

## **Technologies de l'Information / Systèmes d'Information Géographique**

### **pour la Gestion des Ressources en Eau dans le Souss-Massa**

**ABHS**-Agence du Bassin Hydraulique du Souss-Massa

**EMI-LASH** : Ecole Mohammadia d'Ingénieurs, Laboratoire d'Analyse de Systèmes  
Hydrauliques

**Sponsor** : SIWM-US-AID : Souss Massa Integrated Water Management

#### **Résumé :**

L'objectif de cet article est de présenter l'apport des Technologies de l'Information (TI) et notamment des Systèmes d'Information Géographique pour la Gestion des Ressources en Eau au Souss-Massa dans le cadre du projet SIWM (Souss Massa Integrated Water resources Management) sponsorisé par l'US AID.

Après un bref aperçu sur la problématique, la vision TI et l'approche sont décrites. Les applications développées sont ensuite présentées.

Les outils développés dans ce cadre sont résumés en mettant l'accent sur leur apport dans la réalisation du projet en termes d'harmonisation des procédures, des données et des outils de développement, la collaboration participative visuelle et dans la gestion rationnelle et durable de es ressources en eau :

- Inventaire interactif intégré (I<sup>3</sup>) : un inventaire générique, exhaustif et indexé des données relatives à l'eau. L'inventaire comprend le paramètre mesuré, la date de la collecte et la localisation géographique de prélèvement ainsi que la fréquence de mesure et la série chronologique correspondante. L'outil consiste en un système interactif d'information qui permet d'analyser la couverture du Souss Massa en vue de dégager les chevauchements éventuels et les manques de données.
- Elaboration d'un outil pour l'évaluation et le suivi de la qualité. Cet outil utilise des informations relatives au thème de la qualité choisi en commun accord avec les partenaires et nécessitant des données harmonisées. Après avoir sélectionné conjointement les paramètres d'évaluation de la qualité de l'eau, une base de données géographique a été développée. La production de cartes thématiques (vulnérabilité, salinité, maladies hydriques) qui serviront de support de base pour l'aide à la prise de décision est ainsi possible.
- Elaboration d'un outil de gestion des allocations de l'eau : un modèle de concertation et de simulation des allocations pour la gestion de l'eau. Après avoir inséré les règles d'allocation communément admises par les partenaires et identifié les diverses contraintes, plusieurs scénarii sont développés et analysés. Ceci permet d'offrir aux partenaires une plate-forme de négociation et de concertation autour des résultats des simulations.

- Elaboration de cartes thématiques SIG Souss-Massa : Un CD a été préparé pour les partenaires avec une série de couches d'information couvrant le Souss-Massa (Cartes de base, pédologie, géologie, réseau hydrographique, image satellitaire acquise via le projet, découpage administratif, etc.).
- L'objectif ultime du projet étant de dresser de manière continue le bilan des ressources hydriques et la gestion rationnelle de l'eau compte tenu de ses multiples usages, une base de données géographiques Eau Et Environnement E3\_SM a été développée pour la maîtrise des données, la préparation et l'extraction des données pour les modèles numériques de la nappe (le cas particulier de Modflow a été implanté), La visualisation de divers résultats liés aux niveaux de la nappe et aux débits d'exploitation, La réponse à des requêtes multi - critères conçues par l'utilisateur, La gestion des autorisations (délivrance, inventaire, limitation du débit de pompage), La production de diverses cartes thématiques et l'aide à la prise de décision.

Ce travail n'a pas pu être complété sans la collaboration étroite de tous les partenaires du Projet SIWM, et l'apport des consultants SIWM de la phase harmonisation.

## **1. Contexte général et problématique au Souss-Massa**

Au cours des dernières décennies, les écosystèmes aquatiques se sont considérablement détériorés un peu partout dans le monde. Ces perturbations sont imputables aux précipitations acides, au ruissellement de surface et aux rejets des eaux usées des milieux urbains, industriels, agricoles et ruraux. Il ressort donc que l'industrialisation et la croissance économique s'accompagnent d'une détérioration de l'environnement et particulièrement des ressources hydriques. C'est de ce phénomène paradoxal qu'est né le concept de gestion durable de l'eau, c'est-à-dire une gestion intégrée des ressources hydriques qui favorise à la fois le développement économique, la préservation de l'intégrité écologique, la diversité biologique et l'équité sociale des populations actuelles et futures d'un bassin versant.

Le bassin de Souss-Massa revêt une importance stratégique pour l'économie marocaine. Il fournit plus de la moitié des exportations de produits agricoles, en particulier en agrumes et primeurs, constitue une zone urbaine et industrielle de croissance rapide, la seconde région économique du Royaume après Casablanca, et possède un secteur industriel touristique très prospère. Le développement intensif de l'irrigation, la croissance urbaine et industrielle ainsi que l'expansion de l'industrie touristique créent une demande élevée sur les ressources en eau et cette situation fortement aggravée par les conditions d'aridité du bassin.

L'eau souterraine, qui est la principale source d'eau de la région est extraite principalement de l'alluvium de la vallée du Souss. La capacité de recharge serait d'environ 450 millions de mètres cubes d'eau par an, mais ce total varie beaucoup avec la pluviométrie. Plus de 21.000 puits sont exploités pour extraire l'eau souterraine pour l'industrie, l'agriculture et l'usage domestique.

La problématique est d'autant plus compliquée par les facteurs suivants :

- les conditions fortement arides et de pénurie d'eau structurelle;
- la diversité et la multiplicité des usagers des secteurs public et privé ainsi que les demandes conflictuelles des secteurs agricoles et urbains ;
- la capacité technique et financière limitée des opérateurs en jeu et surtout des petits agriculteurs ;
- la réduction substantielle des possibilités financières des organismes publics.

Le déficit en eau induit une sur-exploitation abusive de la nappe ainsi qu'un rabattement excessif allant de 1 à 2 m par an. Dans certaines zones, il a atteint les 60 m.

Devant cette situation alarmante qui risque d'induire d'autres types de problèmes, une intervention d'urgence est nécessaire pour la maîtrise de la gestion des ressources en eau souterraine, la rationalisation de l'usage de la ressource et la gestion rationnelle et intégrée de la ressource. Dans ce sens, L'US AID a financé le projet SIWM au Souss-Massa pour évaluer et mieux maîtriser le bilan des ressources hydriques ainsi que leur qualité et les possibilités de leur usage dans divers secteurs de l'économie de la région.

