

INTEGRATED MANAGEMENT OF HYDROSYSTEMS IN CONJUNCTION WITH AN ADVANCED INFORMATION SYSTEM : ODYSSEUS PROJECT

FINAL REPORT

JANUARY – 2007
N°1 74 0462

SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
AVANT-PROPOS.....	3
INTEGRATED MANAGEMENT OF HYDROSYSTEMS IN CONJUNCTION WITH AN ADVANCED INFORMATION SYSTEM (ODYSSEUS).....	4
1. LA CONTRIBUTION DE SOGREAH AU PROJET ODYSSEUS	5
1.1. PRESENTATION DU GROUPE SOGREAH ET DE SES ACTIVITES DE MODELISATION ET DE RECHERCHE	5
1.2. CONTRIBUTION DE SOGREAH AU PROJET ODYSSEUS.....	7
2. PRESENTATION GENERALE DES OUTILS DE MODELISATION :	8
2.1. VUE D'ENSEMBLE DES OUTILS ET DES LIENS EXISTANT ENTRE EUX.....	8
2.2. CONTEXTE ADMINISTRATIF DU PROJET	9
2.3. VISITE DE SOGREAH A NAMA.....	10
3. PRESENTATION DETAILLEE DES OUTILS ET ANALYSE DE LEUR UTILISATION EN SITUATIONS REELLES	11
3.1. REMARQUES GENERALES	11
3.2. MODELE DE DEFINITION DES BESOINS : DIPSOS.....	12
3.3. MODULE HYDROLOGIQUE : HYDROGNOMON.....	13
3.4. MODULE EAU SOUTERRAINE : HYDROGEIOS.....	16
3.5. MODULE DE GESTION : HYDRONOMEAS	18
3.6. MODELES DE QUALITE : RYPOS, HERIDANOS, LERNE	20
3.7. MODELE DE CALCUL DES INTRUSIONS SALINES : ALS	21
3.8. MODELE ECONOMIQUE : HERMES	22
4. COMPARAISON AVEC QUELQUES OUTILS CONCURRENTS	23
4.1. PRESENTATION DE PLUSIEURS OUTILS CONCURRENTS DANS LE DOMAINE DE LA GESTION DE LA RESSOURCE EN EAU.....	23
4.2. PRINCIPAUX AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE CHAQUE OUTIL	23
4.3. COMMERCIALISATION	24
5. CONCLUSIONS	26
5.1. UN PROJET AMBITIEUX ET PLEIN D'AVENIR	26
5.2. PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENTS FUTURS	27
ANNEXE 1 : LISTE DES PUBLICATIONS (HORS EGU 2005)	30
ANNEXE 2 : PRESENTATION GENERALE DES PRINCIPAUX OUTILS CONCURRENTS	33

AVANT-PROPOS

Dans le cadre de la mission d'expertise de SOGREAH, une visite à Athènes a été organisée du 20 au 24 novembre 2006. Cette visite a été l'occasion de rencontrer les principales personnes impliquées dans le projet ODYSSEUS et d'avoir des présentations complètes et documentées des différents modèles. Elle a permis de nombreux échanges avec les membres du projet (chercheurs, doctorants, ingénieurs, informaticiens,...). Que toutes les personnes rencontrées soient ici remerciées pour leur accueil, leur disponibilité, le temps passé à présenter et à expliquer le fonctionnement des outils et la grande qualité de leurs présentations.

Nous souhaitons en particulier remercier :

- Le Professeur Demetrios Koutsoyiannis pour la qualité de son accueil à l'Université Technique Nationale d'Athènes et les échanges que nous avons pu avoir lors de la visite de son laboratoire,
- Monsieur Panagiotis Dris, responsable du département ressources en eau au sein de NAMA et directeur du projet ODYSSEUS, pour l'opportunité offerte à SOGREAH de collaborer avec NAMA et de contribuer à notre échelle au projet,
- Monsieur Kazos, directeur du département hydraulique, pour nous avoir accueilli à NAMA durant toute la visite.

Nos remerciements s'adressent aussi à :

- Monsieur Ioannis Vazimas, correspondant de SOGREAH au sein de NAMA et en charge du projet ODYSSEUS, pour sa disponibilité tout au long de la semaine et la grande qualité de l'organisation de cette semaine de travail,
- Monsieur Gioegos Karavokiros, responsable de la programmation des outils du projet ODYSSEUS, pour la mise à disposition de SOGREAH des données et des outils ainsi que la présentation des outils du point de vue de la programmation,
- Docteur Andreas Efstratiadis pour sa disponibilité et ses présentations claires des outils de modélisation d'un point de vue pratique et théorique.

INTEGRATED MANAGEMENT OF HYDROSYSTEMS IN CONJUNCTION WITH AN ADVANCED INFORMATION SYSTEM (ODYSSEUS)

Le projet ODYSSEUS est l'aboutissement de recherches complémentaires finalisées sous la forme d'un regroupement de nombreux outils hydrologique, statistique, économique et de gestion pour proposer un outil global d'aide à la décision concernant les politiques de gestion de la ressource à différentes échelles (bassin, aquifère, communes, communautés de communes, district,...). L'outil global se décompose en trois modules principaux. Ces modules sont :

- HYDROGNOMON : module hydrologique,
- HYDRONOMEAS : module de gestion de la ressource,
- HYDROGEIOS : module d'eau souterraine.

A ce stade d'avancement du projet (fin novembre 2006), la part la plus importante du travail de l'ensemble de l'équipe de projet est réalisée. On peut d'ores et déjà saluer la qualité du travail de l'ensemble de l'équipe, la qualité et la rigueur de la méthodologie du développement des outils en réseau, la quantité de travail accomplie jusqu'ici et l'intérêt de transférer dans le domaine de l'ingénierie des outils développés dans le cadre de recherches antérieures ayant fait l'objet de nombreuses publications (Annexe 1).

L'aboutissement de recherches fondamentales sous la forme d'outils opérationnels n'est rarement aussi aisé que cela pourrait le sembler. Le monde de la recherche et celui de l'ingénierie n'ont pas toujours les mêmes intérêts ni les mêmes objectifs. Ce type de transfert de connaissance n'est donc pas souvent pratiqué de cette façon en particulier dans le domaine de l'hydrologie. Il faut par conséquent saluer également ici cet aspect du projet qui est une grande réussite pour NAMA et pour NTUA, en espérant et en souhaitant que cette collaboration perdure. La pérennité de cette relation permettrait non seulement d'améliorer en continu les outils issus de ODYSSEUS mais également d'en développer éventuellement de nouveaux, et pourquoi pas aussi dans d'autres domaines complémentaires, de continuer à orienter la recherche fondamentale vers la proposition d'outils opérationnels qui grâce à l'apport constant du milieu académique de la recherche conservent des caractéristiques techniques et théoriques de grande qualité.

1. LA CONTRIBUTION DE SOGREAH AU PROJET ODYSSEUS

1.1. PRESENTATION DU GROUPE SOGREAH ET DE SES ACTIVITES DE MODELISATION ET DE RECHERCHE

SOGREAH est un groupe de consultants, spécialisé dans l'aménagement et l'environnement. Totalement indépendant de tout groupe industriel ou financier, SOGREAH exerce ses activités au travers d'un important réseau d'implantations, tant en France qu'à l'international.

Ses activités touchent à des domaines très diversifiés : eau, environnement, maritime, industrie, aménagement de la ville et du territoire, ouvrages d'infrastructures, énergie et systèmes électriques, gestion des risques.

La division Eau-Environnement-LHF (EEL) de SOGREAH coordonne les actions de recherche et développement de la société et est spécialisée dans la mise au point et l'application de systèmes d'information et de modélisation dans les domaines de l'hydraulique, de l'hydrologie et de l'hydrogéologie. La division EEL a développé des compétences particulières en modélisation, dans la gestion des risques naturels (mise en place de systèmes de prévision et d'alerte des crues, gestion des étiages, gestion des risques en cascade,...), dans l'évaluation de la ressource en eau disponibles et dans la gestion de cette ressource.

La division EEL de SOGREAH possède une longue expérience dans le domaine de la modélisation appliquée à l'eau :

- prévision des crues notamment au moyen des plates-formes opérationnelles de prévision SOPHIE développée par le Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations (SCHAPI) et MYSTERE (système multi-modèles intégré de gestion en temps réel des risques et de l'environnement) développée par SOGREAH ;
- modélisation hydraulique 2D à surface libre au moyen de TELEMAC développé et commercialisé en partenariat avec le Laboratoire Nationale Hydraulique et Environnement (LNHE) d'Electricité De France (EDF) ;
- développement et commercialisation du logiciel CARIMA de modélisation hydraulique 1D ;
- modélisation de la gestion des ressources en eau au moyen des outils MIKE BASIN et WEAP ;
- spécifications, conception et développement d'interface Homme-Machine ;
- spécifications et développements des évolutions de logiciels :
 - logiciel d'éléments finis dédié à la modélisation des réseaux industriels maillés,
 - logiciel de simulation et de gestion des réseaux d'approvisionnement en eau,
 - logiciel de modélisation de la qualité des cours d'eau,
 - système de modélisation tri-dimensionnel des écoulements et du transport de polluants en souterrain (DEDALE 3D),

- système de communication temps réel pour la transmission de données,...

La division EEL de SOGREAH coordonne également les activités de recherche dans le domaine de l'eau auxquels participe le groupe. Nous listons ci-dessous les projets les plus récents dans des champs d'application variés et complémentaires :

- participation à plusieurs programmes de recherche concernant la gestion du risque inondation :
 - coordination et contribution à la réalisation du programme de travail du projet de recherche européen IST/OSIRIS (IST-1999-11598) dont l'objectif était de proposer des solutions opérationnelles innovantes fondées sur l'utilisation des nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) pour améliorer la gestion du risque d'inondation,
 - participation à la mesure d'accompagnement européenne IST/RISK FORCE : élaboration d'un ensemble d'actions approprié et d'un protocole commun pour la gestion des risques naturels en Europe,
 - participation au projet européen FLOODSITE (6^{ème} PCRD) pour l'analyse et la gestion intégrées des risques d'inondation ;
- participation à plusieurs programmes de recherche concernant la gestion durable de la ressource en eau :
 - CLIMASILAC II pour la gestion de la ressource en eau en montagne,
 - SMART pour la gestion de la ressource en eau des zones côtières,
 - EUROLAKES pour la gestion intégrée de la ressource en eau des grands lacs européens profonds et de leurs bassins versant,
 - ASEMWATERNET : préconisation pour une plate-forme multi décideurs pour la coopération scientifique et technique entre l'Asie et l'Europe sur l'utilisation durable de la ressource en eau ;
- développement et validation d'un prototype de système d'alerte pour les proliférations de cyanobactéries toxiques dans les lacs (SACYTOX) ;
- coordination du programme Risque Décision Territoire relatif à la gestion des risques naturels et industriels sur le territoire français.

