

# [01054] CONCEPTION ET RÉALISATION D'UN SYSTÈME D'AIDE À LA DÉCISION POUR UNE GESTION INTÉGRÉE DES RESSOURCES EN EAU DANS LE BASSIN VERSANT DE TENSIFT

Said Lahssini<sup>1</sup>, Hicham Mharzi Alaoui<sup>2,3</sup>, Anass Nabaha<sup>3</sup>, Abdellatif Khattabi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs, Boulevard My Youssef BP 511 Salé Tabriket, Maroc, [marghadi@gmail.com](mailto:marghadi@gmail.com)

<sup>2</sup> Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat

<sup>3</sup> Haut Commissariat aux eaux et forêts et à la Lutte Contre la désertification

## ABSTRACT

This work aims to support an integrated water resource management (IWRM) in the Tensift basin through the development of a decision support system (DSS) that allows users to share spatial data and to inform the decision-making process. Through the implementation of interoperability and data sharing standards (ISO, OGC), we aim to develop a friendly and interactively DSS that will provide stakeholders with spatial data services and processing functions useful for decision-making. The design and development of this DSS consist of: i) the definition of the outline of the system, ii) the identification of stakeholders, iii) the types of data used; and iv) the procedures underlying the production, transfer and exploitation of spatial data. We have used an open source environment focusing on a service-oriented architecture. The first results of testing the prototype shows that this DSS allows stakeholders to create, share and store spatial data related to infrastructure, resources, development activities, territories and risk management associated with extreme events. The prototype is extensible to accommodate new stakeholders' concerns.

**Keywords:** Integrated water resources management, DSS, OGC

## RESUME

Le présent travail vise à appuyer une gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) dans le bassin versant de Tensift, à travers le développement d'un système d'aide à la décision (SAD). Ce SAD permettra aux parties prenantes de partager les données et les informations relatives à la gestion durable des ressources en eau, d'une part, et d'éclairer les processus de prise de décision en la matière dans une perspective d'assurer la bonne gouvernance et la gestion durable des ressources en eau, d'autre part.

Le SAD a été développé à l'aide de l'implémentation des standards d'interopérabilité et de partage de données conformes aux normes internationales en vigueur (ISO, OGC). Il permet d'offrir aux différentes parties prenantes des informations geo-référencées utiles et ce de manière interactive, simple et conviviale.

La conception et le développement du SAD a consisté en : i) la définition du contour du système, ii) l'identification des acteurs, iii) les types de données mobilisées et iv) les procédures sous-jacentes à la production, transfert et exploitation de données spatiales. L'implémentation a été réalisée dans un environnement open source et basée sur une architecture ouverte et orientée services. Les premiers résultats issus du test du prototype montrent que ce SAD permet aux acteurs de constituer, partager et disposer de données se rapportant aussi bien aux infrastructures, aux ressources, à l'aménagement et à la structuration de l'espace ainsi qu'à la planification et à la gestion des risques inhérents aux événements extrêmes. Les fonctionnalités du prototype développé peuvent facilement être étendues pour prendre en compte d'autres préoccupations des acteurs.

**Mots-clés:** gestion intégrée des ressources en eau, Système d'aide à la décision (SAD), Interopérabilité, OGC

## 1. INTRODUCTION

L'eau, ressource importante pour la vie sur terre est actuellement menacée par de multiples pressions qui affectent aussi bien sa quantité que sa qualité. En effet, en plus de la pollution et la surexploitation engendrées par les activités anthropiques, elle est aussi soumise aux aléas climatiques qui sont de plus en plus récurrents.

Le Maroc en tant que pays caractérisé par l'aridité est vulnérable à la rareté de l'eau. En effet, il a déjà atteint le seuil critique d'exploitation de ses ressources hydriques de surface (Roy et al., 2005) et il est considéré comme pays à risque extrême de stress hydrique (WWRI, 2015). En plus de leur impact avéré sur les ressources hydriques, le changement climatique pourrait aussi avoir des impacts néfastes sur les biens et sur les vie humaines (Sibari et al., 2001; Saidi et al., 2010).

Dans ce contexte, une gestion rationnelle de cette ressource est indispensable pour assurer et soutenir le développement économique et le bien être humain. Cette gestion est, par nature, multidisciplinaire impliquant plusieurs parties prenantes et nécessitant une approche holistique qui tienne compte aussi bien des questions institutionnelles, environnementales, scientifiques, sociales et qu'économiques. Cette mise en œuvre sous-tend

faciliter l'adaptation aux effets hydrologiques du changement climatique et d'aider à atténuer par conséquence les diverses formes de vulnérabilité sous-jacentes.