La voie d'avenir préconisée à l'échelle internationale consiste en la gestion par bassin versant qui intègre les interdépendances des usages multiples de l'eau et du territoire sur l'unité géographique d'où provient toute l'eau et plus ou moins affectée par l'activité humaine. Donc en plus des autres aspects juridiques, législatifs pour la création d'une Agence de Bassin au Souss-Massa, une assistance technique est fournie pour examiner en détail la problématique et suggérer une stratégie pour le développement durable de la région.

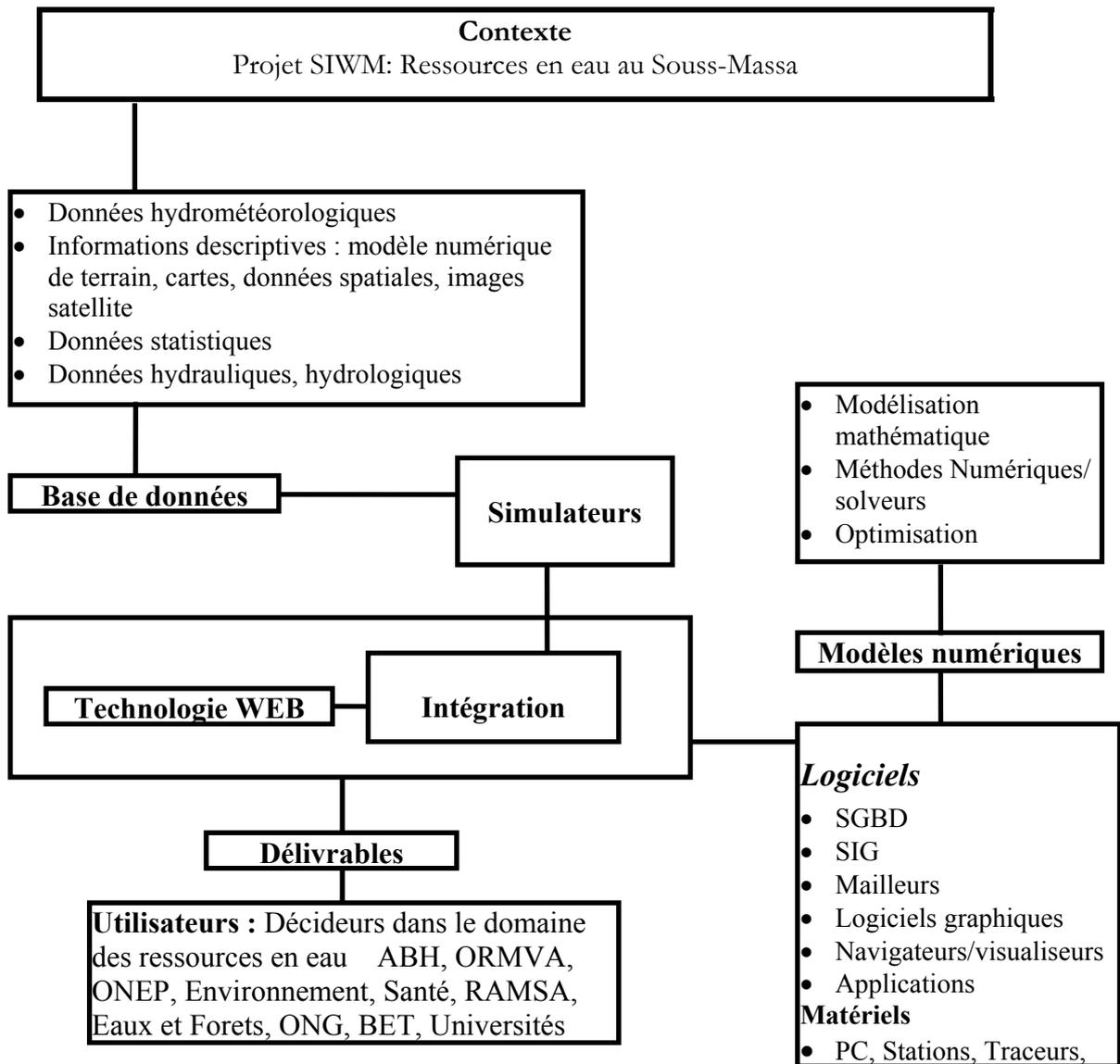
## 2. Vision et Approche

De part la multitude des intervenants/partenaires dans le Souss-Massa joint à la rareté de la ressource en eau et sa qualité variable, il est extrêmement souhaitable de maîtriser tous les aspects liés à sa gestion rationnelle.

La vision globale pour toute tentative de maîtrise d'un système environnemental impliquant les ressources naturelles est illustrée dans la figure 1 (le cas des ressources en eau étant un cas particulier). La figure 2 montre un organigramme plus exhaustif mais qui a le mérite de souligner l'inter - indépendance Données – Modèles.



Figure 1 : Concept Général de la vision intégrée



**Figure 2 : Organisation des modules du système d'information du Souss-Massa**

Les objectifs visés sont de permettre de :

- Mettre en place une architecture intégrée de base centrale de données (alphanumérique et géographique) s'appuyant sur les nouvelles technologies d'information et de communication,
- Archiver les données essentielles dans la base centrale suivant les règles de l'architecture,
- Aide à la préparation des données pour l'utilisation des modèles : Extraire les données nécessaires pour tourner les modèles numériques de la nappe (hydrodynamique, intrusion d'eau salée, pollution quelconque,
- Produire des graphiques de nature diverse et variée ainsi que des cartes thématiques,
- Créer sous Internet/Intranet un Site Web pour une consultation et une navigation conviviales et interactives de cette base ...,
- Créer des produits utiles (produits dérivés) illustratifs de cette base (Mini-Sites Web, Publications scientifiques, documents textes et/ou Audio-vidéo sur CD-Rom, etc.).

## 2.1. Importance des données

Les données sont la clé de voûte nécessaire pour sa connaissance en vue de possibilités de prises de décision via des règles de l'art ou la modélisation et la simulation de scénarii. D'où l'intérêt et la nécessité d'un système d'information intégré regroupant les données hétérogènes qui seraient fournies par les divers partenaires en évitant les redondances et la multiplicité de l'information dues au recouvrement possible à cause des attributions de diverses agences/offices/institutions qui souvent mènent à une confusion et à des conflits d'intérêt inutiles. Les données étant nécessaires pour tout effort de modélisation et la simulation de scénarii quelconques, il est important d'avoir une harmonisation dans la manière de les mesurer, les collecter, les organiser et les structurer. Ceci permettra de renforcer l'harmonisation, et offrir une plate-forme pour la participation, l'échange d'informations via la collaboration visuelle.