1.2. CONTRIBUTION DE SOGREA H AU PROJET ODYSSEUS

La contribution de SOGREA H dans le cadre du projet ODYSSEUS consiste en une révision et une expertise des outils développés, compte tenu de l'expérience acquise par le passé dans ce type d'étude. A ce stade du projet, il ne s'agit pas d'intervenir sur les choix faits et sur la conception des outils mais plutôt :

- d'évaluer la qualité des bases théoriques de chaque modèle,
- d'évaluer les interconnexions entre les différents modules et les différents modèles de chaque module,
- de tester les outils dans différentes utilisations de fonctionnement (notamment les cas étudiés dans le cadre du projet : l'île de Kalymnos et le bassin de Karditsa),
- de tester la convivialité des interfaces homme-modèle et homme-module,
- d'identifier les principales qualités du projet ODYSSEUS vis-à-vis des outils concurrents similaires,
- d'émettre des suggestions de développements futurs possibles qui pourraient permettre d'améliorer la convivialité, d'ajouter quelques fonctionnalités simples complémentaires et d'apporter une valeur ajoutée supplémentaire aux outils du projet ODYSSEUS par rapport aux principaux outils concurrents.

2. PRESENTATION GENERALE DES OUTILS DE MODELISATION :

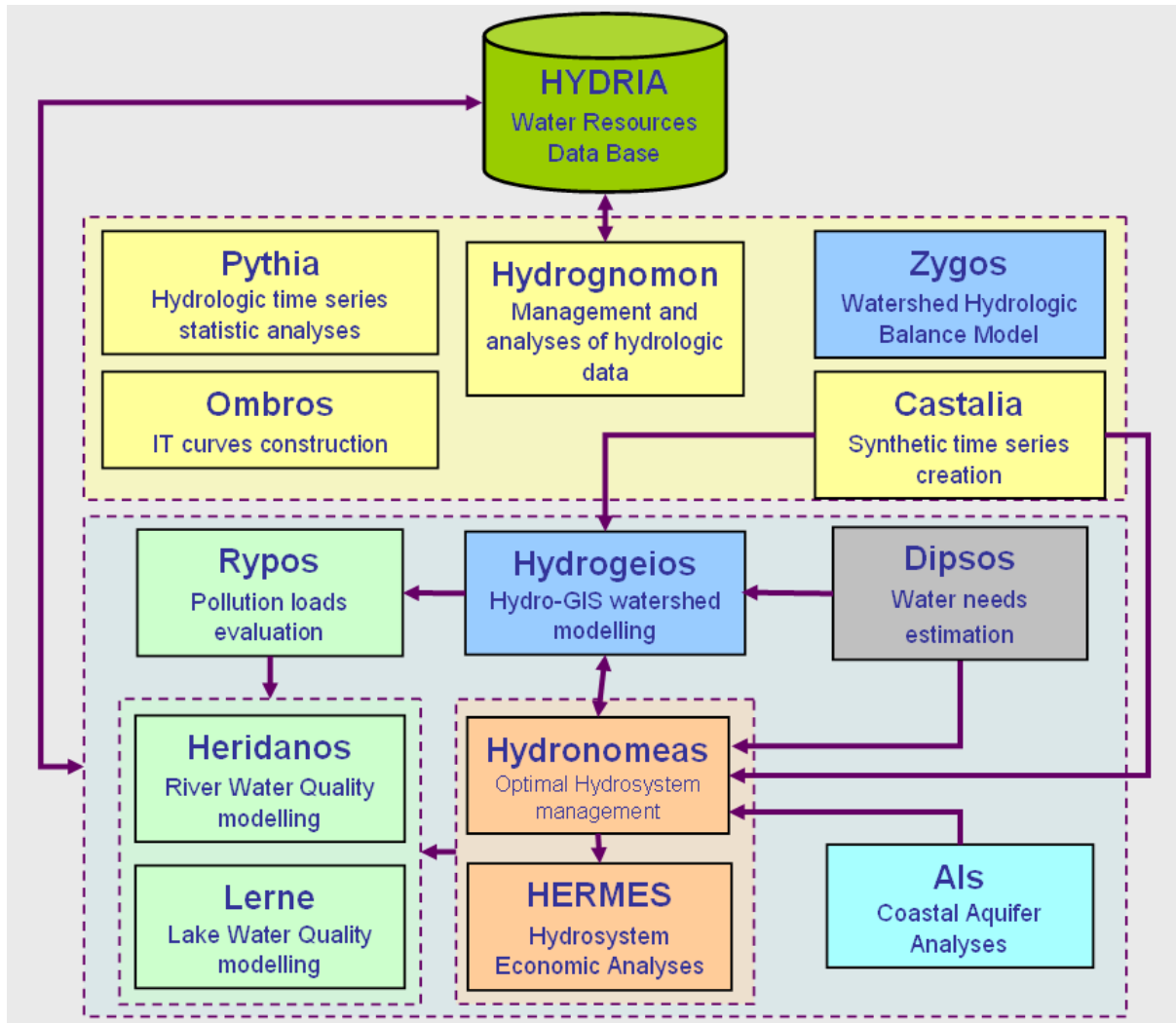
2.1. VUE D'ENSEMBLE DES OUTILS ET DES LIENS EXISTANT ENTRE EUX

L'objectif général du projet est le développement d'outils de modélisation en vue d'effectuer des analyses des ressources en eau disponibles et de leur gestion. Les outils utilisés sont les suivants :

- HYDRIA : base de données communes à tous les outils de modélisation
- HYDROGNOMON : module de gestion et de modélisation des données hydrologiques
 - OMBROS : analyse des pluies, création des IDF
 - PYTHIA : analyse statistique d'une série temporelle, par exemple des débits mensuels
 - ZYGOS : modélisation pluie-débit intégrant les écoulements de surface, la recharge souterraine, l'ETP, les prélèvements éventuels dans les aquifères souterrains sous la forme de pompage
 - CASTALIA : génération stochastique de séries temporelles
- HYDROGEIOS : module de modélisation hydrogéologique des bassins versants
- HYDRONOMEAS : module d'optimisation de la gestion d'un hydrosystème et de gestion de la ressource en eau
 - HERMES : analyse économique de nouveaux projets (encore en construction)

D'autres outils annexes sont également interfacés avec HYDRONOMEAS et HYDROGEIOS :

- Les modèles de qualité :
 - RYPOS : estimation des charges polluantes
 - HERIDANOS : modèle de qualité des rivières (encore en construction)
 - LERNE : modèle de qualité des lacs
- Modèle d'intrusion saline :
 - ALS : modélisation des aquifères côtiers (fondée sur la théorie de Modflow en intégrant la calibration des débits de pompage des forages)
- DIPSOS : modèle d'estimation des besoins en eau d'un hydrosystème



Présentation de tous les outils de modélisation

2.2. CONTEXTE ADMINISTRATIF DU PROJET

Au total, cinq partenaires ont été impliqués dans le projet :

- NTUA (National Technical University of Athens) – Water Resources, Hydraulic & Maritime Engineering
- NAMA Consulting Engineers and Planners SA
- Water Supply and Sewerage Company of Karditsa Municipality
- AEPHORIKE of Dodecanesus Islands SA
- Marathon Data Systems (MDS)

L'idée de départ du projet consiste à transférer vers le domaine commercial les outils développés par les universitaires dans le cadre de la gestion de la ressource et de l'optimisation du fonctionnement des réseaux.

Plusieurs études de cas ont été réalisées notamment sur le bassin de Karditsa et sur l'île de Kalymnos qui présente des caractéristiques assez communes à la majorité des îles grecs (peu de ressource du fait des faibles cumuls de pluviométrie annuelle, peu de gestion globale de la ressource, forte demande estivale liée notamment au tourisme, intrusion saline du fait des pompes d'eau douce dans les aquifères).

Le budget initial du projet est 2M€ sur 3 ans. Les fonds sont fournis par le Ministère de l'Agriculture grec.

Sur la base de ce budget total, environ 800k€ sont alloués aux recherches universitaire et 410k€ pour NAMA qui s'autofinance à environ 50%.

2.3. VISITE DE SOGREAH A NAMA

L'objectif de la visite était de rencontrer les personnes impliquées dans le projet ODYSSEUS depuis plus de trois ans et d'avoir une présentation complète des méthodologies issues des recherches de NTUA ainsi que des logiciels développés avec la collaboration de NAMA.

La visite de SOGREAH a duré 5 cinq jours, du 20 Novembre au 24 Novembre 2006. NAMA a organisé cette semaine de travail de façon à ce que SOGREAH puisse avoir une vue d'ensemble de tous les outils, une présentation détaillée de chaque outil dans les versions disponibles aux dates de la mission, des discussions avec toutes les personnes impliquées dans le projet (chercheurs, doctorants, ingénieurs, informaticiens,...).

A ce stade du projet, la version finale de tous les outils n'est pas encore disponible. Il faudra sans doute attendre quelques mois de pratique et quelques développements futurs des outils pour aboutir à une version opérationnelle de qualité. Les bases théoriques des modèles sont solides et s'il subsiste des problèmes de forme ou d'interface des outils, ils sont mineurs par rapport à tout ce qui a déjà été accompli, et sans importance.

En ce qui concerne la mission d'expertise, tous les outils actuellement disponibles ont été mis à notre disposition dans leurs dernières versions. Les données utilisées pour l'étude de Kalymnos et pour la présentation de certains outils, notamment HYDROGNOMON, ont également été mises à notre disposition. De cette façon, en dehors des périodes de travail en collaboration avec NAMA ou NTUA, SOGREAH a pu tester les outils dans leurs versions actuelles.

SOGREAH a été attentif aux aspects suivants :

- Théoriques : compréhension et/ou identification des bases théoriques, identification pour chaque outil des innovations importantes mises au service de l'ingénieur,...
- Méthodologiques : développement des outils en réseau, test des outils et des interfaces sur des PC virtuels, contrôle qualité du développement informatique,...
- Pratiques : convivialité des outils, ordonnancement des opérations, facilité d'apprentissage des tâches et opérations présentées par les intervenants,...

3. PRESENTATION DETAILLEE DES OUTILS ET ANALYSE DE LEUR UTILISATION EN SITUATIONS REELLES

3.1. REMARQUES GENERALES

3.1.1. SAUVEGARDE DES DOCUMENTS

Le système de programmation permet de sauvegarder un projet et au sein de ce projet plusieurs scénarios. Par exemple, on définit un réseau dans HYDRONOMEAS et plusieurs hypothèses de prélèvements et d'apports au moyen de plusieurs scénarios. Cela permet de regrouper tous les fonctionnements possibles en un seul projet et de faciliter leurs tests successifs en cas de besoin. Ce type de sauvegarde est identique pour tous les outils.