Soucieux de cette problématique, les pouvoirs publics avaient mis en place panoplie d'outils (stratégiques en l'amont: Plan National d'Aménagement de Bassins Versants en 1998, réglementaire : loi sur l'eau en 1995, et opérationnels) sous-tendant une série de principes fondamentaux dont l'unicité de la ressource en eau, sa gestion intégrée et décentralisée par bassin-versant et la participation des usagers dans un contexte caractérisé par l'équité sociale et l'efficacité économique et ce pour une gestion intégrée des ressources en eau (GIRE).

Si la GIRE est multidisciplinaire impliquant une multitude d'acteurs aux intérêts forts divergents, elle nécessite et mobilise une énorme masse de données/information de formes et de natures très différentes qui ne sont pas faciles à trouver et/ou à exploiter. En effet, les informations relatives à la gestion de l'eau sont souvent caractérisées par la dispersion, l'hétérogénéité et une faible structuration, ce qui complique les possibilités de leur exploitation optimale dans le processus de prise de décision.

Le présent travail s'inscrit dans une perspective d'utiliser la technologie digitale pour mettre à disposition des parties prenantes des outils leur facilitant la gestion des ressources hydriques. Il consiste en le développement d'un système d'aide à la décision (SAD) permettant aux acteurs du bassin versant de Tensift de partager les données relatives à la gestion durable des ressources en eau et d'éclairer leurs processus décisionnel en la matière.

Le SAD constituera une plate-forme pour assurer le partage des données spatiales relatives à la gestion de la ressource en eau conforme aux bonnes pratiques en la matière (Kiehle et al., 2007). Il répondra aux préoccupations du projet de recherche dans lequel le travail s'inscrit, le projet GIREPSE ([www.gire-pse.com](http://www.gire-pse.com)), en l'occurrence, aux préoccupations relatives à la GIRE, aux contraintes organisationnelles, aux besoins des parties prenantes, ainsi qu'au niveau d'ouverture sur les autres systèmes et le respect des standards d'interopérabilité et de partage de données.

## 2. MATERIELS ET METHODES

### 2.1. Contour du système et approche globale

Le SAD est un support qui fournit aux décideurs des informations de la manière la plus compréhensible possible (Hartley and Almuhaideb 2007) et la plus efficiente en vue de leur clarifier le contexte de décision (Tsoukias, 2003) pour élucider ou concourir vers le choix de la meilleure option (Ochola and al., 2004). Plusieurs auteurs (Goodall et al., 2011; Giupponi and Sgobbi, 2013; Speth et al., 2010; Vacik and Lexer, 2001) ont synthétisé les principales composantes d'un SAD. Ces composantes comprennent : i) une base de données spatiale ; ii) modèles utilisant ou produisant l'information spécifique pour des modèles implémentés dans le système ou d'analyses spatiales réalisées soit par le SGBDR ou par des outils dédiés, iii) procédures de partage relatives aussi bien aux données qu'aux modèles ; et iv) interface graphique (GUI) permettant la communication entre l'utilisateur et le système.

L'analyse du système consiste en : i) l'analyse de l'existant ; ii) l'identification des acteurs concernés ; iii) l'analyse des procédures et des ressources afférentes au traitement et partage de données spatiales entre les différents acteurs ; et iv) l'harmonisation de ces ressources et l'identification des principaux modèles décisionnels.

Au cours de l'analyse système, le formalisme de l'UML a été retenu. L'importante masse d'informations provenant de plusieurs utilisateurs est structurée en paquetage pour en améliorer les possibilités d'exploitation. Un paquetage comporte l'ensemble des classes qui interagissent ensemble pour réaliser des cas d'utilisation. Les classes permettent de définir les composantes du système final et de structurer le travail de développement de manière efficace.

### 2.2. Choix technologiques

L'architecture 3-tier a été retenue. Elle consiste en trois couches : i) présentation des données (correspondant à l'affichage, la restitution sur le poste de travail et le dialogue avec l'utilisateur) ; ii) traitement métier des données (mise en œuvre de l'ensemble des règles de gestion et de la logique applicative) ; et iii) accès aux données persistantes (correspondant aux données qui sont destinées à être conservées sur la durée). Elle s'articule ainsi autour de cinq composants logiciels :

- Couche Données : représentée par la base de données géographique qui permet le stockage de données. Elle est implémentée sous PostgreSQL avec la cartouche spatiale PostGIS. Cette dernière lui confère pleinement le statut de bases de données spatiales en y ajoutant les trois supports suivants : les types de données spatiales, les index et les fonctions. Elle implémente les standards SQL-2011 et les standards OGC (Stones and Matthew, 2005).
- Couche Présentation : représentée par les interfaces accessibles via les navigateurs web et qui donneront aux utilisateurs l'accès aux différentes composantes du SAD : cartographie thématique, recherche, requêtes, mise à jour, téléchargement et transfert de données. Cette fonctionnalité est assurée via un

géoportail avec mise en œuvre basée sur le déploiement de la solution open source Geonode ([www.geonode.org](http://www.geonode.org)).