## 2.2. Outils de développement

Pour réaliser l'infrastructure du système d'information, plusieurs logiciels sont nécessaires afin de pouvoir effectuer les traitements nécessaires et avoir les résultats escomptés, ces logiciels sont :

### ❖ **Un système d'information géographique (SIG ArcView) :**

L'utilisation du SIG sert à la préparation des données nécessaires pour le système intégré, à l'affichage des résultats et leurs exploitations. Il puise ses données dans une base de données et l'utilise pour effectuer un traitement primaire, les résultats de ce traitement sont envoyés par la suite à un logiciel de maillage qui effectue des traitements plus approfondis. Le SIG est utilisé par la suite pour afficher les résultats du maillage avec des graphes et des courbes pour la comparaison des différents résultats concernant différentes grandeurs. Il est en fait, l'interface graphique vers l'utilisateur final qui est le décideur, et à partir des résultats, les décisions sont prises, par la suite les résultats finaux sont stockés dans la base de données.

### ❖ **Un système de gestion de bases de données (Access/Paradox):**

L'utilisation d'un SGBD est limitée au stockage des données et son interrogation avec le SIG, on y trouve les tables des différentes données aussi bien utilisées en entrée comme en sortie. Le SGBD transmet les données vers le SIG, et en reçoit les résultats pour les stocker.

### ❖ **Des routines de préparation du maillage pour le code numérique:**

Ce logiciel reçoit ses données du système d'information, il les utilise pour effectuer un maillage et sortir des résultats à l'échelle ponctuelle aux nœuds. Ces résultats sont transmis par la suite au code de calcul numérique (Modflow) pour la résolution des équations. Par la suite, les résultats de calcul du code numérique seront transmis au système d'information géographique qui se chargera de les exploiter. Cependant, l'utilisateur pourra choisir de visualiser le maillage effectué par le logiciel dans le cas où des résultats détaillés sont demandés.

### ❖ **Un code de calcul numérique (Modflow) :**

Ce code reçoit ses données du logiciel de maillage, et effectue des traitements de calculs très lourds pour la résolution d'équations différentielles et équations aux dérivées partielles.

### ❖ **Un logiciel de visualisation (ArcView):**

Les résultats de ces calculs peuvent être transmis par la suite, à un système d'information géographique qui effectuera d'autres traitements et analyses spatiaux et/ou de visualisation. Ce logiciel reçoit le maillage final fait par un outil ou de manière directe pour le cas de Modflow, et les résultats du code numérique pour les visualiser, et pour entamer l'exploitation de ces résultats.

### ❖ Les outils d'intégration (Delphi, Java, ASP, PHP, Xml) :

Pour les aspects intégration, divers outils ont été utilisés, pour la base centrale, l'environnement Delphi a servi de support de développement pour les applications standalone. Les autres outils ont servi à développer les versions Intranet/Internet.

### 3. Outils développés

Dans le souci d'améliorer davantage la maîtrise des outils et leur harmonisation, deux outils pilotes pour la démonstration de leur faisabilité et leur usage par les partenaires, ont été mis au point ; à savoir :

- Inventaire Interactif Intégré (I<sup>3</sup>)
- Observatoire Inter-institutionnel de la Qualité des Ressources en Eau (OIQ) dans le bassin du Souss-Mass

Et qui seront décrits brièvement dans les sections suivantes et le lecteur est reporté pour plus de détails aux livrables en question.

Par ailleurs, l'objectif ultime du projet étant de dresser de manière continue le bilan des ressources hydriques et la gestion rationnelle de l'eau compte tenu de ses multiples usages, une base de données géographiques sur l'eau et l'environnement a été développée pour:

- La maîtrise des données,
- La préparation et l'extraction des données pour les modèles numériques de la nappe (le cas particulier de Modflow a été implanté),
- La visualisation de divers résultats liés aux niveaux de la nappe et aux débits d'exploitation,
- La réponse à des requêtes multi - critères conçues par l'utilisateur,
- La gestion des autorisations (délivrance, inventaire, limitation du débit de pompage),
- La production de diverses cartes thématiques.

Par ailleurs un outil de gestion des allocations de l'eau a été développé (un modèle de concertation et de simulation des allocations pour la gestion de l'eau). Après avoir inséré les règles d'allocation communément admises par les partenaires et identifié les diverses contraintes, plusieurs scénarii sont développés et analysés. Ceci permet d'offrir aux partenaires une plateforme de négociation et de concertation autour des résultats des simulations

#### 3.1. Inventaire Interactif Intégré (I<sup>3</sup>)

Au début, suite à la discussion avec tous les partenaires, on s'est rendu compte qu'aucun organisme ne voulait partager ses données. Les données sont ce qu'elles sont et sont la propriété de l'organisme en question. Dans l'esprit de convaincre les uns et les autres, on s'est orienté vers l'informationnel. Dans un premier effort d'harmonisation des outils d'aide à la prise de décision, un inventaire exhaustif au moins informationnel sur le plan espace et temps, a été réalisé. En étroite collaboration avec tous les organismes du bassin, l'équipe SWIM a dressé un inventaire générique, exhaustif et indexé des données relatives à l'eau. L'inventaire comprend le paramètre mesuré, la date de la collecte et la localisation géographique de prélèvement ainsi que la fréquence de mesure et les séries chronologiques correspondantes. D'autres attributs sont aussi introduits pour faciliter les associations d'informations comme illustré à la figure 3. La figure 4 montre l'interface de l'Inventaire Interactif Intégré (I<sup>3</sup>) et quelques exemples d'outputs tabulées, graphiques et cartes thématiques.