3.1.2. UTILISATION DES OUTILS ET DES DONNEES

Les modèles sont tous connectés à une base de données commune HYDRIA. L'intérêt de l'approche privilégiée est de ne renseigner qu'une seule base de données avec toutes les données nécessaires (physiques, hydrologiques, caractéristiques des stations,...).

Les modèles peuvent aussi être utilisés en dehors du cadre de la base de données c'est-à-dire sur des données entrées sous la forme de fichier texte par un utilisateur. De ce fait, les outils sont interconnectés mais également indépendants en cas de besoin et sans lien indispensable avec la base de données HYDRIA.

3.1.3. UTILISATION COURANTE DES OUTILS DU PROJET ODYSSEUS

Les outils du projet ODYSSEUS constituent un ensemble complexe de modèles interagissant les uns avec les autres. Ils permettent de traiter de nombreuses problématiques d'études mais impliquent soit de maîtriser correctement les outils et les théories sous-jacentes, soit de savoir clairement quelle partie du modèle doit être utilisée pour un type spécifique d'études et être en mesure de travailler avec cette partie des outils de manière indépendante des autres outils. Dans tous les cas, l'utilisateur doit être formé à l'emploi de ces outils à tous points de vue : théorique, pratique et méthodologique.

L'utilisation de certains outils, notamment HYDROGEIOS, nécessite la définition de nombreux paramètres (jusqu'à plus de 100 paramètres pour une étude présentée à l'EGU en 2005 sur le bassin versant de la rivière Beotikos Kephisos). La démarche retenue pour effectuer de tels calages repose sur une calibration étape par étape de tous les paramètres à caler. L'opérateur intervient dans le choix successif des paramètres à caler à chaque étape. Cette démarche permet de proposer des jeux de paramètres conduisant à des résultats de bonne qualité. Elle est en revanche relativement longue et nécessite une connaissance particulièrement bonne des outils et une aptitude à traduire les caractéristiques physiques des bassins sous la forme de valeurs prises par les paramètres des modèles.

Les modèles hydrologique et hydrogéologique cumulent par ailleurs certaines caractéristiques des modèles conceptuels dans la schématisation du fonctionnement des bassins versants et certaines caractéristiques des modèles déterministes ou physiques dans la représentation des processus à l'origine de l'infiltration ou du ruissellement. D'un point de vue pratique, cette association des différentes caractéristiques de chaque type de modèles est intéressante. Néanmoins, les paramètres des lois physiques utilisées dans les modèles (comme la loi de Darcy par exemple dans le cas d'HYDROGEIOS) sont calés pour des raisons notamment d'échelle des phénomènes. Ceci est tout à fait classique. Il ne faudrait pas en revanche que l'utilisateur considère les valeurs prises par les paramètres des modèles comme des caractéristiques physiques de son bassin. La tentation sera grande d'interpréter physiquement les valeurs des paramètres des modèles.

3.1.4. LES POINTS FORTS DU PROJET ODYSSEUS

A contrario de la première remarque du paragraphe précédent, l'objectif du projet ODYSSEUS est d'être opérationnel. De ce point de vue, l'association de tous les modèles, bien que complexe, ainsi que la définition des concepts utilisés sont des réussites. En effet :

- tous les outils sont disponibles en un seul ;
- l'utilisation générale de ces outils est assez conviviale (menu déroulant, choix par boîte de contrôle ou sélection dans des listes, choix des variables par sélection-déplacement,...) ;
- les méthodes reposent sur de solides bases théoriques et restent adaptées à une utilisation opérationnelle et pratique et non uniquement dédiée à des activités de recherche.

Le projet ODYSSEUS est également issu de recherches antérieures menées à NTUA. De ce fait, il est à mi-chemin entre recherche fondamentale et outil opérationnel. Les outils sont sans doute un peu compliqués pour un utilisateur quelconque (nombreux paramètres, bases théoriques solides mais nécessitant des connaissances particulières pour faciliter la compréhension des approches,...) ; ils sont en revanche particulièrement puissants pour traiter des études de gestion de la ressource sur des hydrosystèmes complexes.

Enfin, le point fort principal du projet ODYSSEUS réside dans l'association entre un partenaire académique de la recherche et un partenaire privé. De cette façon, on valorise les résultats de plusieurs années de recherche et on met à disposition de l'ingénieur des outils puissants et de qualité.

3.2. MODELE DE DEFINITION DES BESOINS : DIPSOS

DIPSOS est sans doute le modèle le plus simple à comprendre et à utiliser, d'autant plus que des valeurs par défaut sont disponibles. Le modèle DIPSOS ne repose pas sur des bases théoriques complexes. Il s'agit simplement d'estimer la consommation en eau d'une zone d'étude mois par mois tout au long de l'année en fonction des usages (domestiques, agricoles, industriels,...).

L'intérêt de cet outil est qu'il est possible de définir, en utilisant plusieurs années successives de simulation, l'évolution de la population ou l'évolution des consommations. On intègre ainsi dans la gestion de la ressource l'évolution intrinsèque du système en termes de besoins en eau.

3.3. MODULE HYDROLOGIQUE : HYDROGNOMON

Le module HYDROGNOMON comporte 4 outils complémentaires pour effectuer des analyses statistiques des données temporelles, construire les courbes IDF, modéliser le bilan hydrologique d'un bassin versant et générer stochastiquement des chroniques de pluies au moyen de CASTALIA.

HYDROGNOMON comporte également un certain nombre d'outils annexes permettant d'effectuer des opérations simples sur les données initiales : étude de corrélation, reconstitution de données manquantes, composition de variables...

3.3.1. LES OUTILS STATISTIQUES : PITHIA ET OMBROS

Les outils statistiques disponibles dans HYDROGNOMON permettent d'effectuer des opérations classiques en hydrologie statistique : calcul des distributions de fréquence empirique des données, estimation des lois statistiques d'ajustement, estimation des intervalles de confiance, estimation des cumuls des variables pour différentes périodes de retour...

La valeur ajoutée du projet ODYSSEUS ne concerne pas la définition des lois statistiques proprement dite. En revanche, 16 lois statistiques sont disponibles pour un calage des paramètres des lois selon la méthode des moments et 11 pour un calage des paramètres par la méthode du maximum de vraisemblance. 4 distributions de fréquence empiriques des données sont également disponibles. En outre, plusieurs choix sont possibles pour le fond graphique de représentation des données, la définition de l'axe des ordonnées (fréquence ou période de retour).

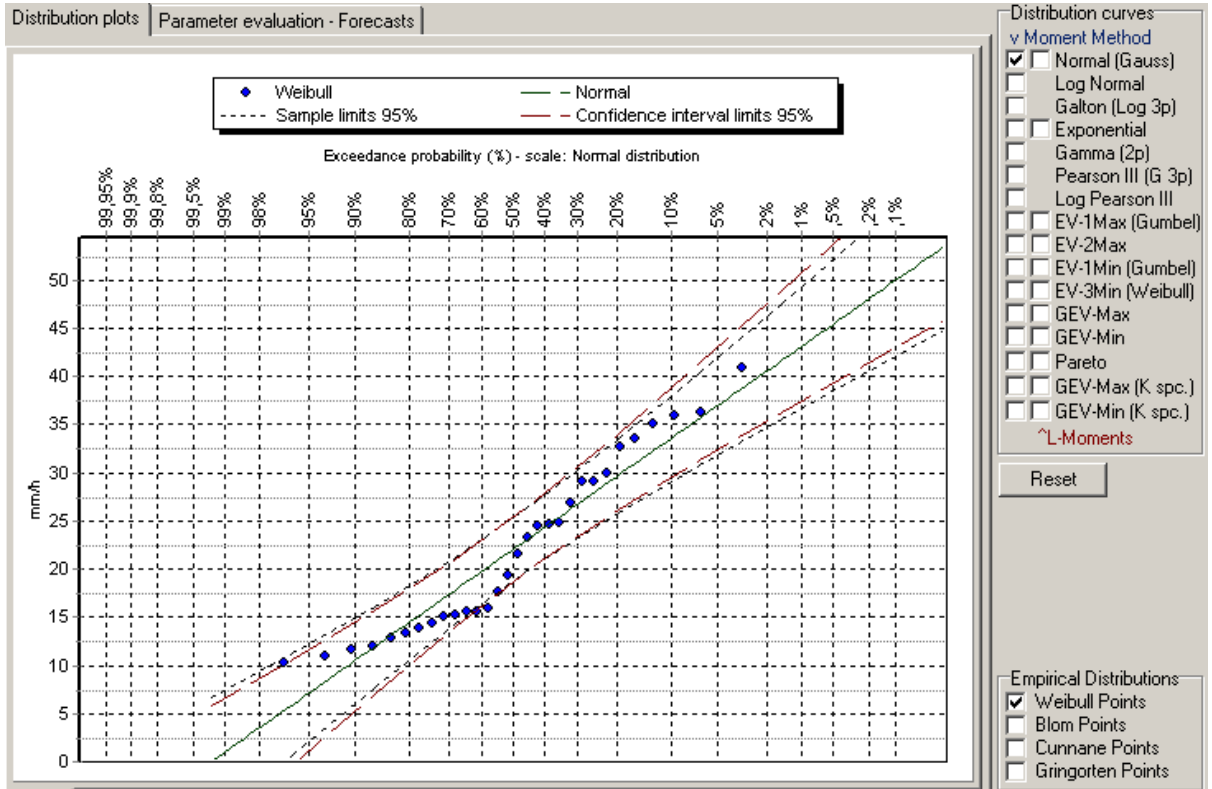
Le modèle PYTHIA est très complet et très convivial. Il permet de tester rapidement les conséquences du choix d'une loi statistique en particulier et de comparer les distributions de fréquence fournies par plusieurs lois statistiques pour le même échantillon de données. Tous les paramètres des lois disponibles dans PYTHIA sont calculés et renseignés dans un tableau.

Enfin, l'opérateur peut définir l'intervalle de confiance des distributions de fréquence. Cette fonction est très importante pour rappeler la variabilité des données hydrologiques autour des valeurs moyennes.