- Couche Traitements : représentée par le serveur d'application (Serveur cartographique GeoServer et 52° North) et le serveur web (Apache).
- Système de Paramétrage permet d'administrer le DSS en termes des droits d'accès, des modalités de mise à jour de la base de données et des règles de gestion des informations manipulées par le système.
- Catalogue de données qui est un recueil qui permet d'organiser les métadonnées structurées pour faciliter le partage et la mutualisation des données géographiques proprement dites entre plusieurs acteurs. Geonode retenu dispose d'un catalogue de données et supporte des formats divers de fichiers SIG (fichiers vecteurs, raster, jeux de données, bases de données...) en plus d'autres formats numériques (Texte, PDF, Word, zip...), il permet aussi la visualisation cartographique des données, les recherches étendus sur les données géo spatiales et leurs métadonnées.

### 2.3. Composantes d'aide à la décision du système

L'appui aux décideurs est conçu, dans le SAD, de deux manières complémentaires. La première sous-tend clarifier le contexte de décision au moyen d'indicateurs qui simplifient la perception et l'évaluation quantifiée des phénomènes environnementaux complexes ou de leur tendances. Cette mise en œuvre, basée sur une analyse DPSIR (forces motrices (drivers) – pressions – état (state) – impacts – réponses), permet de décrire toutes les interactions environnementales et sociales complexes et s'articule autour de cinq éléments qui sont reliés par des liens de causalité force: motrice (activité humaine) provoquant une pression sur l'environnement, qui se traduit par une modification de l'état général de ce dernier pouvant avoir un impact sur l'environnement, l'homme, ...etc. Celui-ci, en fonction de la gravité, va réagir et faire répondre la société civile; ces réponses s'inscrivent dans le registre de: mesures préventives dirigées vers les forces motrices, mesures curatives vers les pressions et l'état et mesures palliatives vers l'Etat et l'Impact.

La seconde manière se base sur l'exploitation des possibilités d'analyse et de traitement du serveur de traitement cartographique (WPS) et permettrait ultérieurement d'implémenter de nouveaux modèles de traitement spatialisés.

## 3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

### 3.1. Analyse et Conception du Systeme

Une analyse des acteurs a été réalisée par Bouaris (2015). Ceux retenus par le SAD sont : les départements concernés par les gestion et l'exploitation des ressources en eau (agence du bassin hydraulique du bassin versant de Tensift, office régional de mise en valeur agricole, observatoire régionale de l'environnement, direction régionale des eaux et forêts et de la lutte contre la désertification, direction régionale de l'agriculture, Parc national de Toubkal), les communes et les collectivité locales, la société civile et les citoyens du bassin versant. Ces divers acteurs ont recours à l'information spatiale ou à caractère spatio-temporel dans leurs processus décisionnels. Néanmoins, ils ne disposent pas tous de systèmes permettant de gérer les masses d'information produites et de les fédérer entre les différents parties prenantes.

La figure 1 illustre les quatre paquetage retenus: i- réseau des ressources, ii- réseau de mesures, iii-socio-économie, et iv- gestion forestière. Le premier paquetage regroupe les données relatives aux ressources hydriques : barrage, oued, sources, ...etc. Le deuxième regroupe les données sur les stations de mesure ainsi que la gestion des mesures de chaque station; ce paquetage a été conçu avec le souci de conformité avec le standard OGC WaterML2 (Taylor, 2012). Le troisième paquetage regroupe les données sur les populations, les ménages et les activités, ...etc. Le quatrième paquetage s'intéresse à la gestion forestière et regroupe les données relatives aux peuplements forestiers, structures de gestion ainsi qu'aux interventions à mettre en œuvre.