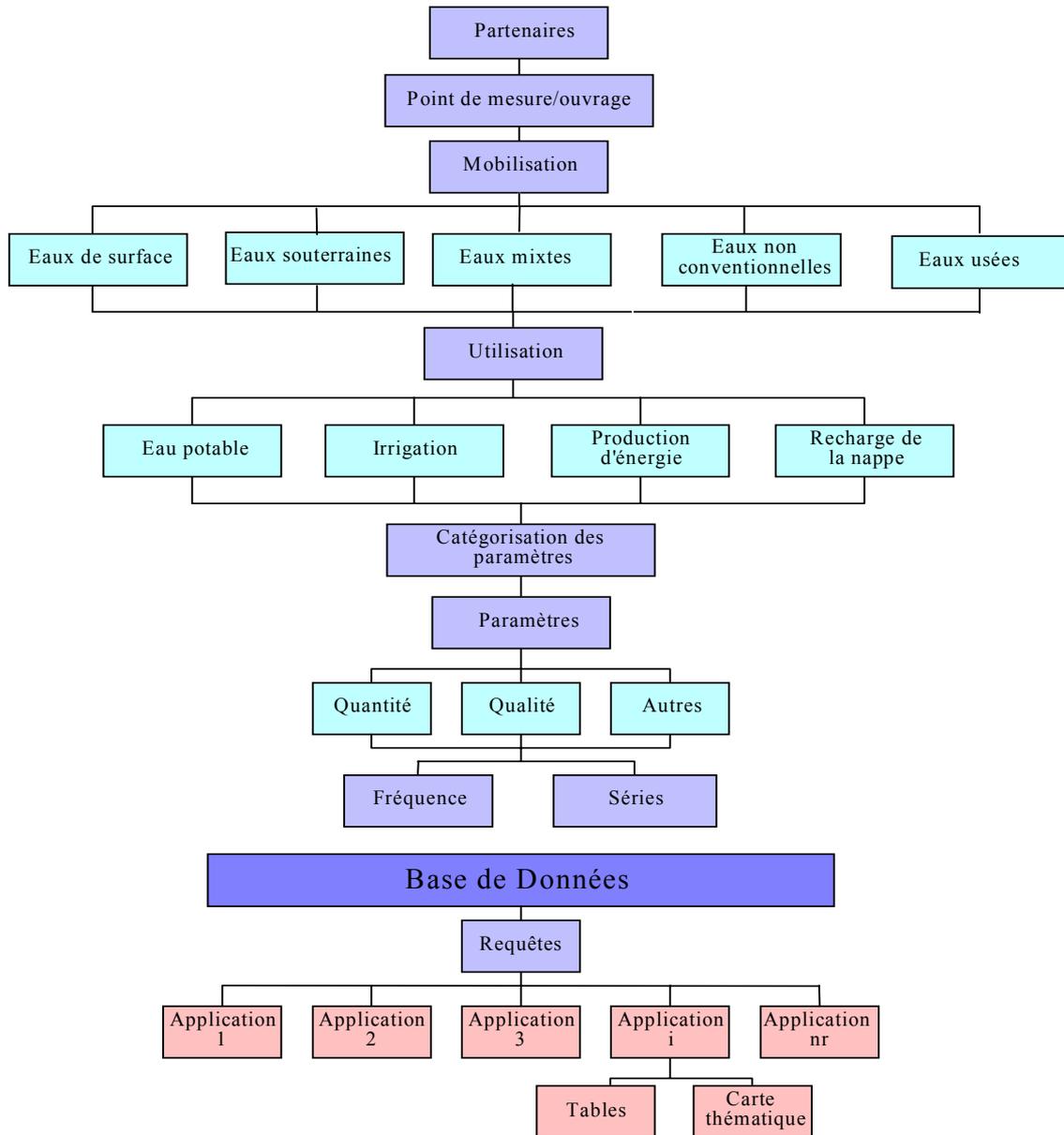


Figure 3 : Architecture de la base de données générique I<sup>3</sup>

Cet outil permet de disposer :

- D'une plate forme collaborative visuelle
- De la présentation des données de tous les partenaires
- De l'analyse spatio-temporelle
- D'un outil d'aide à la décision

L'objectif principal est de mettre à la disposition des divers partenaires et utilisateurs un livre blanc sur l'eau dans le Souss-Massa répondant aux questions : Qui fait quoi ? Où ? Quand ?

