

HYDRAM
AIDE A LA GESTION D'HYDRO-AMENAGEMENTS
APPLICATION A L'IRRIGATION EN GUADELOUPE

Par

J.C. POUGET

HYDRAM
Aide à la gestion d'HYDRO-AMénagements
Application à l'irrigation en Guadeloupe

J.C. POUGET
Centre ORSTOM Guadeloupe
BP 1020 97178 - Pointe à Pitre

Résumé

Le projet, financé par le Conseil Général de la Guadeloupe, consiste à réaliser un outil informatique, HYDRAM, pour dresser un bilan des capacités et limites d'hydro-aménagements en fonction de scénarios de développement. L'expertise est fondée sur l'analyse de la simulation du fonctionnement "hydrologique" du système à étudier.

Une des originalités de l'outil réside dans sa fonction de conception interactive, permettant de construire des hydro-aménagements en kits par sélection de composants existants (retenue, prise en rivière, conduite, demande AEP, périmètres d'irrigation...).

HYDRAM est ainsi conçu pour pouvoir envisager facilement différentes évolutions spatiales et temporelles (aménagements, cultures, gestion...), assurer un fonctionnement basé sur une satisfaction variable des besoins.

Outil d'aide à la planification dans le programme d'irrigation de la Grande-Terre, HYDRAM doit apporter aux décideurs des évaluations claires de la fiabilité de desserte en eau selon divers scénarios envisagés. Il doit ainsi préciser la possibilité de développement des périmètres irrigués, la gestion à adopter au niveau des retenues, l'échéance pour envisager la sollicitation de nouvelles ressources, la construction d'autres barrages...

Environnement logiciel dédié à l'aide à la décision dans la gestion des hydro-aménagements, HYDRAM veut fournir et faciliter l'utilisation d'outils simples intégrant des démarches de spécialistes complémentaires (hydrologues, agronomes, analystes...). La nécessaire extension de cet environnement, pour envisager les multiples facettes d'une gestion rationnelle des ressources en eau, est permise par le choix du mode de développement, basé sur la réalisation de "composants logiciels" réutilisables [MEYER 1989].

Mots-clés

évaluation d'un système d'eau - outil informatique
conception en kits - simulation - analyse interprétée
multidisciplinarité - extension - composants logiciels

1 Présentation

Comment concevoir et développer un système informatique pour qu'il apporte une aide effective dans la planification et la gestion d'hydro-aménagements?

L'idée de base est qu'il faut rendre disponible facilement, rapidement, de manière claire et synthétique les conséquences prévisibles de scénarios de développement, d'alternatives de gestion [FEDRA 1985] [LOUCKS 1985].

Prenons la planification de l'irrigation en Guadeloupe telle qu'elle était prévue en 1986 (voir figure 1.). On constate des décalages importants entre prévision et réalité de l'aménagement tant au niveau offre que demande. On rappelle que le point important de ce programme est d'atténuer les déficits en eau de la Grande-Terre, où les ressources sont faibles et difficilement mobilisables, en amenant de l'eau de la Basse-Terre, véritable château d'eau de la Guadeloupe [MORELL 1990].

Actuellement le périmètre d'irrigation du Sud-Est connaît un réel développement avec l'extension des cultures maraîchères, alors que la rentabilité de l'irrigation de la canne est aujourd'hui encore remise en question. Ce périmètre est alimenté par l'intermédiaire de la retenue de Letaye-Amont, réserve de stockage pouvant assurer environ 10 jours d'autonomie en période d'irrigation intensive. Le transfert de l'eau prélevée en Basse-Terre sur le Bras-David est assuré par une conduite \varnothing 800 mm. Mais, encore récemment c'est cette seule conduite, le \varnothing 1400 mm n'étant pas en place, qui alimentait la station de traitement, qui permet de renforcer l'adduction d'eau potable de la Grande-Terre, et le périmètre Nord encore peu développé. La retenue de Gachet, au nord, ne devrait être opérationnelle que d'ici deux ans. Le barrage de Bras-David est encore au stade d'étude. La sollicitation des autres ressources de la Côte-au-vent n'est qu'au stade de projet.

Des problèmes de gestion des aménagements existants commencent à se poser, de plus de grandes reconversions sont envisageables.

En 1989, l'ORSTOM a passé une convention avec le Conseil Général de la Guadeloupe pour réaliser un système d'aide à la planification et la gestion des aménagements pour l'irrigation.

L'outil développé doit être appliqué, dans le cadre de cette étude, au programme d'irrigation de la Grande-Terre. Les scénarios à envisager s'étendent à la mise en service du barrage de Bras-David.