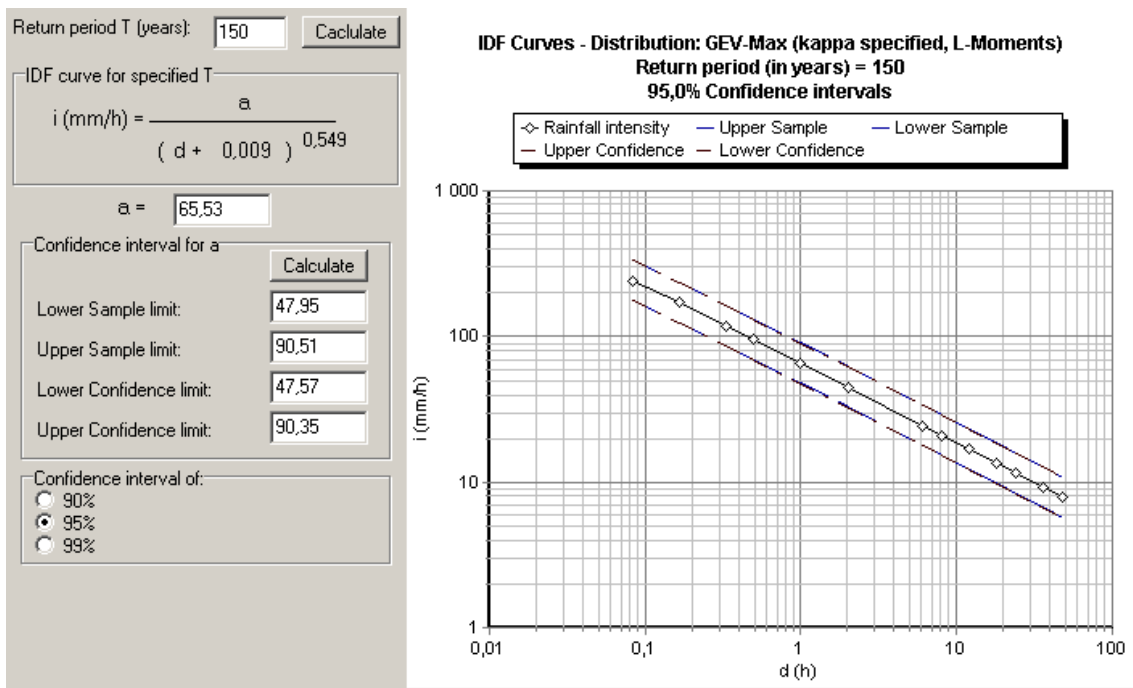
OMBROS est issu de recherches antérieures ayant pour objectif la définition des courbes IDF à partir d'une formule tenant compte explicitement des distributions de probabilités utilisées pour calculer les maxima des intensités. OMBROS permet donc la construction des courbes IDF.

Là encore, l'outil est très convivial et facile d'utilisation et d'accès. L'opérateur peut tester différentes lois de probabilités, estimer les courbes IDF pour différentes périodes de retour y compris des périodes de retour spécifiques (150 ans par exemple), calculer l'intervalle de confiance des courbes IDF pour une période de retour donnée et disposer des valeurs des paramètres utilisés.

En conclusion, les outils OMBROS et PYTHIA reposent sur le même principe : mettre à disposition facilement et en quelques choix rapides des possibilités de calcul très importantes dans le domaine des statistiques. Outre des fonctionnalités voisines, la qualité des moyens graphiques utilisés et des interfaces choisis favorise une prise en main rapide de ces deux outils.



Exemple de distribution de fréquence des pluies (PYTHIA)



Exemple de calcul de la courbe IDF et des intervalles de confiance à 95% pour la période de retour 150 ans (OMBROS)

3.3.2. GENERATION STOCHASTIQUE DE PLUIES : CASTALIA

CASTALIA est un générateur stochastique de pluies annuelles dont le principe repose sur le respect des valeurs prises par les moments d'ordre 1 à 3 sur les données observées. La répartition mensuelle des pluies annuelles générées de manière aléatoire s'effectue en respectant le pourcentage moyen de pluie enregistrée chaque mois, ce pourcentage étant calculé par rapport aux cumuls annuels. Une variabilité aléatoire autour de cette valeur moyenne des pourcentages est prévue dans le modèle. On respecte néanmoins la distribution moyenne des pluies mensuelles au cours d'une année hydrologique.

CASTALIA est sans doute l'outil le plus complexe inclus dans HYDROGNOMON mais également celui qui offre les possibilités les plus intéressantes pour la gestion des réseaux et de la ressource en eau : test du fonctionnement d'un réseau selon de multiples échantillons de pluies mensuelles et donc identification des probabilités d'échec de la fourniture d'eau ne reposant pas uniquement sur un scénario de pluie.

Cet outil présente également un intérêt particulier pour le test de scénarios pluviométriques dans le cadre d'études différentes de celles uniquement de la gestion de la ressource (évolution de la pluviométrie en fonction d'hypothèses d'évolution du climat, évolution des écoulements d'un bassin en fonction de différents scénarios pluviométriques équiprobables,...). Il repose sur des bases théoriques solides. Cela en fait un outil puissant et fiable techniquement. En revanche, l'utilisateur moyen devra être formé à son emploi notamment en ce qui concerne la définition des paramètres d'entrée de CASTALIA et la visualisation puis l'utilisation des séries temporelles générées.

La connaissance théorique de CASTALIA est essentiellement au sein de NTUA. L'intérêt du partenariat entre NAMA et NTUA est de permettre la contribution technique de NTUA qui pour CASTALIA devrait être assez importante.

3.3.3. MODELE DE BILAN HYDROLOGIQUE : ZYGOS

ZYGOS est un outil de modélisation pluie-débit conceptuelle au moyen de réservoirs représentant schématiquement le sol et le sous-sol. L'écoulement total a différentes sources : un écoulement direct à partir de la pluie, un écoulement issu du réservoir sol et un écoulement issu du réservoir souterrain. Ce modèle étant conceptuel, on se gardera de rentrer dans l'interprétation physique des différents écoulements ou dans l'interprétation de la répartition de la pluie brute entre les deux réservoirs. On comprend néanmoins l'objectif du choix de chaque source d'écoulement.

Le pas de temps de travail est essentiellement journalier ou mensuel compte tenu des objectifs de gestion de la ressource des outils. La représentation des différentes sources d'écoulement est donc adaptée aux pas de temps de travail.

On notera l'intérêt d'avoir tenu compte des pertes par évapotranspiration et par pompage dans le réservoir du sous-sol. Du point de vue de la gestion de la ressource, ces deux sources de pertes sont essentielles.

Le modèle ZYGOS comporte de nombreux paramètres pour définir la répartition des écoulements ou les caractéristiques de chaque réservoir (niveau initial et capacité, valeurs de H1 ou de H2). Cela peut conduire à un risque de surparamétrisation d'un même hydrosystème au moyen de ZYGOS et à un risque de compensation entre les différents paramètres du modèle pour modéliser les données en sortie. Plusieurs paramètres peuvent prendre des valeurs correspondant aux valeurs limites autorisées en calage. Ceci indique leur importance relative ou au contraire leur manque d'intérêt selon les cas étudiés et les résultats obtenus. Cela signifie en tous les cas que les paramètres ne sont pas indépendants. De ce point de vue, l'expertise hydrologique de NAMA et de NTUA sera tout à fait pertinente pour guider un utilisateur moyen à choisir les gammes de valeurs des paramètres, leurs valeurs initiales, les paramètres à calibrer et les paramètres à fixer. Par ailleurs, l'expertise hydrologique facilitera aussi l'interprétation des résultats.

La méthode d'optimisation des paramètres est en revanche de grande qualité (evolutionary annealing simplex algorithm). Les choix effectués pour montrer l'évolution des valeurs prises par les paramètres au cours du calage sont également très intéressants et très didactiques. L'interface de ZYGOS est d'une manière générale conviviale et facile à prendre en main.

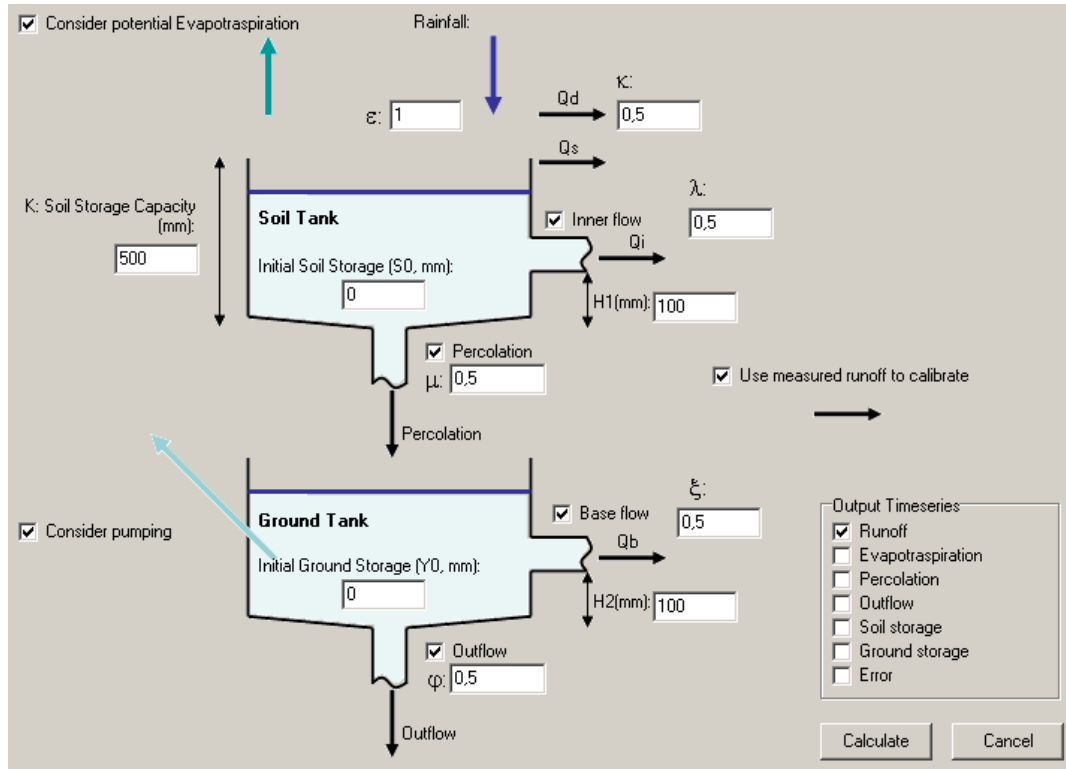


Schéma de principe du modèle ZYGOS

3.4. MODULE EAU SOUTERRAINE : HYDROGEIOS

Dans HYDRONOMEAS, un problème se pose pour définir les entrées du modèle : prise en compte des pertes dans le réseau hydrographique (infiltration, pertes dans un réseau karstique,...), prise en compte des sources et des résurgences, prise en compte des échanges entre eaux de surface et eaux souterraines... Il est donc nécessaire de définir clairement les variables d'entrée d'HYDRONOMEAS le modèle de gestion. C'est l'objectif d'HYDROGEIOS.

HYDROGEIOS propose une représentation simplifiée de la réalité hydrogéologique. Cette représentation est limitée du point de vue de la physique des processus mais très satisfaisante en termes de calage et tout à fait adaptée aux objectifs de gestion de l'ensemble des outils.