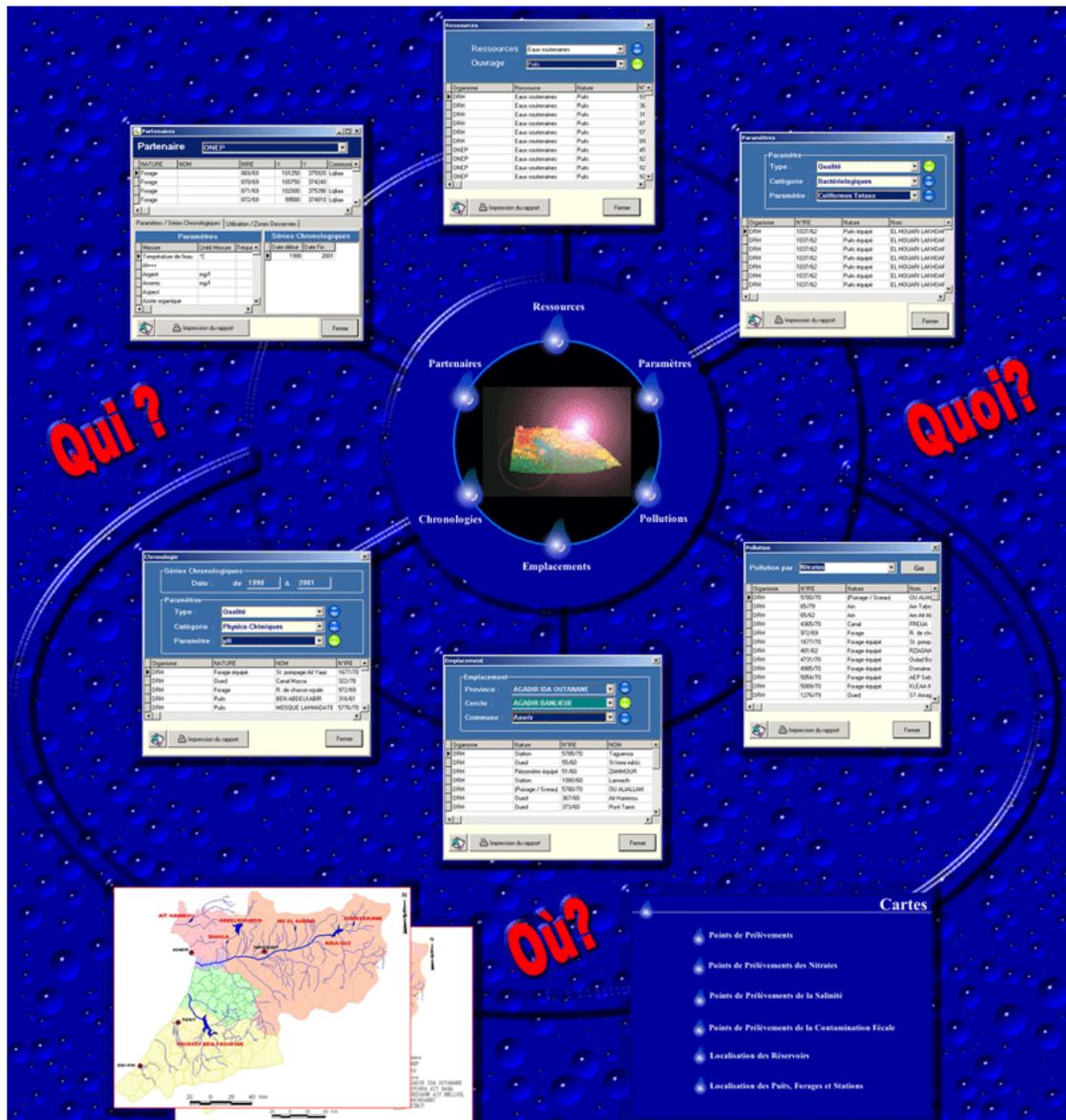


Figure 4 : Interface Inventaire Interactif Intégré (I<sup>3</sup>) et exemples d’outputs

Suite au succès indéniable de ce délivrable, les partenaires ont commencé à mieux comprendre la valeur de la donnée même informationnelle (qualitative) qui a permis de mettre en relief les manques de données, la mauvaise répartition spatiale des mesures, le non recouvrement de toute la région par des stations de mesure et donc la nécessité d’une coordination minimale entre les intervenants au Souss-Massa pour optimiser les moyens et mieux cerner les divers paramètres. Par ailleurs, il a été jugé primordial de constituer cette fois de manière quantitative une base de données des paramètres de qualité. C’est l’objet de la section suivante.

### 3.2. Observatoire Inter-institutionnel de la Qualité des Ressources en Eau (OIQ) dans le bassin du Souss-Massa

L’ Observatoire Inter-institutionnel de la Qualité des Ressources en Eau (OIQ) est un outil d’évaluation et de suivi de la qualité de l’eau dans le bassin du Souss-Massa développé de manière participative par l’équipe d’harmonisation avec le concours des organismes partenaires du projet SIWM qui l’ont notamment alimenté en données. Il permet de collecter, manipuler, visualiser, et

faire des requêtes spatiales et servir de tableau de bord au décideur. Le logiciel couplé à un système d'information géographique, permet la saisie de toutes les données de qualité de l'eau dans le Souss-Massa, leur édition, leur modification, leur visualisation graphique chronologique en bâtonnets, ainsi que la construction de cartes thématiques de qualité. Par ailleurs, il permet de naviguer par commune, cercle et province à l'intérieur du bassin tout en donnant une série d'informations relatives au nombre d'ouvrages associés, périmètre et surface de la commune sélectionnée. Plusieurs type de requêtes peuvent être exécutées pour la navigation dans le Sous-Massa, par paramètre, catégorie de paramètre, type d'eau, etc.

Cet outil permet (Figure 5):

- Données sur la qualité de l'eau
- Evaluation et de suivi spatio-temporel de la qualité
- Navigation par commune, cercle et province
- Navigation par classe et type de paramètre
- Cartes thématiques
- Outil d'aide à la décision

Le succès de cette base dépend de la qualité des données collectées et saisies et un effort mutuel consenti par tous les partenaires pour mieux l'alimenter.

Une version mono-poste a d'abord été développée avant l'implémentation d'une version sous Internet. Les partenaires n'ont pas alimenté cette dernière pour une possibilité d'exploitation