C'est à la lumière de cette application que nous allons voir comment est conçu HYDRAM pour répondre à notre problème. En résumé l'approche doit pouvoir:

- modéliser un système où interviennent divers types de besoins, de ressources et envisager facilement différentes évolutions spatiales et temporelles (aménagements, cultures...)
- assurer un fonctionnement basé sur une satisfaction variable des besoins selon un mode se rapprochant des conditions réelles
- fournir des analyses claires, synthétiques des résultats de simulation.

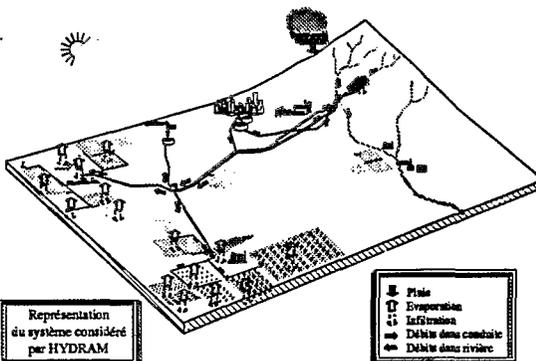
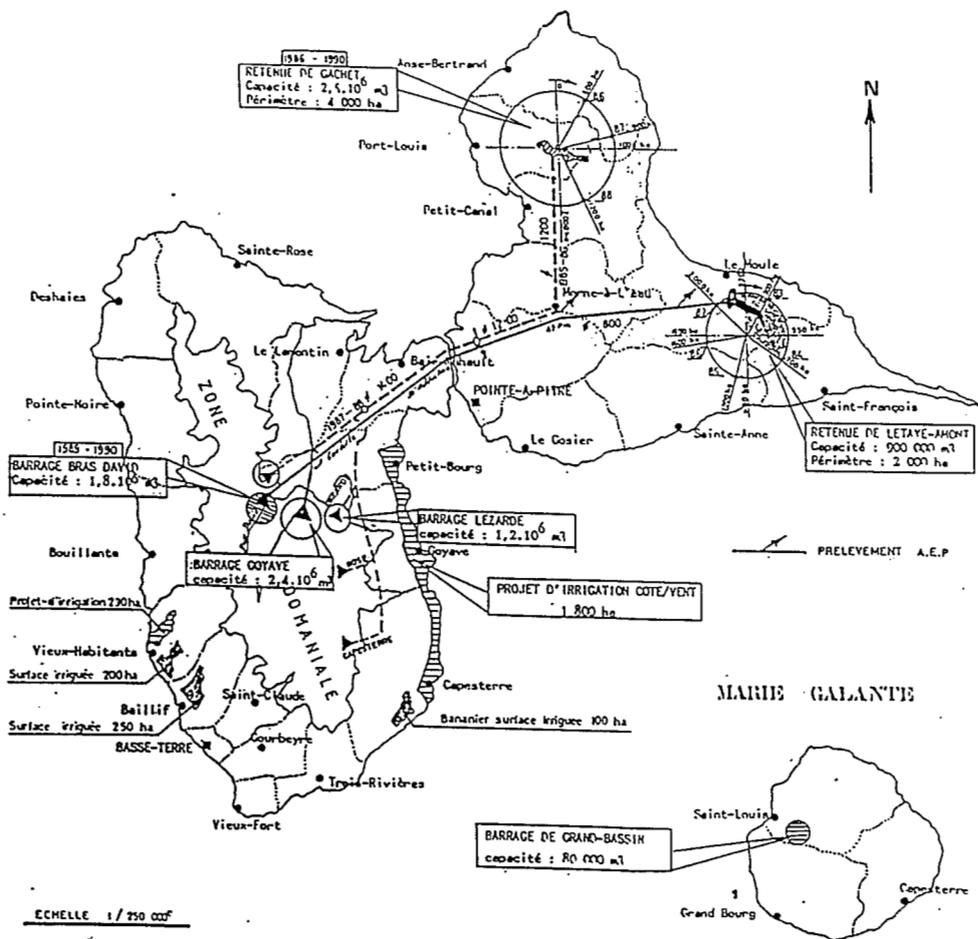


Figure 2.

Figure 1. Etat et projets des périmètres irrigués en Guadeloupe



Tiré de l'article de J.L.BUHLER: *Périmètres irrigués en Guadeloupe Etat actuel et Perspectives* dans le numéro spécial du Bulletin agronomique Antilles-Guyane de février 1986

2 Conception

2.1 Préalable

Il faut, avant de pouvoir construire un hydro-aménagement, planter le décor et définir l'environnement spatio-temporel considéré.

Une session d'HYDRAM impose le choix d'une région. Il correspond à la sélection d'un répertoire sur disque, où sont rassemblées toutes les données relatives à un même projet.