La schématisation et la paramétrisation d'un bassin versant dans HYDROGEIOS repose essentiellement sur :

- l'utilisation des HRU (Hydrological Response Units) pour réduire le nombre total de paramètres ;
- la schématisation du bassin versant en sous-bassin avec la définition des points de calcul du bilan hydrologique, correspondant aux exutoires des sous-bassins ;

- la paramétrisation des HRU qui correspond au croisement entre les informations issues des pentes et de la perméabilité pour définir une typologie des HRU. Les valeurs des paramètres sont définies pour chaque type de HRU. On réduit ainsi le nombre de paramètres ;
- la construction pour les eaux souterraines d'un réseau de cellules indépendantes du reste du modèle mais croisées avec les HRU de surface. La construction des cellules d'eau souterraine est réalisée en fonction des hauteurs d'eau dans le sol ;
- la dernière couche du système est constituée des mêmes éléments que dans HYDRONOMEAS à savoir l'hydrosystème dont on étudie la gestion (réseau de forages, de réservoirs, de rivières, d'aqueducs, de points de demande en eau,...)

Dans le cas où peu de données SIG seraient disponible, HYDROGEIOS permet de définir tous les éléments nécessaires via une unique couche SIG constituée du modèle numérique de terrain (MNT). A partir de cette couche et de la connaissance du bassin, l'utilisateur définit tous les éléments nécessaires aux calculs hydrogéologiques (définition des sous-bassins, des points nodaux, des HRU, des cellules d'eau souterraines,...).

Dans le modèle d'eau souterraine, les cellules sont définies à partir des équipotentiels. De cette façon, on définit moins de cellules que dans un modèle classique. On gagne donc en temps de calcul. En ce qui concerne la connaissance initiale des équipotentiels, soit leur allure est connue, soit l'utilisation à une reprise de MODFLOW aide à les estimer. Ensuite, tous les calculs suivants s'appuient sur les résultats d'une utilisation unique de MODFLOW. L'ensemble des calculs est donc beaucoup plus rapide puisqu'il y a moins de cellules que dans MODFLOW et qu'on utilise une seule fois MODFLOW. C'est un aspect pratique intéressant.

Compte tenu de la représentation de l'hydrosystème, de nombreux paramètres doivent être optimisés. Leur calibration est effectuée sur la base des observations et des informations qualitatives disponibles comme la tendance d'évolution des niveaux de l'amont vers l'aval. La méthode retenue consiste à alterner paramétrisation manuelle et optimisation automatique :

- définition de groupes de paramètres et choix de valeurs initiales pour les autres,
- optimisation de ces paramètres,
- test des résultats sur l'ensemble de la zone d'étude,
- définition d'un autre groupe de paramètres à calibrer,
- ...

La calibration s'effectue donc en plusieurs étapes. C'est un processus itératif et progressif qui peut prendre beaucoup de temps. Néanmoins, elle fait intervenir l'expérience de l'utilisateur, sa connaissance du terrain et permet de palier au risque de surparamétrisation du modèle. Une bonne expertise est nécessaire à ce stade de la calibration d'HYDROGEIOS. Ce sera sans doute à NAMA en partenariat avec NTUA d'aider et d'orienter les futurs utilisateurs d'HYDROGEIOS.

3.5. MODULE DE GESTION : HYDRONOMEAS

3.5.1. PRESENTATION

HYDRONOMEAS est le cœur du projet ODYSSEUS. C'est l'outil permettant la représentation d'un réseau d'eau et la simulation de son fonctionnement. HYDRONOMEAS permet de tester de nouveaux aménagements, d'identifier les prélèvements et les différentes sources sollicitées, de diagnostiquer le fonctionnement d'un réseau (ressources suffisantes pour répondre aux besoins, gestion des ressources adaptée au contexte du réseau,...) et de modifier les lois de fonctionnement d'un ou plusieurs réservoirs, d'un ou plusieurs forages au moyen d'une calibration des paramètres de ces lois de fonctionnement.

3.5.2. SCHEMATISATION DU RESEAU

La représentation du réseau est schématique et les éléments du réseau (rivières, aqueducs, forages, réservoirs) sont représentés de façon sommaire. Les caractéristiques de chaque élément sont définies dans un menu propre à chaque type d'éléments. Ces menus sont conviviales et ne nécessitent que peu de connaissance des caractéristiques techniques de chaque élément. On ne tient pas compte par exemple de la longueur des tronçons de rivières ou d'aqueducs ou de la capacité hydraulique fine de ces tronçons. La représentation du réseau est conceptuelle et orientée vers la gestion de la ressource et non la reconstitution informatique d'un réseau réel.

Les prélèvements dans la ressource sont définis par prélèvements dans les eaux de surface et dans les pompages. Pour les réservoirs et les forages, on précise respectivement les lois de fonctionnement et le coût énergétique du pompage. On notera que les lois de paramétrisation des réservoirs ne comporte que deux paramètres. La définition de l'utilisation des pompages est élaborée en fonction de la disponibilité de la ressource de surface et du coût énergétique de l'utilisation des pompages (consommation électrique en kWh/m³). En mode simulation, le modèle analyse la demande totale et répartit les apports entre les différentes sources disponibles. La priorité est donnée aux apports par les réservoirs qui présentent le coût énergétique le plus faible. Néanmoins, si le stock d'eau disponible des réservoirs est inférieur aux besoins, le reste est fourni par pompage.

L'opérateur définit également des cibles (targets) selon la nécessité de satisfaire tel ou tel choix en priorité lors du fonctionnement du réseau (respect d'un débit minimum dans une rivière, respect d'une cote pour un réservoir, privilégier la satisfaction de la demande de telle ville plutôt que de telle autre,...). Ces cibles sont traitées de façon tout ou rien : soit la ressource disponible permet de les satisfaire, soit les priorités ne sont pas satisfaites. Une hiérarchisation des cibles permet de distinguer 8 niveaux de priorité (de 1 pour les plus importantes à 8 pour les moins importantes). Les cibles d'un même niveau de priorité sont traitées aléatoirement pour choisir celle d'entre toutes qui sera satisfaite en premier.

Lors de la simulation, le modèle vise à aboutir au coût global de fonctionnement du réseau minimum en respectant dans l'ordre :

1. les volumes morts des réservoirs,
2. les cibles définies en fonction des priorités,
3. la mobilisation de la ressource en fonction des disponibilités,
4. la nécessité de satisfaire les cibles même si le coût induit est alors plus important.

3.5.3. MODE D'OPTIMISATION

Les lois de fonctionnement des réservoirs et des forages, les cibles (targets), la répartition de l'eau entre les différents chemins possibles et les différentes sources ou la gestion de l'eau en excès peuvent être calibrées afin d'affiner la gestion de la ressource. La qualité de la calibration est définie selon plusieurs critères : économiques, adduction d'eau,... L'utilisateur peut choisir lors de la calibration soit de définir une fonction de calibration tenant compte de tous les critères en pondérant l'importance de chaque critère, soit une fonction de calibration pour chaque critère.

Sans rentrer dans le détail de la méthode de calibration, on retiendra qu'elle repose sur la méthode du simplexe à laquelle ont été ajoutées la possibilité d'une évolution d'une distance partiellement aléatoire dans la direction d'amélioration de la qualité des calages et la prise en compte d'une température dans la fonction critère, définie comme l'écart entre les valeurs maximales et minimales prises par la fonction critère. Selon la distance à l'optimum, la température est plus ou moins élevée.

Dans le cas de l'optimisation du réseau, on effectue en fait deux calibrations imbriquées :

- pas à pas, la calibration permet de connaître la répartition des flux dans le réseau,
- une calibration globale vise à définir les paramètres à calibrer.

Le fonctionnement d'HYDRONOMEAS en mode calibration peut nécessiter de nombreux calculs et s'avérer relativement long. En revanche, on aboutit progressivement à l'identification des paramètres recherchés.

3.5.4. UTILISATION DES SIMULATIONS STOCHASTIQUES

Les séries de données simulées au moyen de CASTALIA peuvent servir d'entrée à HYDRONOMEAS afin de tester le fonctionnement du réseau dans de nombreux scénarios. Des analyses statistiques simples des données en entrée et des taux d'échec de la satisfaction des demandes et des cibles enregistrés permettent d'affiner le diagnostic d'un réseau et de qualifier la fréquence des échecs.

3.5.5. VISUALISATION DES RESULTATS

La visualisation des résultats est très conviviale. En effet, il est possible de visualiser le fonctionnement du réseau d'adduction par pas de temps successifs (une couleur rouge permet d'identifier simplement les demandes non satisfaites), ou de visualiser aux moyens de graphiques simples et didactiques les taux d'échec de satisfaction des demandes et des cibles.

Les modes possibles de fonctionnement de la génération stochastique des données sont :

- la génération d'une série temporelle synthétique de données (une série de 1000 ans par exemple),
- la génération de plusieurs séries temporelles différentes mais possédant les mêmes caractéristiques statistiques (100 séries de 10 ans par exemple).

Dans les deux cas, on considère que les caractéristiques intrinsèques du réseau sont stationnaires. Cette hypothèse est importante à rappeler systématiquement.

3.6. MODELES DE QUALITE : RYPOS, HERIDANOS, LERNE

Même si l'interface est différente, RYPOS repose sur les mêmes principes de modélisation que DIPSOS. DIPSOS permet de définir les besoins en eau, RYPOS permet de définir les charges polluantes du système étudié. RYPOS tient compte de tous les apports polluants possibles (domestiques, agricoles, industriels,...) et de la présence ou non de moyens de diminutions des charges polluantes dans le milieu naturel : stations d'épuration, traitement des rejets de certaines industries... Tout comme DIPSOS, RYPOS ne repose pas sur des bases théoriques très complexes. Il tient compte essentiellement de l'occupation de l'espace, des charges polluantes en fonction du type d'usages et de la répartition annuelle de ces charges.

RYPOS est assez facile à prendre en main et à s'approprier. En revanche, de très nombreuses données sont nécessaires pour définir tous les paramètres de calcul des charges polluantes (nature, concentration, source,...). Les études futures de NTUA devraient aboutir à la proposition de valeurs par défaut en cas de manque de données (un peu comme pour DIPSOS). Ce sera un réel plus pour l'utilisateur même si les informations correspondantes n'auront pas la même valeur que des informations locales issues d'enquête de terrain.

RYPOS sert d'entrée aux modèles suivants que sont LERNE et HERIDANOS qui permettent de modéliser respectivement la qualité des eaux des lacs et des eaux des cours d'eau.

HERIDANOS et LERNE sont des modèles de qualité 1D, avec la possibilité de définir deux couches pour un lac.

Au-delà des aspects purement pratiques et théoriques, le grand intérêt des outils HERIDANOS et LERNE est qu'on peut tenir compte de l'incertitude des données en entrée. Par exemple, si on utilise une valeur moyenne mensuelle du débit qui est douteuse, on peut effectuer plusieurs simulations stochastiques en considérant une gamme de valeurs possibles autour du débit indiqué (par exemple +/- 50 %). Toutes les valeurs de débit générées sont ensuite équiprobables et utilisées pour les calculs d'évolution des charges polluantes du système analysé. Des courbes d'équifréquence des scénarios issus des différentes valeurs de débit autour de la valeur initiale sont alors définies dans la partie résultats.

