure, le tracé du cours d'eau, les frontières politiques, une couche de géologie (figure 10), les classes de végétation de Holdridge découpées au demi-degré carré (figure 11), et enfin les capacités en eau des sols (figure 12) mentionnées précédemment calculées au demi-degré carré. Le visiteur peut accéder à la table attributaire de chaque couche en la rendant active et en utilisant l'outil information. Il est possible d'enregistrer l'image du sous-bassin au format .jpg.

Un bouton intitulé "produits" permet au visiteur de télécharger les cartes bitmap des contours des pays, les images des bassins découpés dans le modèle numérique de terrain SRTM30.

Nous prévoyons de fournir à la demande les couches ArcView à charge pour le bénéficiaire de nous citer comme référence à chaque utilisation de ces données.

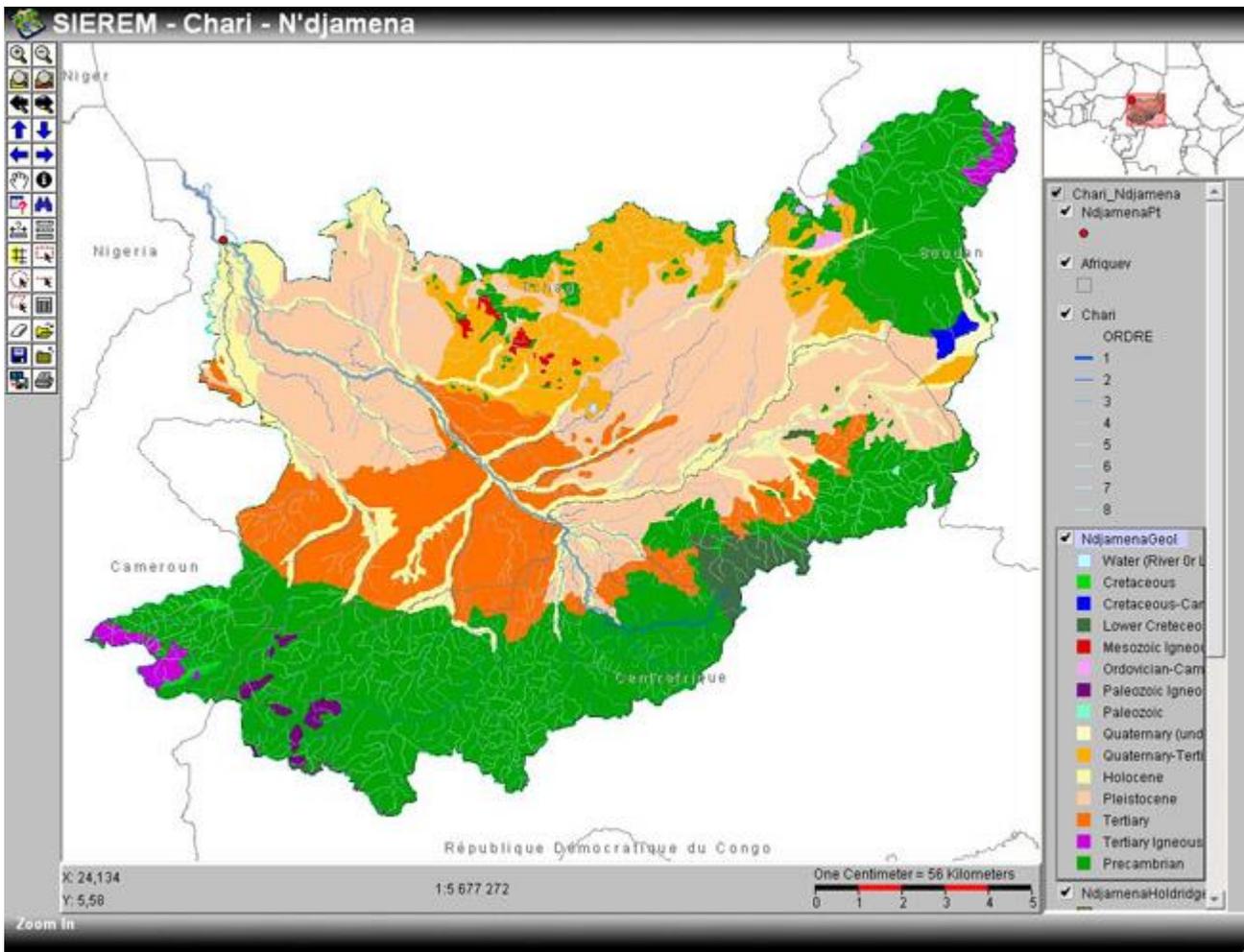


Figure 9 Géologie du bassin du Chari à Ndjamenà.

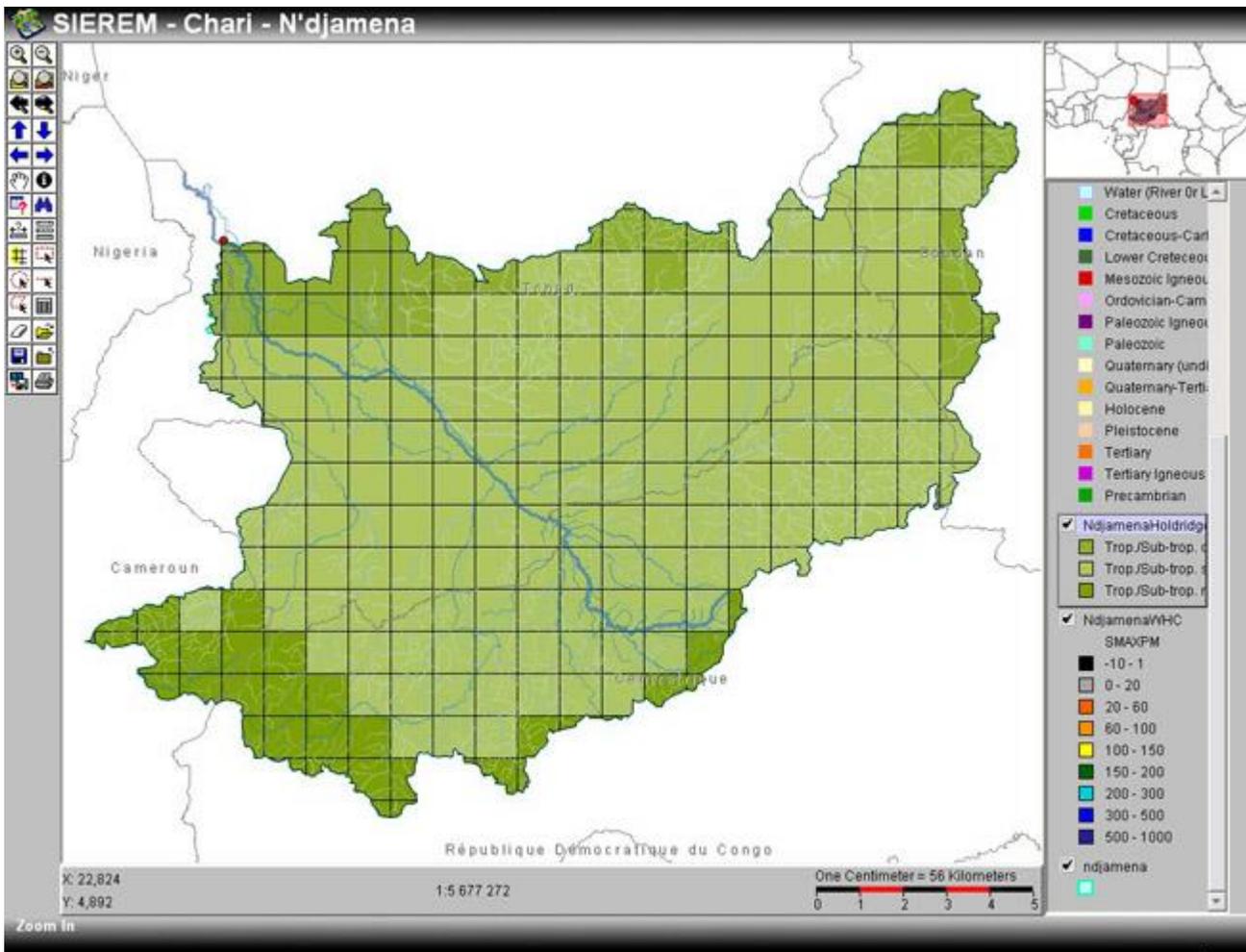


Figure 10 Classes de végétations de Holdridge sur le bassin du Chari à Ndjamen.