La notion de région permet d'offrir un repère adapté pour les conversions de coordonnées. Les limites géographiques de la zone d'étude définissent la représentation graphique et des éléments descriptifs (contours, tracés de cours d'eau...) peuvent y être adjoints.

Les fichiers de chroniques de données climatologiques (pluie, évaporation, écoulement) à utiliser pour la simulation sont à placer sous le répertoire défini. Les extensions utilisées pour ces fichiers (.plj, .plm, .dbj, .dbm, .eva...) permettent leur sélection suivant le pas d'étude à considérer.

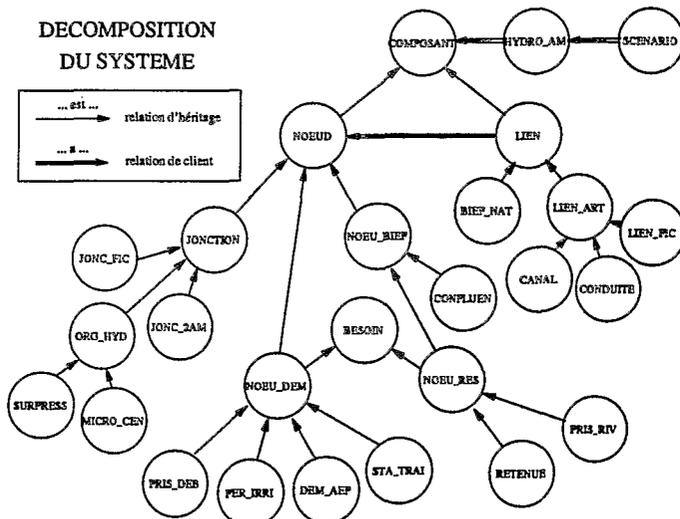
Ainsi pour le programme d'irrigation de la Grande-Terre des fichiers opérationnels de pluies et de débits vont être élaborés en mensuel et en journalier. Les chroniques s'étendront des années 1955 à 1980, période suffisante pour assurer la validité d'une analyse par simulation.

2.2 les bases

Un idée clé dans la conception d'HYDRAM est qu'un hydro-aménagement est un système hiérarchisé formé par un ensemble de composants physiques, avec des modalités de fonctionnement, de gestion et des buts que doit atteindre le système [VOTRUBA 1990].

Un hydro-aménagement peut ainsi être considéré comme un réseau constitué de noeuds et de liens (voir figure 3.). Construire un hydro-aménagement consiste donc à ajouter, modifier, supprimer des composants dans ce réseau. Les composants disponibles fournissent des spécifications plus ou moins complexes des caractéristiques de ces liens et de ces noeuds indispensables pour en assurer le fonctionnement : volume disponible, volume nécessaire, débit maximum de transit...

Figure 3.



La description externe du système d'eau est donc possible; pour la rendre facile et rapide, il faut favoriser la réutilisation de l'existant, l'agrégation, désagrégation de l'information.

De manière pratique l'ajout d'un nouveau composant (voir figure 4.) se fait au moyen d'une liste sur laquelle on sélectionne le composant approprié. Le choix peut porter sur:

- le composant par défaut
L'ensemble des composants par défaut, qui peuvent être redéfinis, est géré comme un hydro-aménagement classique, DEFAUT.HYD.
- les composants de même type déjà existants dans l'hydro-aménagement courant
- le chargement d'un hydro-aménagement existant sur la région, pour permettre la sélection d'un composant de même type qui s'y trouve.

Figure 4. Projet du menu de Gestion des composants

Région	Climato.	Conception	Simulation	Analyse	Utilitaires	Quitte
--------	----------	-------------------	------------	---------	-------------	--------

Gestion des composants Gestion des hydro-aménagements Précisions sur hydro-aménagement Gestion des scénarios Quitte	Ajout/modifie Supprime Composant par défaut Quitte	 V.O.O. 1990 © ORSTOM Région : <input type="text"/> Hydro-am. : <input type="text"/> Scénario : <input type="text"/> Sélection composant Retenue Prise en rivière Bief naturel Lien Jonction Prise débit dérivé Station traitement Demande A.E.P. Périmètre d'irrigation Haut Bas X: <input type="text"/> Y: <input type="text"/> VUE <input type="button" value="←"/> <input type="button" value="→"/> <input type="button" value="↓"/> <input type="button" value="↑"/> ZOOM <input type="button" value="←"/> <input type="button" value="→"/> VUE TOTALE 1:1
--	--	---

Nom	Description
NOUVEAU	NOUVEAU
Composants de même type disponibles dans hydro-am.	
Sélection dans liste des hydro-aménagements disponibles	