La gestion des confluences n'est pas possible actuellement dans HERIDANOS. Pour l'instant, on peut travailler en définissant 2 branches amont et une branche commune aval. La gestion des confluences devrait intervenir plus tard.

3.7. MODELE DE CALCUL DES INTRUSIONS SALINES : ALS

Ce module est un réel plus par rapport à de nombreux autres outils du même type qu'ODYSSEUS. L'objectif dans cet outil est de définir le débit maximal de chaque forage en cas de pompage dans un aquifère en interaction avec le milieu marin sans que de l'eau salée soit pompée. Il correspond à une problématique cruciale actuellement en Grèce et plus généralement pour les aquifères insulaires et répond à un réel besoin des services en charge de l'adduction d'eau potable.

Le modèle ALS fonctionne actuellement en 2D et les débits de pompage de chaque forage sont calibrés de façon à les maximiser sans risquer de pomper de l'eau salée. Le module de calcul hydrogéologique est le même que dans MODFLOW. Les hypothèses actuellement utilisées pour le pompage sont celles d'un état stationnaire sans évolution mensuelle des apports à l'aquifère et du toit de la nappe. On travaille donc avec un niveau moyen interannuel du niveau de la nappe. D'un point de vue pratique, cette approche est avantageuse. Du point de vue de la précision des résultats, il pourrait être intéressant, dans la mesure du possible, d'affiner le calcul en considérant non plus un niveau moyen interannuel mais des niveaux moyens mensuels pour une année hydrologique moyenne. De cette façon, on aboutirait au calcul des débits de pompage mois par mois en fonction de la ressource disponible.

La méthode de calibration n'aboutit pas nécessairement au maximum absolu des débits de pompage mais à un ordre de grandeur des débits pompés. Ce résultat est tout à fait suffisant à l'heure actuelle pour les objectifs de gestion de la ressource.

Les développements futurs du modèle ALS s'orientent vers le calcul en 3D du biseau salé. Dans ce cas, l'évolution du toit de l'aquifère sera également disponible.

De nombreux fichiers sont nécessaires en entrée. Ils sont tous créés au moyen du SIG et issus d'HYDROGEIOS. Finalement, l'utilisation de ALS, assez complexe sur le fond, devient relativement simple en pratique. C'est un atout pour une utilisation courante de cet outil par des utilisateurs sans formation très poussée en hydrogéologie ou en modélisation.

3.8. MODELE ECONOMIQUE : HERMES

L'objectif du modèle HERMES est d'apporter des éléments financiers concrets pour estimer la faisabilité économique d'un projet d'aménagement. Cet outil est associé à HYDRONOMEAS. Dans le cas d'un projet de type extension de réseau d'adduction, ajout d'un aqueduc ou création d'un nouveau réservoir par exemple, l'intérêt technique du projet est testé au moyen d'HYDRONOMEAS ; sa faisabilité économique est évaluée au moyen d'HERMES. Cette association des deux outils permet de définir autant de scénarios financiers qu'il y a de scénarios techniques.

Le modèle HERMES calcule la Valeur Actuelle Nette d'un projet (VAN ou NPV en anglais pour Net Present Value). La VAN correspond à l'estimation aujourd'hui d'un projet réalisé dans les 15 à 20 prochaines années. Au-delà les prédictions financières sont de moins bonne qualité car les évolutions possibles du système sont trop fortes. La VAN ne permet d'estimer précisément la rentabilité d'un investissement et donc le retour sur investissement. Elle permet néanmoins d'évaluer si le projet est rentable ou non.

Actuellement, le modèle de calcul d'HERMES est terminé. L'interface est encore en cours de finalisation. Cette interface sera conviviale et permettra de définir aisément les paramètres financiers à prendre en compte dans les calculs (répartition financière des coûts du projet sur la durée de vie de l'investissement, répartition de l'investissement, répartition du retour sur investissement, définition des revenus du projet, définition des coûts humain, matériel et énergétique de fonctionnement, calcul de l'amortissement,...).

HERMES permet d'effectuer des calculs économiques pour chaque projet et à l'intérieur de chaque projet pour chaque sous-projet afin de tester la faisabilité économique à différents niveaux. Il est donc possible de tester différents paramètres communs à tous les projets et sous-projets comme la durée de vie par exemple.

Cet outil est clairement un modèle économique et ne devra pas être traité de la même façon que les autres modèles ou par les mêmes personnes. La formation initiale d'un ingénieur hydraulicien n'est pas nécessairement adaptée à l'utilisation d'HERMES d'un point de vue strictement financier.

4. COMPARAISON AVEC QUELQUES OUTILS CONCURRENTS

4.1. PRESENTATION DE PLUSIEURS OUTILS CONCURRENTS DANS LE DOMAINE DE LA GESTION DE LA RESSOURCE EN EAU

Les modèles actuellement disponibles sont principalement les trois suivants :

- WEAP (Water Evaluation And Planning System – Stockholm Environment Institute) ;
- MIKE BASIN (DHI Water & Environment) ;
- RIBASIM (Delft Hydraulics).

Tous ces modèles sont essentiellement comparables à HYDRONOMEAS. Les fonctionnalités de HYDRONOMON et de HYDROGEIOS ne sont pas reprises explicitement ou sous la même forme dans les trois modèles cités ci-dessus.

Le premier élément de comparaison met donc en évidence la possibilité dans ODYSSEUS de disposer de tous les outils hydrologiques et hydrogéologiques permettant de définir précisément les données en entrée d'HYDRONOMEAS.

Du point de vue de la gestion de la ressource, ces outils présentent les mêmes caractéristiques en ce qui concerne la définition de la topologie des réseaux, la définition des priorités des usages, la définition des usages sur une rivière en fonction des débits... L'atout majeur d'HYDRONOMEAS est la possibilité de calibrer non pas seulement la répartition des flux dans le réseau mais aussi les paramètres de fonctionnement intrinsèque du réseau : paramètres de fonctionnement d'un réservoir, seuils d'utilisation des pompes,...

4.2. PRINCIPAUX AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE CHAQUE OUTIL

Les points forts du projet ODYSSEUS :

- interfaçage avec de nombreux outils ;
- calibration des outils en particulier d'HYDRONOMEAS selon plusieurs niveaux (allocation de la ressource et paramétrisation des lois de fonctionnement de l'hydrosystème étudié), donc possibilité de traiter à l'intérieur d'HYDRONOMEAS les problèmes de paramétrisation et d'optimisation de la gestion des réseaux et de la ressource ce qui n'est pas possible avec d'autres outils ;
- association avec un générateur stochastique de pluie pour la proposition de scénarios de fonctionnement du système (génération d'une chronique synthétique ou de plusieurs chroniques de même durée) ;
- des bases théoriques solides et un partenariat fort avec l'université technique d'Athènes pour la pérennité des développements théoriques et l'appui technique aux utilisateurs ;
- un seul environnement de travail pour effectuer toutes les tâches de modélisation ;
- plusieurs outils novateurs : ALS, LERNE, CASTALIA,...

Les points faibles du projet ODYSSEUS :

- l'utilisation courante des outils dans des études d'ingénierie ;
- l'expérience des concurrents en termes de commercialisation et de présence sur le marché avec leurs outils ;
- certains modules spécifiques de ces outils :
 - gestion temps réel au pas de temps journalier pour RIBASIM et son Flood Early Warning System qui sera peut-être concurrencé plus tard par des outils interconnectés avec HYDRONOMEAS bien que cela sorte du cadre stricte de la gestion de la ressource,
 - interfaçage sous ArcGis pour MIKE BASIN : cet interfaçage n'est pas réellement un point pénalisant pour ODYSSEUS dans la mesure où un interface avec un SIG est possible via HYDROGEIOS,
 - WEAP est sans doute le modèle le plus complet et le plus proche de ceux du projet ODYSSEUS.

Les points faibles sont peu nombreux et essentiellement liés au fait que le projet ODYSSEUS est récent. Il faudra sans doute un peu de temps pour faire connaître les outils. Techniquement, les modèles du projet ODYSSEUS sont de haut niveau et au moins équivalents aux outils concurrents.

4.3. COMMERCIALISATION

Les réflexions concernant la commercialisation des outils sont toujours en cours au sein de NAMA. Les éléments mentionnés ici sont simplement indicatifs pour montrer le coup des outils concurrents et donc les points sur lesquels NAMA devra également convaincre pour l'intérêt de cet outil.

A titre de comparaison, une licence de WEAP coûte environ 2500\$ pour les bureaux privés. Différents prix sont possibles en fonction du client (WEAP21.org).

Une licence de MIKEBASIN coûte environ 4000€ pour le noyau équivalent à HYDRONOMEAS avec une licence ArcGis 9 intégrée. Le module pluie-débit s'élève à 2000€ et le module qualité de l'eau à 3000€. Les licences universitaires sont 50% moins chères.

Une hypothèse de commercialisation de ODYSSEUS pourrait être de céder la licence gratuitement au moins au début. L'objectif est de banaliser l'utilisation de cet outil et de concurrencer les outils développés par DHI et DELFT qui sont employés couramment pour les études en Grèce. L'idée du projet est donc aussi de faire savoir le savoir faire grec dans les domaines abordés par le projet.

L'approche commerciale à moyen terme du projet ODYSSEUS pourrait consister à :

- dissocier les modules à la vente,
- proposer différents coûts selon que le client est privé, public ou universitaire par exemple (avec éventuellement une licence gratuite pour les universitaires ce qui permettrait de sensibiliser les futurs ingénieurs à l'utilisation d'ODYSSEUS),
- insister sur les atouts réels du projet : partenariat étroit entre recherche et ingénierie, qualité théorique des outils, convivialité des interfaces, complémentarité des modules,...

5. CONCLUSIONS

5.1. UN PROJET AMBITIEUX ET PLEIN D'AVENIR

Certains modules développés antérieurement au projet ODYSSEUS et mis à disposition ici par NTUA sont tout à fait intéressants et neufs sur le marché de l'hydraulique et de la gestion de réseaux : CASTALIA (essentiel pour la définition des scénarios de pluies réalistes sur de longues périodes de temps afin de tester les évolutions futures d'un hydrosystème), LERNE (qualité des eaux lacustres), ALS (gestion des intrusions salines), méthode de calibration des modèles notamment dans HYDRONOMEAS...

Les principes de certains outils sont également intéressants pour l'utilisateur averti : choix des lois statistiques dans OMBROS par exemple, visualisation de l'évolution des systèmes au cours des calculs de simulation ou de calibration (ZYGOS en calage et HYDRONOMEAS en simulation)...

Enfin, le point le plus important du résultat du projet ODYSSEUS est le transfert vers le domaine de l'ingénierie d'outils performants issus de plusieurs années de recherche fondamentale. L'évaluation du point de vue technique et recherche des outils n'a pas été effectuée de manière très poussée dans le cadre de l'expertise. Une évaluation de ces outils a en outre déjà été conduite par d'autres chercheurs lors des publications et des participations aux congrès sur ces sujets.