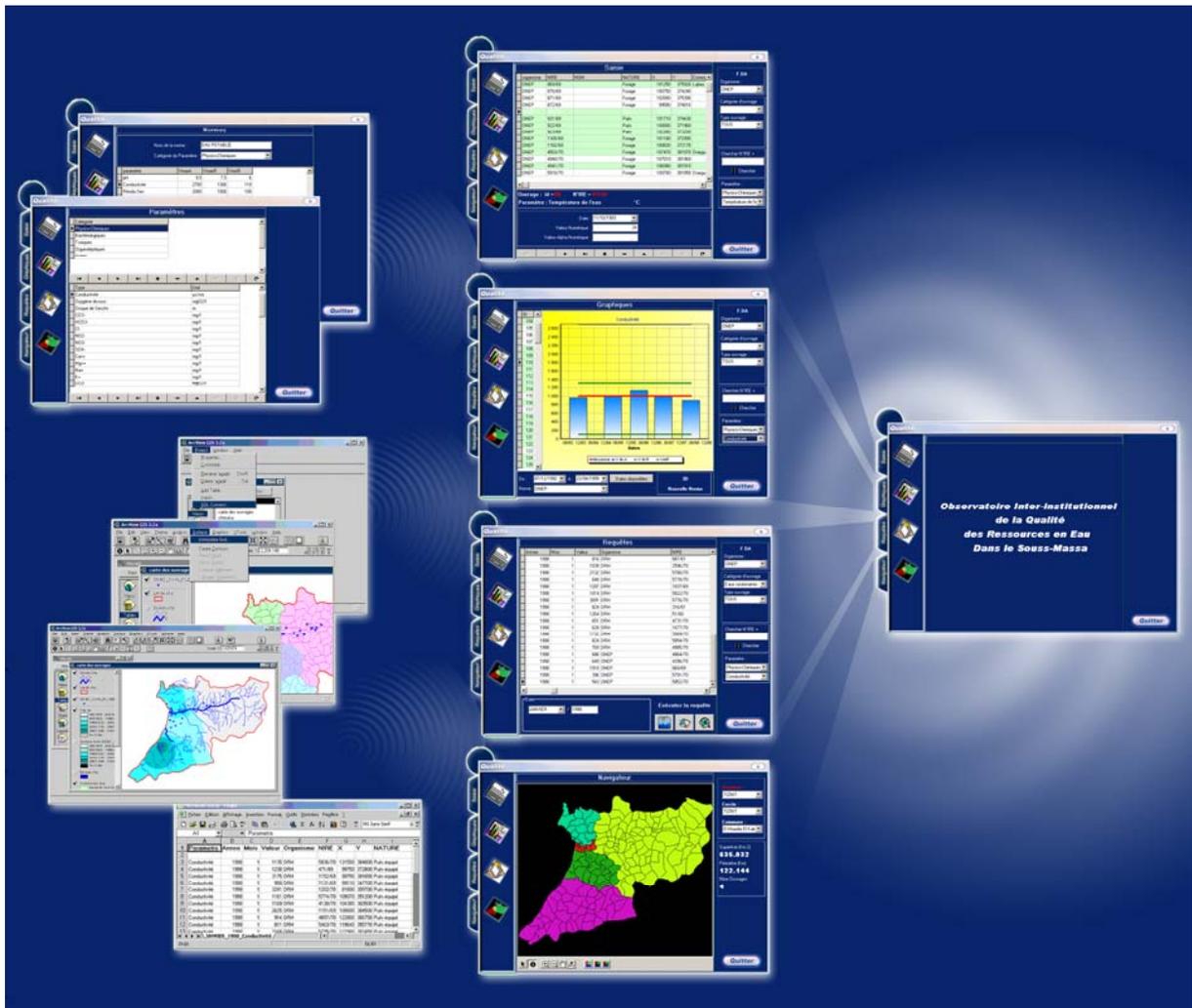


Figure 5 : Illustration de sorties de l'Observatoire Inter-institutionnel de la Qualité des Ressources en Eau (OIQ)

En plus, OIQ permet la sortie de diverses cartes thématiques. On présente celle de la conductivité hydraulique à titre d'illustration à la figure 6.

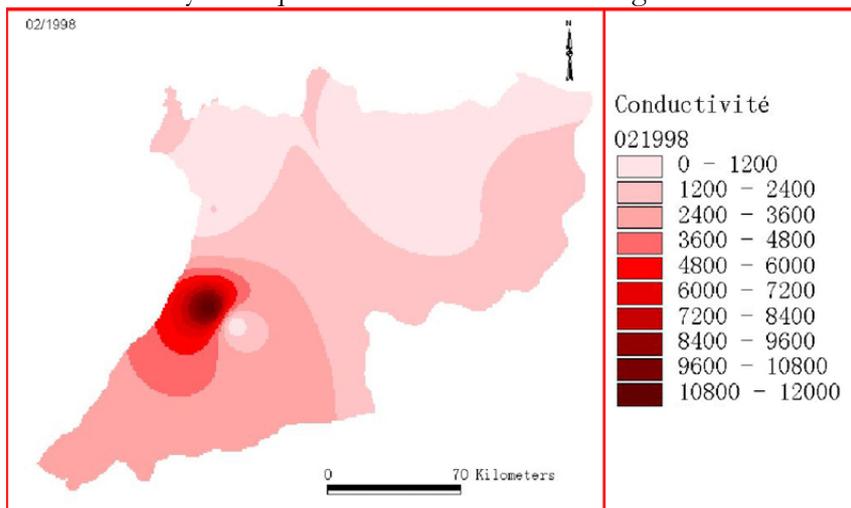


Figure 6 : Iso conductivité hydraulique

### 3.3. Base de données eau et environnement

La clé de voûte de la gestion rationnelle des ressources en eau du Souss-Massa concerne la bonne compréhension de la nappe, et notamment sa délimitation correcte, sa caractérisation, la connaissance précise des points de prélèvement (coordonnées, caractéristiques) ainsi que d'autres paramètres hydrométéorologiques pour déterminer le bilan réel de la nappe.

L'inventaire des points de prélèvement et la gestion de la nappe contribueront de manière substantielle, à mieux connaître la nappe, ses excitations, les divers scénarii de gestion, l'analyse et la prédiction de l'hydrodynamique de la nappe. Cela permettra une exploitation et un développement rationnel prenant en compte les données, les contraintes, les possibilités de pompage de divers horizons et la prévision des besoins pour d'autres horizons.

Une base de données inventaire des points de prélèvements d'eau souterraine a été développée à cette fin pour cerner de près leur localisation géographique, les caractéristiques des ouvrages de captage et des équipements, surface irriguée, nature des cultures, etc.

Cette base de données inventaire a été couplée à un Système d'Information Géographique des points de prélèvements lui-même intégré dans un système de gestion de base de données géographiques plus large. Ces outils répondent à un double objectif : à la fois gérer les autorisations et fournir les entrées (inputs) et les conditions aux limites aux modèles ;

Par ailleurs, il est requis d'exploiter le modèle hydrogéologique de la nappe qui permet en des temps records d'analyser une situation hydrogéologique donnée, simuler divers scénarii d'exploitation de la nappe et donc assister à la prise de décision quant à l'exploitation de la nappe et la délivrance de permis.

La base de données élaborée permet d'actualiser toutes les données relatives aux ouvrages (puits, forages, sources, eaux de surface), les essais de pompage y afférent avec des sorties diverses, notamment les volumes d'eau prélevée ; le volume d'eau total prélevé et par type de prélèvement ; les caractéristiques des points de prélèvements et toute information jugée utile pour la compréhension des données.

Les figures 7, 8, 9, 10 montrent quelques exemples d'interface, consultation de données, outputs tabulés ou graphiques et la préparation des données pour le modèle Modflow.