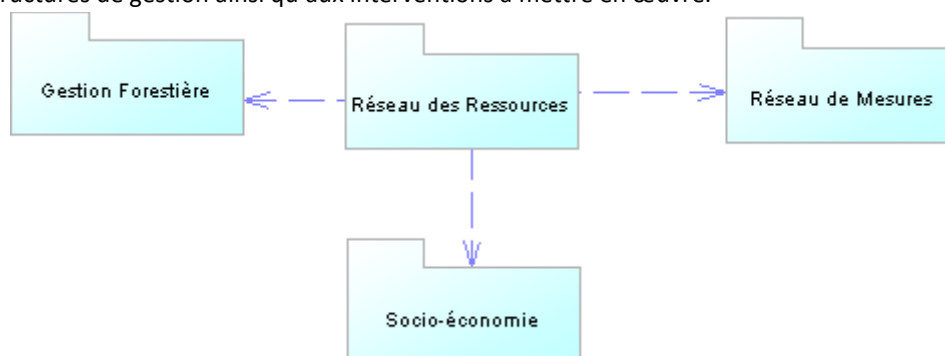


Figure 1. Diagramme de paquetages et relations de dépendance.

### 3.2 Prototype du système

La figure 2 illustre une capture d'écran du SAD. L'interface globale capitalise sur les fonctionnalités du GeoPortail Geonode et en étend les fonctionnalités. Le menu principal permet de gérer les cartes, les couches de données, les documents et de gérer de manière transparente et fine les droits d'accès aux différents jeux de données et ce pour des utilisateurs individuels ou faisant partie d'un groupe d'utilisateurs. Ainsi, des droits relatifs à la visualisation, à l'édition, et au téléchargement d'une ressource peuvent être modulés pour un/des utilisateur(s) ou éventuellement pour des groupes.

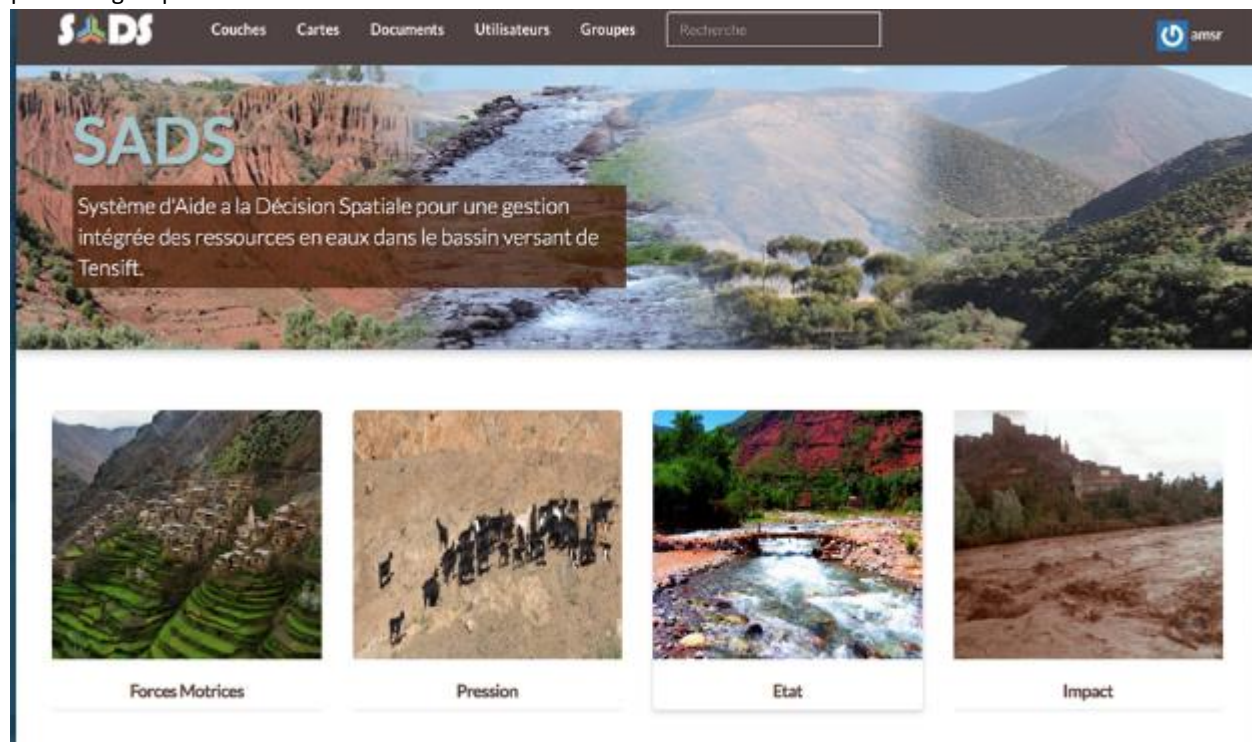


Figure 2: Menu principal du SAD

### 4. CONCLUSIONS

Au terme de ce travail, un SAD a été développé avec un souci d'implémentation des standards OGC. Il remplit ainsi les exigences d'une infrastructure de données spatiales (Kiehl et al., 2007). Les fonctionnalités du prototype développé peuvent facilement être étendues pour prendre en compte d'autres préoccupations décisionnelles des acteurs.