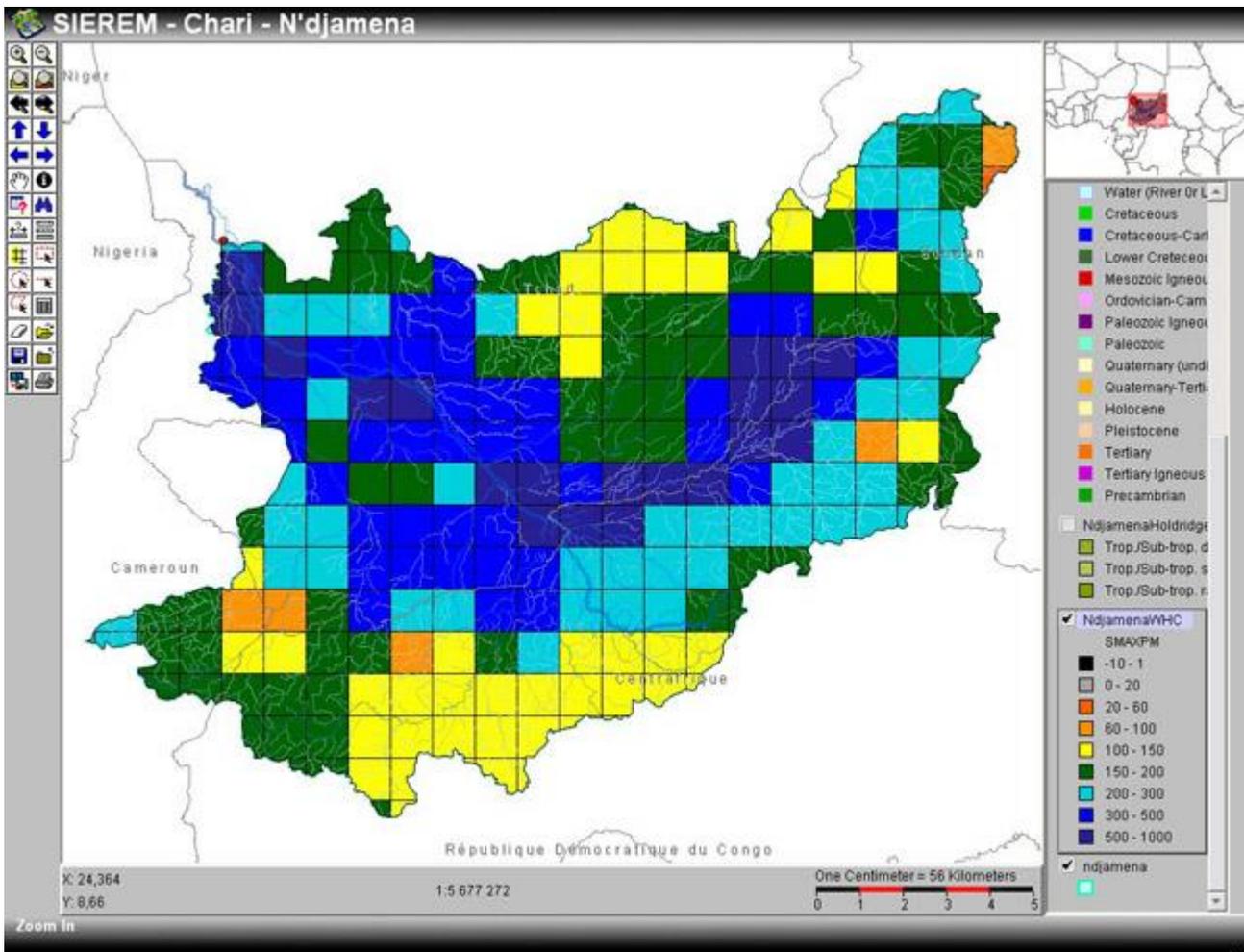


Figure 11 Capacités en eau des sols sur le bassin du Chari à Ndjamen.