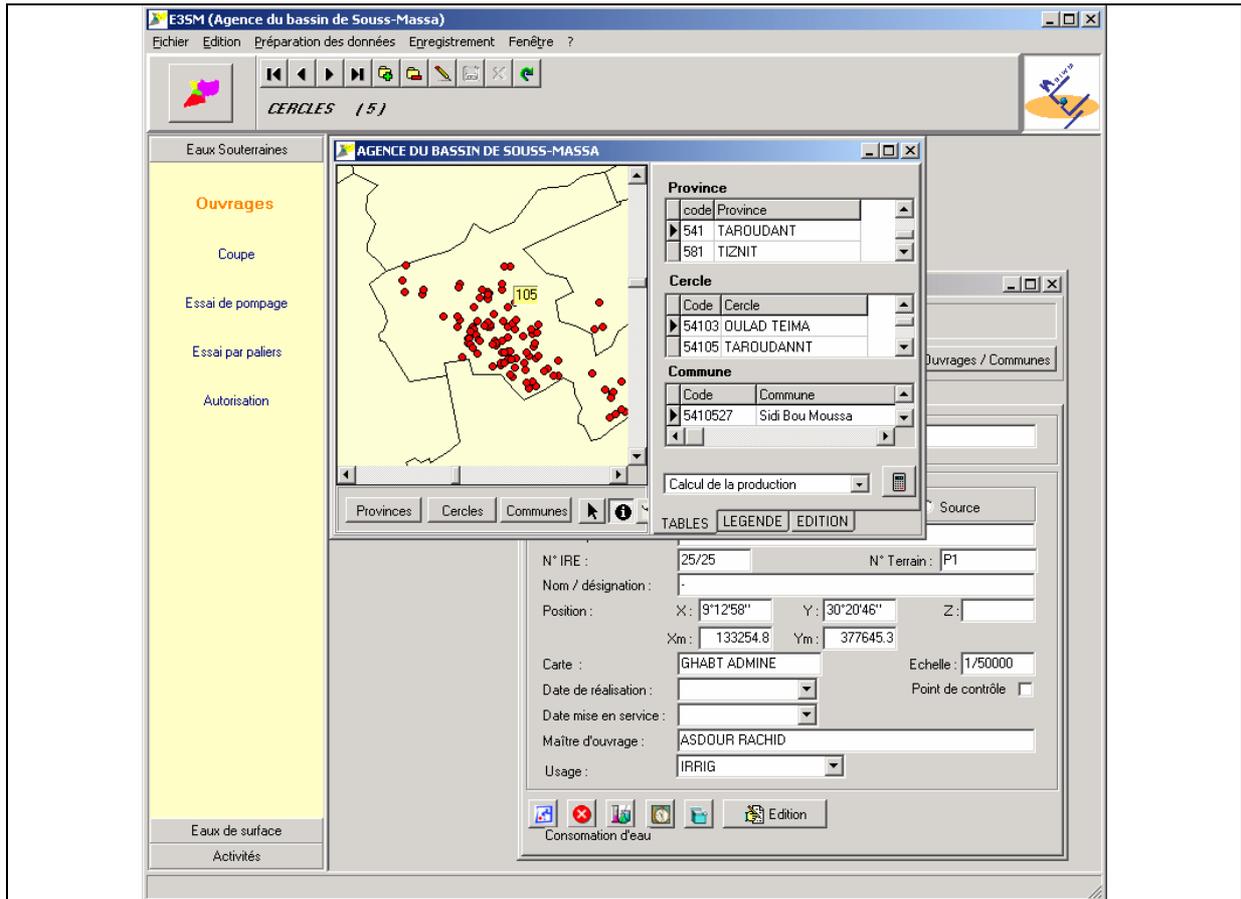


Figure 7 : Interface graphique : Localisation d'ouvrages

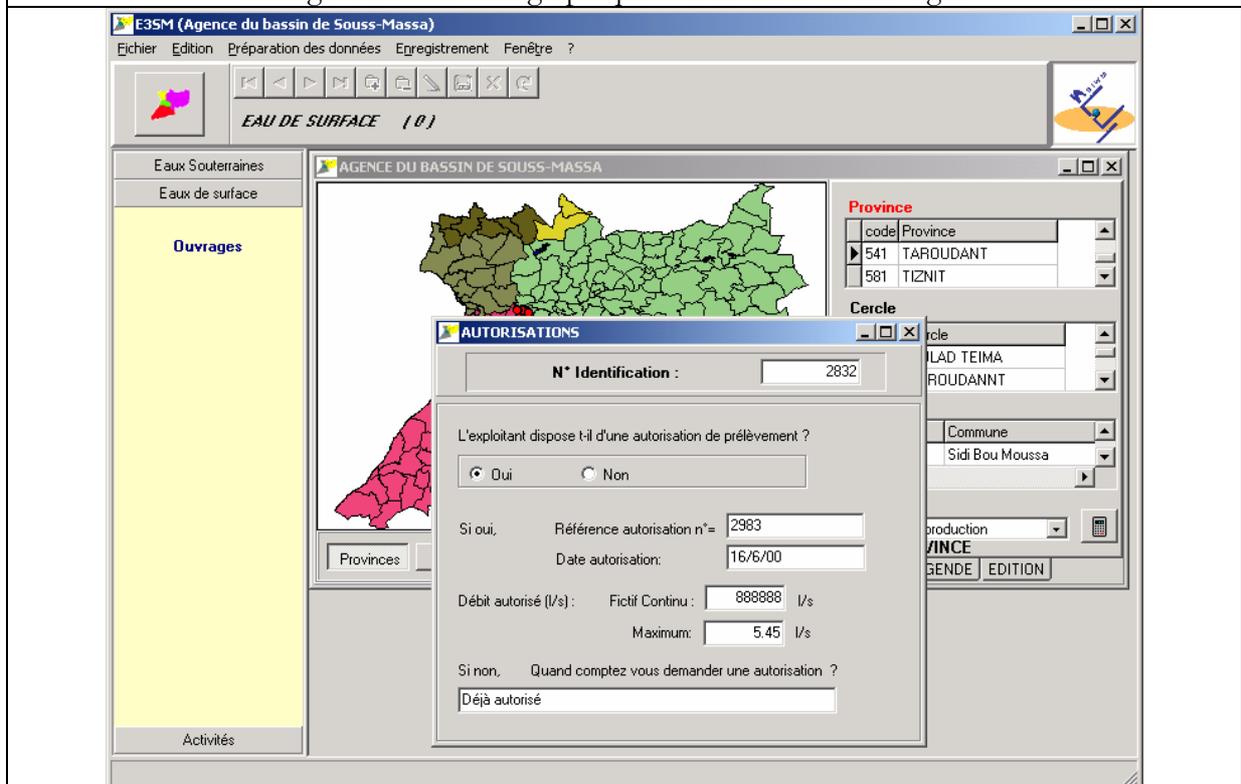


Figure 8 : Interface graphique : Gestion des autorisations de pompage

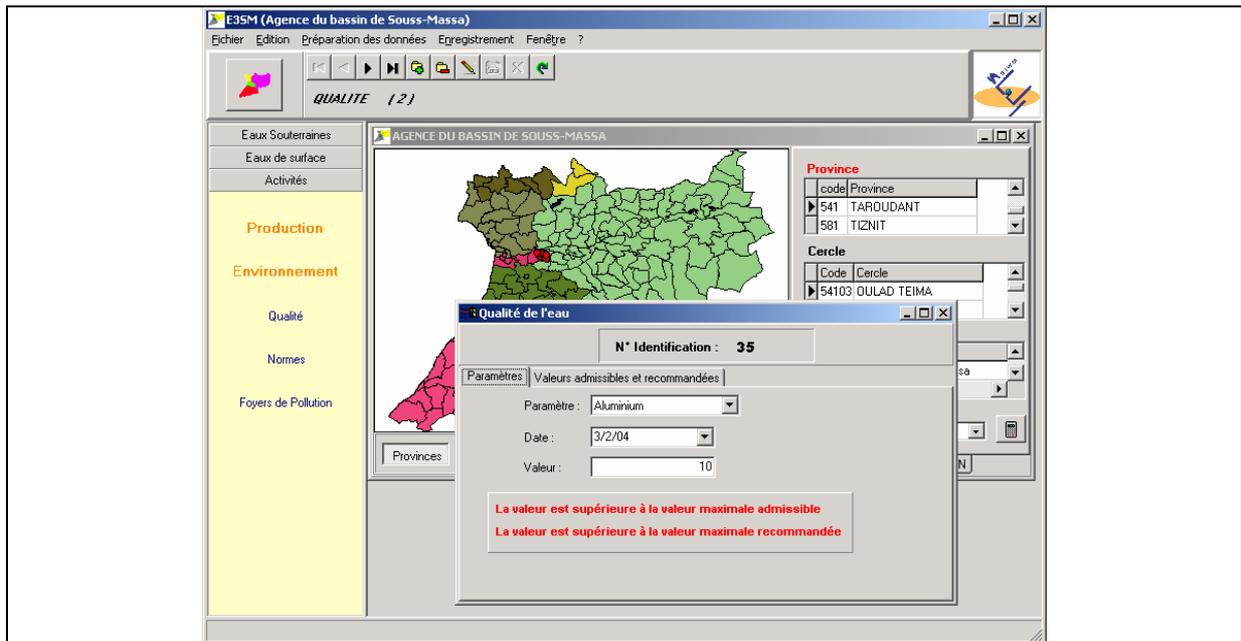


Figure 9 : Interface graphique : Paramètres de qualité

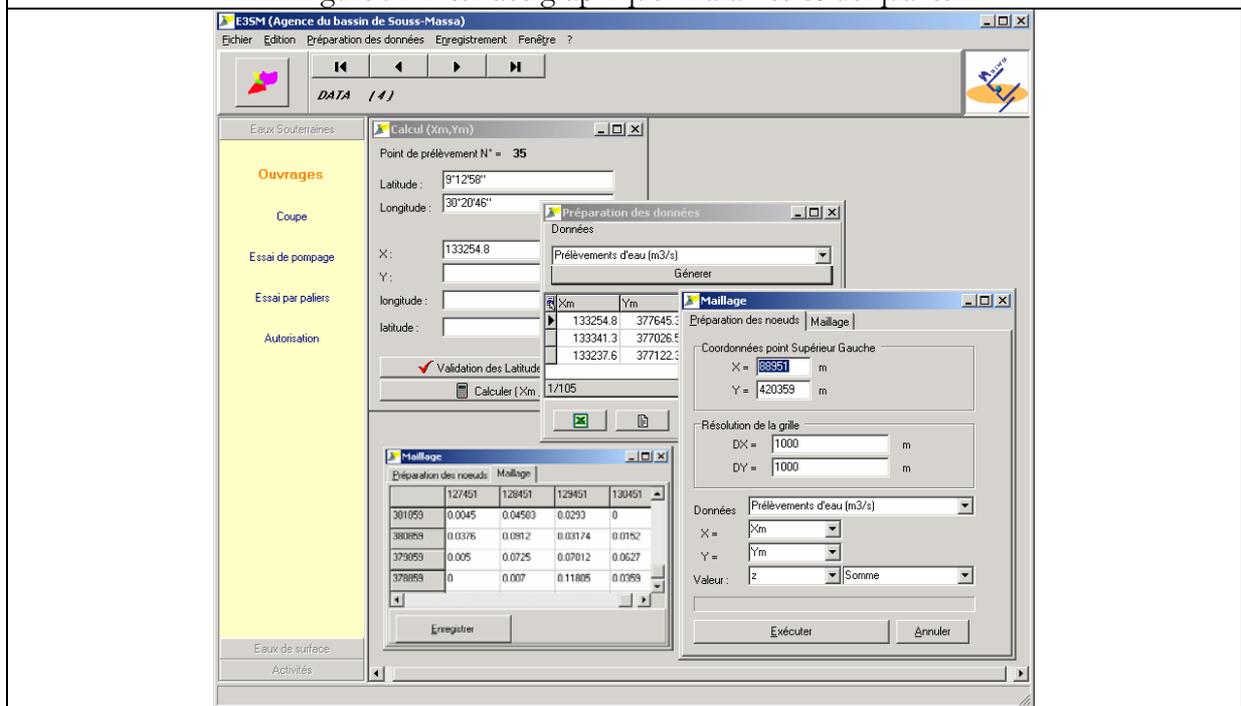


Figure 10 : Interface graphique : Préparation des données pour le Modèle Modflow

#### 4. Conclusions

Dans cet article, l'accent a été mis sur l'apport des Technologies de l'Information (TI) pour la Gestion des Ressources en Eau au Souss-Massa. Les outils développés à savoir l'Inventaire Interactif Intégré (I<sup>3</sup>), l'Observatoire Inter-institutionnel de la Qualité des Ressources en Eau (OIQ) dans le bassin du Souss-Massa, et la base de données géographique Eau Et Environnement E3\_SM, sont décrits et des applications au Souss Massa traitées. L'apport des TI dans la réalisation du projet en termes d'harmonisation des procédures, des données et des outils de développement, la collaboration participative visuelle et dans la gestion rationnelle et durable de es ressources en eau, a été considérable pour tous les partenaires du projet. Les TI ont permis aux partenaires de découvrir l'intérêt du partage de données, la coordination et la concertation concernant plusieurs paramètres sensibles pour le bénéfice de tous et pour le développement de la région.

#### 5. Bibliographie

Deliverables Projet SIWM

- Aqid, N. Hasnaoui, D. Touzani, A. Ouazar, D. and Tijani, H. (2004). Contribution à la caractérisation du bassin versant de Foum Tilicht par utilisation de la télédétection spatiale et les systèmes d'information géographiques, soumis au Journal Tribune de l'Eau, CEBEDOC.
- Ouazar, D.(2005): Spatially integrated Information Framework for water resources Engineering Modelling and Simulation, Submitted to International Journal of Hydroinformatics, 2005.
- Sekkouri H. I., Ouazar D. (2005): An Intelligent Spatial Decision Support System to Deal with Sea Water Intrusion Problem, Submitted to Hydroinformatics Journal .
- El Dabaghi, F. and D. Ouazar (2001): Esimeau Integrated Information System for Modeling and Management of Water Resources; Concepts and architecture, J. of Systems Analysis Modelling Simulation, SAMS, Vol.41, pp. 669-688, 2001.