Les premiers résultats issus du test du prototype montrent que ce SAD permet aux acteurs de constituer, partager et disposer de données se rapportant aussi bien aux infrastructures, aux ressources, à l'aménagement et à la structuration de l'espace ainsi qu'à la planification et à la gestion des risques inhérents aux événements extrêmes. Le SAD offre aux différents acteurs, en plus de la structuration, harmonisation, mutualisation des données, des services geo-référencés et des informations utiles et ce de manière interactive, simple et conviviale. Il constitue par voie de conséquent un outil pour une gestion intégrée et durable de cette ressource et un moyen de bonne gouvernance permettant d'éclairer les décisions des acteurs.

#### Remerciements

Ce travail a été réalisé avec l'appui du Centre Canadien de Recherche pour le Développement International (CRDI) dans le cadre du financement du projet GIREPSE.

#### REFERENCES

- Bouaris, S. (2015), Jeux d'acteurs et enjeux de la conservation des ressources naturelles dans le bassin de l'Ourika, Mémoire de troisième Cycle de l'Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs, Salé.
- Giupponi, C., Sgobbi, A. (2013). Decision Support Systems for Water Resources Management in Developing Countries: Learning from Experiences in Africa, *Water* 2013, 5, pp. 798-818, doi:10.3390/w5020798
- Goodall, J. L., Robinson, B. F., Castronova, A. M. (2011), Modeling water resource systems using a service-oriented computing paradigm, *Environmental Modelling & Software*, Vol. 26, No. 5, pp. 573-582, doi: 10.1016/j.envsoft.2010.11.013.
- Hartley, R., Almuhaideb, S.M. (2007), User oriented techniques to support interaction and decision making with large educational databases, *Computers and Education*, Vol. 48, pp.268-284

- Kiehle, C., Greve, K., Heier, C. (2007), Requirements for Next Generation Spatial Data Infrastructures-Standardized Web Based Geoprocessing and Web Service Orchestration. *Transactions in GIS*, Vol. 11, No.6, pp. 819-834, doi: 10.1111/j.1467-9671.2007.01076.x.
- Ochola, W. O. , Kerkides, P., Argyrokastritis, I. , Kollias V. (2004), Water resources hazard management system: spatial extension for the assessment of sustainable water use practices in kenya, *Irrigation And Drainage*, 53, pp. 225–236.
- Roy, T., Dinar, A., Tsur, Y., Diao, X. (2005), Feedback links between economy-wide and farm-level policies: With application to irrigation water management in Morocco, *Journal of Policy Modeling*, 27, pp. 905–928.
- Saidi, M.E., Daoudi, L., Aresmouk, M.E., Fniguire, F. and Boukrim, S. (2010), Les crues de l'oued Ourika (Haut Atlas, Maroc): Événements extrêmes en contexte montagnard semi-aride. *Comunicações Geológicas*, t. 97, Lisbonne, 2010, pp. 113-128.
- Sibari, T., Haidi, S., Ait Foura, A. (2001). Typologie des crues et érosion mécanique dans un bassin versant de zone semi-aride : bassin versant de l'Inaouene, Maroc, *Science et changements planétaires, Sécheresse*, 12, no 3, pp. 187-193.
- Speth, P., Christoph, M., Diekkrüger, B. (2010), *Impacts of Global Change on the Hydrological Cycle in West and Northwest Africa*. Springer P.
- Stones, R., Matthew, N. (2005), *Beginning Databases with PostgreSQL From Novice to Professional*. Press publishing.
- Taylor, P. (Ed.) (2012), *OGC® WaterML 2.0*, Open Geospatial Consortium, <http://www.opengis.net/doc/IS/waterml/2.0> [Last Consulted on May 2016].
- Tsoukiàs, A. (2003), *On the concepts of decision aiding process*. Technical Report 2003-38, DIMACS, Rutgers University.
- Vacik, H., Lexer, M.J. (2001), Application of a decision support system in managing the protection forests of Vienna for sustained yield of water resources, *Forest ecology and management*, 143, pp. 65-76
- WWRI, (2015), *Ranking the World's Most Water-Stressed Countries*, <http://www.wri.org/blog/2015/08/ranking-world's-most-water-stressed-countries-2040> [consulté en juin 2016].