Les chiffres à retenir :

27417 années pour 342 postes de données météo,
 19749 années pour 891 stations de données de débit,
 70651 années pour 2737 postes de données de pluie,
 356 bassins délimités et alimentés en données spatialisées sur une zone de plus de 6 millions de kilomètres carrés.

Références

ANONYME /WMO [1994] - Guide to hydrological practices - Data acquisition and processing, analysis, forecasting and other applications - World Meteorological Organisation - id. spanish, french, russian. N° 168 - Fifth Edition, 1994.

BRECHE [1992] - Inventaire des outils existants pour la gestion des données hydrologiques - CST/BVRE : CEMAGREF Lyon, INRA, LCPC, ORSTOM, Université Lyon I, Déc., 40p.+annexes.

CHASE N. Active Server Pages 3.0 l'Intro - CampusPress

- DELOBEL, C, ADIBA, M. [1982] - Bases de données et systèmes relationnels - Ed. Bordas, Paris, 449p.
- DELOBEL, C., LECLUSE, C. et RICHARD, P. [1991] - Bases de données : des systèmes relationnels aux systèmes à objets - Ed. InterEditions, 460p.
- DIEULIN, C., 2005 : Calcul des capacités en eau des sols (WHC) à partir de la carte des sols de la FAO. Note interne HydroSciences Montpellier
- EUROPEAN COMMISSION [1998] - Freshwater : a Challenge for Research and Innovation - A concerted European Response - Environment -Water Task Force - July 1998
- FAO, 1995 : Digital Soil Map of the World and Derived Soil Properties. (CDROM). FAO Land and Water Digital Media Series.
- GARDARIN G. Bases de données - Eyrolles
- GAYTE O., LIBOUREL T., ...[1997] - Conception des systèmes d'informations sur l'environnement – HERMES – Collection Géomatique
- HOMER A., DAREN G. et JAKAB S. - Interface entre Web et Bases de données - Eyrolles
- KOVAR K et NACHTNEBEL H.P. [1993] – Application of Geographic Informations Systems in Hydrology and Water Resources Management – IAHS
- LANG M, [1995] - Les chroniques en hydrologie - CEMAGREF - juin, 292p.
- RAY J. Macromedia Dreamweaver Ultradev 4 - Développement - CampusPress
- RDF, [2000].Resource Description Framework, W3C Technology and Society Domain, <http://www.w3.org/RDF/> .
- REYNOLDS, C.A., JACKSON, T.J., RAWLS, W.J., 1999 : Estimating available water content by linking the FAO Soil Map of the World with Global Soil Profile Databases and Pedo-transfer functions. Proc. AGU 1999 Spring Conference, Boston, May 31-June 4.
- ROUET P. - Les données dans les systèmes d'information géographique - HERMES
- SADOURNY, R [1996] - Le cycle de l'eau à grande échelle : impact de changements climatiques globaux. Soc. hydrot. Française, 24e journées de l'hydraulique, L'eau, l'homme et la nature, 19-28, Paris, 18-20 septembre 1996.
- VERSEAU S.A. [1990] - Les cahiers de VERSEAU- Systèmes de télémessure
- W3C, [1997]. Date and Time Formats, W3C Technical Report, <http://www.w3.org/TR/Note-datetime.html>.
- W3C, [2000]. Resource Description Framework (RDF) Schema Specification 1.0 <http://www.w3.org/TR/2000/CR-rdf-schema-20000327/>
- WYNKOOP S. - Microsoft SQL Server 2000 -CampusPress.