De plus, grâce à l'implication des universitaires, on passe de la recherche fondamentale à la recherche appliquée. Ce transfert ne signifie pas une simplification à outrance des outils et des méthodes résultant des recherches antérieures. On peut également espérer de futures améliorations des outils du fait des futurs progrès de la recherche dans le domaine de l'hydrologie, de la modélisation et de la gestion de la ressource.

En ce qui concerne l'écriture des outils, nous souhaitons rappeler la convivialité des interfaces graphiques et la facilité de les utiliser.

Par ailleurs, au moyen des différents outils informatiques utilisés lors de la rédaction des interfaces et de l'architecture de chaque modèle et de l'ensemble des modèles, on peut également insister sur l'intérêt des méthodes mises œuvre entre NAMA et NTUA : approche CVS, utilisation de Bugzilla, choix de POSTGRES pour la gestion de base de données (outil du même type qu'ACCESS mais gratuit et permettant notamment de travailler en réseau sur la même base de données). La volonté de qualité et de suivi dans l'écriture des outils informatiques est évidente. Ce n'est pas toujours facile à mettre en œuvre et nous souhaitons le mentionner ici.

Cependant, certains outils restent complexes pour un utilisateur moyen tout comme l'organisation générale des outils. NAMA devra assurer des formations et du soutien technique auprès des utilisateurs futurs. Ces formations et ce soutien technique ne devraient pas être des éléments rédhibitoires pour les utilisateurs.

Par ailleurs, la connaissance fine des outils est indispensable et elle est surtout disponible auprès de quelques personnes à l'université (Professeur Koustoyanis et docteur Efstratiadis essentiellement). Un manuel théorique existe en grec. Au moment de la mission, la traduction anglaise n'était pas disponible. Au-delà de cette traduction, il serait intéressant de réfléchir au transfert de la connaissance des outils d'un point de vue théorique vers les membres du projet ODYSSEUS. D'un point de vue pratique, la plupart des utilisateurs auront des questions relativement simples. Mais si certains utilisateurs ont des questions théoriques plus pointues, il serait intéressant que la personne présentant les outils puisse y répondre. La commercialisation sera d'autant plus aisée si les personnes qui en ont la charge possèdent l'ensemble des principales connaissances théoriques concernant les caractéristiques mathématiques de chaque outil. Il est risqué de faire reposer la connaissance théorique sur 1 ou 2 personnes seulement. Le fait de savoir faire fonctionner les modèles informatiques est une chose, connaître les théories sous jacentes en est une autre.

En quelques mots :

- Le potentiel de développement de NAMA autour de cet outil est très important.
- L'Université Technique Nationale d'Athènes a valorisé plusieurs années de recherche : c'est un atout majeur du projet.
- SOGREAH, impliqué dans le projet en qualité d'expert extérieur, suivra avec attention et intérêt les futurs développements et études réalisées avec les outils du projet.

5.2. PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENTS FUTURS

Nous listons dans ce paragraphe quelques suggestions d'évolution des outils, sur le fond ou sur la forme, qui pourraient permettre de faire évoluer les modèles à moyen terme.

- PYTHIA :
 - définir soi-même les paramètres d'une loi de distribution de fréquence empirique ;
 - ne pas écraser si possible les résultats précédents notamment lorsqu'on calcule les intervalles de confiance ou qu'on change de mois ;
 - autoriser le transfert vers Excel ou un autre outil du même type non seulement des graphiques mais également des résultats (paramètres des distributions statistiques retenues, tableaux de valeurs pour différentes périodes de retour,...) pour éventuellement effectuer des modifications sur les graphiques ;
 - permettre le travail par saison si nécessaire en offrant la possibilité à l'utilisateur de définir lui-même les saisons afin de s'adapter à tous les types de climatologie.

- OMBROS :
 - garder en mémoire les variables utilisées précédemment par défaut. Par exemple, si on ferme OMBROS par erreur ou pour effectuer d'autres opérations entre temps, on perd les données entrées précédemment. Si on réutilise ensuite OMBROS, il faut redéfinir toutes les variables. On pourrait par défaut conserver les données précédentes au moment de la réouverture (sous une même cession de HYDROGNOMON donc perte des données uniquement d'une cession à l'autre) et permettre à l'utilisateur de réinitialiser toutes les données en cliquant sur un bouton spécifique ;
 - rendre possible les modifications des axes du graphique des IDF. Un graphique standard est proposé allant de 1 à 1000 mm/h en ordonnées et de 0,01 à 100 h en ordonnées. Dans le cas des intensités, si la période de retour est particulièrement forte et que les données d'entrée correspondent à des climats où les intensités sont généralement fortes, par exemple en climat tropical, l'échelle de l'axe des intensités n'est pas adapté en fonction des valeurs d'intensités atteintes. Dans le cas où les intensités sont particulièrement faibles, il pourrait être intéressant de zoomer sur l'axe des intensités pour visualiser les gammes de valeurs significatives.
- ZYGOS :
 - Le modèle présente un nombre important de paramètres. Il pourrait être conseillé de ne pas calibrer tous les paramètres en même temps ou de ne pas calibrer simultanément tous les paramètres de chaque réservoir, notamment la capacité du réservoir sol puisque celle-ci est compensée par le remplissage initial ou le positionnement de H1 notamment ;
 - Nous suggérons également de proposer une version dégradée de ZYGOS permettant d'atteindre des résultats en moyenne du même niveau de qualité en diminuant le nombre de paramètres.
- CASTALIA :
 - un graphique supplémentaire pourrait être ajouté dans la partie résultat. Il permettrait de comparer visuellement les distributions de fréquence des pluies simulées selon différentes durées (mois et année essentiellement) avec les distributions de fréquence des pluies observées pour ces mêmes durées. On apprécierait ainsi la qualité des simulations non plus seulement par rapport à la reconstitution des caractéristiques statistiques des échantillons (moyenne, écart-type, asymétrie) mais également par rapport à la reconstitution des quantiles de pluies.
- ALS :
 - l'estimation des débits de pompage pourrait être affinée mois par mois et non plus seulement à l'échelle de l'année hydrologique moyenne complète.

- HYDRONOMEAS :
 - Gestion des priorités : la répartition de la ressource entre tous les usages n'est pas équitable une fois que les règles de répartition sont définies. Il pourrait être intéressant de gérer différemment les priorités en définissant des lois différentes et davantage progressives au niveau des restrictions (non plus seulement de type tout ou rien). Par exemple dans le cas de deux usages, l'usage de priorité 1 pourrait être réduit à 80% dans le cas où la ressource est trop faible pour satisfaire simultanément les deux usages. Ce serait un atout supplémentaire de ODYSSEUS vis-à-vis des outils concurrents qui fonctionnent actuellement tous de la même façon ;
 - Réévaluation des usages en cas d'étiage sévère : la définition des usages pourrait être adaptée en fonction des débits observés ou des cotes de pré-alerte et d'alerte d'étiage définies pour chaque réservoir. De cette façon, on conditionnerait la ressource mise à disposition en cas d'étiage sévère ce qui serait un plus pour le gestionnaire. Du point de vue de la modélisation, il faudrait alors réduire la consommation en considérant par exemple des restrictions simples sur certains usages (arrosage d'agrément des pelouses privées, lavage des véhicules, remplissage des piscines, limitation des prélèvements pour l'irrigation,...).
- Modèles de qualité :
 - d'un point de vue pratique dans LERNE et sans doute aussi dans HERIDANOS, il serait sans doute intéressant de pouvoir copier/coller les lignes de définition des paramètres des simulations. De ce fait, sur la base d'une ligne initiale, on pourrait définir simplement plusieurs lignes correspondant à plusieurs simulations différant chacune de la ligne initiale d'un seul paramètre. On identifierait ainsi l'impact d'un paramètre particulier sur les résultats des calculs ;
 - modèle de qualité des aquifères : ce thème a été laissé de côté dans le cadre du projet faute de partenaire. En fonction des besoins identifiés par la suite, il pourrait être intéressant de compléter les modèles de qualité déjà disponibles.

ANNEXE 1 : LISTE DES PUBLICATIONS (HORS EGU 2005)

(Pour mémoire : liste des principales publications en lien avec le projet ODYSSEUS et rappel en quelques lignes de la thématique de l'article)

1997

A parametric rule for planning and management of multiple-reservoir systems – I. Nalbantis & D. Koutsoyiannis, WRR, vol. 33, n°9, pp. 2165-2177

Proposition d'une loi pour la paramétrisation de systèmes à plusieurs réservoirs en tenant compte des apports, des besoins, des objectifs de gestion visés

1998

A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships – D. Koutsoyiannis, D. Kozonis, A. Manetas, JoH, 206, pp. 118-135

Proposition d'une formule de construction des courbes IDF en tenant compte explicitement des distributions de probabilités utilisées pour calculer les maxima des intensités. Optimisation des paramètres de la formulation générale en fonction du modèle d'extrapolation. Méthode reprise dans OMBROS (calcul des IDF dans ODYSSEUS)

2000

A generalized mathematical framework for stochastic simulation and forecast of hydrologic time series – D. Koutsoyiannis, WRR, vol. 36, n°6, pp. 1519-1533

Publication initiale du modèle de simulation stochastique de séries de données temporelles présenté ensuite à l'EGS 2001

2001

Coupling stochastic models of different timescales – D. Koutsoyiannis, WRR, vol. 37, n°2, pp. 379-391

Couplage de modèles hydrologiques stochastiques utilisés à des échelles de temps différentes pour que les résultats soient homogènes toutes échelles confondues. Transformation des séries stochastiques à pas de temps fin pour les rendre homogènes avec les séries stochastiques à pas de temps grossier. Conservation des moments d'ordre 2 et 3. L'intérêt de la méthode consiste aussi à faciliter la désagrégation d'une variable d'un pas de temps grossier à un pas de temps plus fin.

A stochastic hydrology framework for the management of multiple reservoir systems – D. Koutsoyiannis & A. Efstratiadis, EGS 2001

Méthode de simulation stochastique de données appliquée à l'hydrologie. Modèles incorporés dans CASTALIA. Prise en compte de l'auto-corrélation des variables hydrologiques sur des durées longues et donc du phénomène de Hurst

2002

A decision support tool for the management of multi-reservoir systems – D. Koutsoyiannis, A. Efstratiadis, G. Karavokiros, J. of the American Water Resources Association, vol. 38, n°4

Outil de gestion d'un système constitué de plusieurs réservoirs dont les objectifs ne sont pas tous identiques compte tenu des usages de chacun. Outil également d'optimisation de la gestion du système. On le retrouve dans ODYSSEUS. Calage de l'outil par la méthode dite de paramétrisation-simulation-optimisation : 1) réduction du nombre de paramètres en entrée, 2) simulation d'une série synthétique des données, 3) optimisation du système à partir des données synthétiques

2003

Evaluation of the parametrization-simulation-optimization approach for the control of reservoir systems – D. Koutsoyiannis & A. Economou, WRR, vol. 39, n°6

Paramétrisation : au lieu de représenter deux réservoirs dans un modèle en comportant donc 2, on représente le lien entre ces réservoirs. De ce fait, on paramètre le lien et on réduit le nombre de variables du modèle à optimiser. Au lieu d'avoir à optimiser 2 fois le nombre de variables d'un réservoir, on a une fois le nombre de variables d'un réservoir plus les paramètres de la loi reliant les deux réservoirs (à la limite, un seul paramètre supplémentaire en fonction du lien entre les 2 réservoirs). Ensuite, on définit une série synthétique de données et on optimise.

A decision support system for the management of the water resource system of Athens – D. Koutsoyiannis et al., Physics and Chemistry of the Earth, 28, pp. 599-609

L'outil d'aide à la décision inclut : l'acquisition, la gestion et la visualisation des données ainsi que des modèles pour simuler et optimiser le système. Pour les modèles, on a d'un côté un outil de simulation stochastique hydrologique pour générer les données d'entrée et de l'autre un outil permettant de tester différentes politiques de gestion de la ressource. L'intérêt de la méthode est de conserver un nombre réduit de paramètres, de prendre en compte plusieurs objectifs ainsi que des priorités définies pour chaque objectif et d'estimer le coût des politiques.

2004

Minimizing water cost in water resource management of Athens – A. Efstratiadis, D. Koutsoyiannis, D. XENOS, Urban Water Journal, vol. 1, n°1, pp. 3-15

Minimisation du coût de l'eau au moyen d'un outil de gestion intégrée de la ressource. Optimisation de la politique de gestion du système afin de réduire les risques et le coût.

Calibration of semi-distributed model for conjunctive simulation of surface and groundwater flows – E. Rozos et al., Hydrological Sciences Journal, vol. 49, n°5

Développement d'un modèle hydrologique prenant en compte les processus souterrains et superficiels : module conceptuel de prise en compte de l'humidité du sol, module d'écoulement de Darcy multi-cellules, module de distribution des prélèvements d'eau parmi ces différentes ressources. Calage par cessions successives manuelle et automatique. En optimisation, utilisation de l'algorithme evolutionary-annealing-simplex. Optimisation multi-critères avec respects de certaines contraintes saisonnières ou temporelles.

Management of coastal aquifers based on nonlinear optimization and evolutionary algorithms – A. Mantoglou, M. Papantoniou, P. Giannouloupoulos, Journal of Hydrology, 297, pp. 209-228

Estimation des débits optimums de pompage dans un aquifère côtier dans le but d'éviter le pompage d'eau salée.

2005

The multiobjective evolutionary annealing-simplex method and its application in calibrating hydrological models – A. Efstratiadis & D. Koutsoyiannis, EGU 2005

Présentation de la méthode de calage des modèles hydrologiques développée dans le cadre du projet ODYSSEUS. Méthode multi-objectifs avec estimation du front de Pareto

2006

A multicell karstic aquifer model with alternative flow equations – E. Rozos & D. Koutsoyiannis, JoH, 325, pp. 340-355

3 types d'écoulements dans les zones karstiques : écoulement dans les conduits, infiltration depuis la surface, écoulement dans la zone de circulation verticale. Proposition d'un modèle permettant de combiner les apports de surface et les écoulements verticaux.

ANNEXE 2 : PRESENTATION GENERALE DES PRINCIPAUX OUTILS CONCURRENTS

(Extraits issus des documentations commerciales des différents outils)

WEAP

WEAP is a microcomputer tool for integrated water resources planning that attempts to assist the skilled planner. It provides a comprehensive, flexible and user-friendly framework for planning and policy analysis.

Background:

Many regions are facing freshwater management challenges. Allocation of limited water resources, concerns regarding environmental quality, planning under climate variability and uncertainty, and the need to develop and implement sustainable water use strategies are increasingly pressing issues for water resource planners. Conventional supply-oriented simulation models are not always adequate for exploring the full range of management options.

Over the last decade, an integrated approach to water development has emerged which places water supply projects in the context of demand-side management, and water quality and ecosystem preservation and protection. WEAP incorporates these values into a practical tool for water resources planning and policy analysis. WEAP places demand-side issues such as water use patterns, equipment efficiencies, re-use strategies, costs, and water allocation schemes on an equal footing with supply-side topics such as stream flow, groundwater resources, reservoirs, and water transfers. WEAP is also distinguished by its integrated approach to simulating both the natural (e.g., evapotranspirative demands, runoff, baseflow) and engineered components (e.g., reservoirs, groundwater pumping) of water systems, allowing the planner access to a more comprehensive view of the broad range of factors that must be considered in managing water resources for present and future use. The result is an effective tool for examining alternative water development and management options.

WEAP operates in many capacities:

- Water balance database: WEAP provides a system for maintaining water demand and supply information.
- Scenario generation tool: WEAP simulates water demand, supply, runoff, streamflows, storage, pollution generation, treatment and discharge and instream water quality.
- Policy analysis tool: WEAP evaluates a full range of water development and management options, and takes account of multiple and competing uses of water systems.

The WEAP Approach:

WEAP operates on the basic principle of a water balance and can be applied to municipal and agricultural systems, a single watershed or complex transboundary river basin systems. Moreover, WEAP can simulate a broad range of natural and engineered components of these systems, including rainfall runoff, baseflow, and groundwater recharge from precipitation; sectoral demand analyses; water conservation; water rights and allocation priorities, reservoir operations; hydropower generation; pollution tracking and water quality; vulnerability assessments; and ecosystem requirements. A financial analysis module also allows the user to investigate cost-benefit comparisons for projects.

The analyst represents the system in terms of its various supply sources (e.g., rivers, creeks, groundwater, reservoirs, and desalination plants); withdrawal, transmission and wastewater treatment facilities; water demands; pollution generation; and ecosystem requirements. The data structure and level of detail can be easily customized to meet the requirements and data availability for a particular system and analysis.

WEAP applications generally include several steps:

- Study definition: The time frame, spatial boundaries, system components, and configuration of the problem are established.
- Current accounts: A snapshot of actual water demand, pollution loads, resources and supplies for the system are developed. This can be viewed as a calibration step in the development of an application.
- Scenarios: A set of alternative assumptions about future impacts of policies, costs, and climate, for example, on water demand, supply, hydrology, and pollution can be explored.
- Evaluation: The scenarios are evaluated with regard to water sufficiency, costs and benefits, compatibility with environmental targets, and sensitivity to uncertainty in key variables.

Examples of WEAP Scenario Analyses:

Scenarios are used to explore the model with a range of "what if" questions, such as:

- What if population growth and economic development patterns change?
- What if reservoir operating rules are altered?
- What if groundwater is more fully exploited?
- What if water conservation is introduced?
- What if ecosystem requirements are tightened?
- What if a conjunctive use program is established to store excess surface water in underground aquifers?
- What if a water recycling program is implemented?
- What if a more efficient irrigation technique is implemented?
- What if the mix of agricultural crops changes?
- What if climate change alters demand and supplies?

- How does pollution upstream affect downstream water quality?
- How will land use changes affect runoff?

WEAP Development:

The Stockholm Environment Institute provided primary support for the development of WEAP. The Hydrologic Engineering Center of the US Army Corps of Engineers funded significant enhancements. A number of agencies, including the UN, World Bank, USAID, US EPA, IWMI, AwwaRF and the Global Infrastructure Fund of Japan have provided project support.

MIKE BASIN

For addressing water allocation, conjunctive use, reservoir operation, or water quality issues, MIKE BASIN couples the power of ArcGIS with comprehensive hydrologic modelling to provide basin-scale solutions. The MIKE BASIN philosophy is to keep modelling simple and intuitive, yet provide in-depth insight for planning and management. In MIKE BASIN, the emphasis is on powerful simulation result visualization in both space and time, in order to build understanding and consensus.

For hydrologic simulations, MIKE BASIN builds on a network model in which branches represent individual stream sections and the nodes represent confluences, diversions, reservoirs, or water users. The ArcGIS interface has been expanded accordingly, e.g., such that the network elements can be edited by simple right-clicking. Technically, MIKE BASIN is a quasi-steady-state mass balance model, however allowing for routed river flows. The water quality solution assumes purely advective transport; decay during transport can be modeled. The groundwater description uses the linear reservoir equation.

Typical fields of application are:

- Water availability analysis: conjunctive surface and groundwater use, optimization thereof.
- Infrastructure planning: irrigation potential, reservoir performance, water supply capacity, waste water treatment requirements.
- Analysis of multisectoral demands: domestic, industry, agriculture, hydropower, navigation, recreation, ecological, finding equitable trade-offs.
- Ecosystem studies: water quality, minimum discharge requirements, sustainable yield, effects of global change. Regulation: water rights, priorities, water quality compliance.

MIKE BASIN is developed by DHI.

RIBASIM: River Basin Planning and Management

RIBASIM (River Basin Simulation Model) is a generic model package for analyzing the behaviour of river basins under various hydrological conditions. The model package is a comprehensive and flexible tool which links the hydrological water inputs at various locations with the specific water-users in the basin.

RIBASIM enables the user to evaluate a variety of measures related to infrastructure, operational and demand management and the results in terms of water quantity and water quality. RIBASIM generates water distribution patterns and provides a basis for detailed water quality and sedimentation analyses in river reaches and reservoirs. It provides a source analysis, giving insight in the water's origin at any location of the basin. RIBASIM follows a structured approach to river basin planning and management.

RIBASIM is a modelling instrument for river basin planning and management. It has a set of outstanding features which make it a state of the art river basin simulation package.

RIBASIM has a link with the HYMOS hydrological database and modelling system. For detailed water quality process RIBASIM can be linked with the DELWAQ water quality model.

Field of application:

RIBASIM is designed for any analysis which requires the water balance of a basin to be simulated. The resulting waterbalance provides the basic information on the available quantity of water as well as the composition of the flow at every location and any time in the river basin.

RIBASIM provides the means to prepare such balances in required detail, taking into account drainage from agriculture, discharges from industry and the downstream re-use of water. A number of basin performance parameters are generated for evaluation of the simulated situations.

A recent application of RIBASIM is the use of the model as flow routing component within a Flood Early Warning System (FEWS). Various hydrologic routing methods are available in RIBASIM e.g. Manning formula, Flow-level relation, 2-layered multi segmented Muskingum formula, Puls method and Laurenson non-linear "lag and route" method. The flow routing is executed on daily basis starting at any selected day for any number of days ahead.

User interface:

The structure of RIBASIM is based on an integrated framework with a user-friendly, graphically, GIS-oriented interface.

The working environment provides:

- guidance of the user at the design, calculation (simulation) and the analysis phase,
- GIS environment for the interactive preparation of the basin schematization, the entry of object attribute data and the evaluation of simulation results.