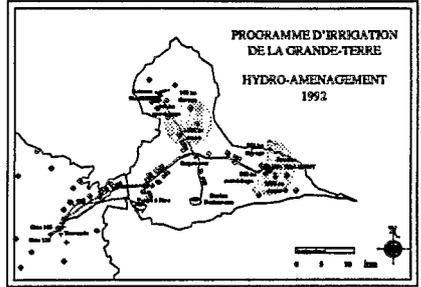
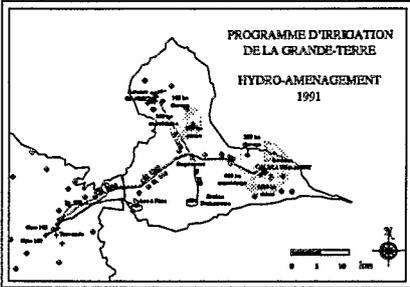
Ce mode de conception donne une grande latitude au niveau de la composition du système. Ainsi l'hydro-aménagement actuel du programme d'irrigation de la Grande-terre peut être aisément modéliser. Il est possible d'aller plus ou moins loin dans le découpage en périmètres d'irrigation (voir figure 6.).

A partir de ce système les autres hydro-aménagements du scénario envisagé peuvent être obtenus très facilement par copies puis modifications. Les graphiques suivants (voir figure 5.) présentent l'évolution probable du programme d'irrigation de la Grande-Terre.

Figure 5. Scénario probable du programme d'irrigation de la Grande-Terre.

1991 : une conduite mixte ϕ 1400 mm alimentera le périmètre nord et la station de Deshauteurs servant à renforcer l'alimentation en eau potable de la Grande-Terre. Les prélèvements sont effectués sur Bras-David et sur la Grande Rivière à Goyave.

1992 : les périmètres d'irrigation continuent à s'étendre. La conduite mixte ϕ 1400 mm alimente Pointe à Pitre.



1993 : la retenue de Gachet, possédant une réserve de stockage de 2,5 millions de m^3 , devient opérationnelle pour l'alimentation du périmètre nord.

1994 : le barrage de Bras-David pourrait être mis en eau et servir à la régulation de l'alimentation en eau de la Grande-Terre.

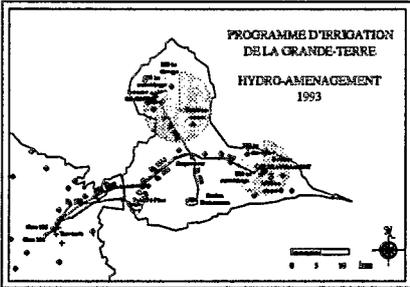
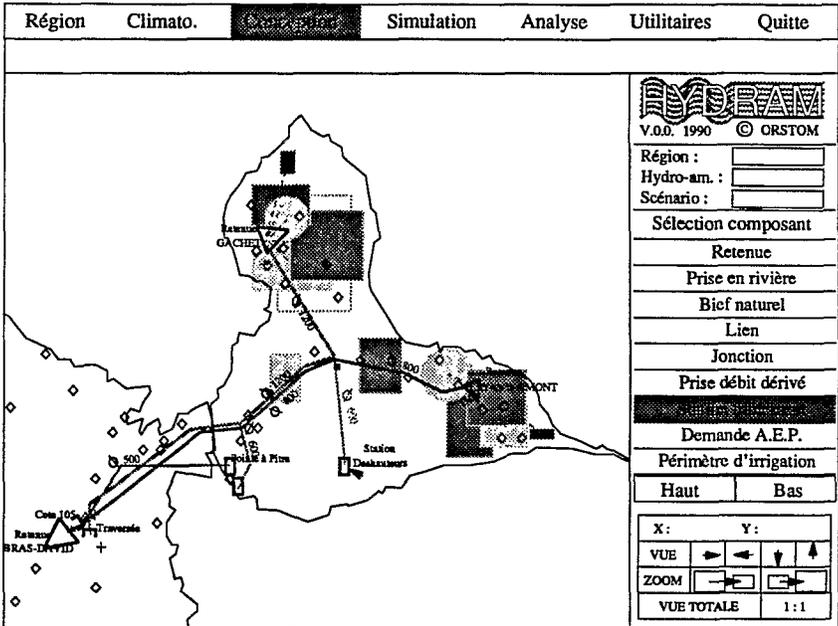


Figure 6. Projet de représentation graphique du système



Pour tenir compte du degré de connaissance variable des composants eux-mêmes, il faut disposer d'une grande flexibilité au niveau de leur description.

2.3 Exemples de composants

◆ Prise débit dérivé

C'est un des composants les plus simples, le besoin est exprimé par la demande de débit.

Certains attributs sont communs à tous les composants, tant les noeuds, que les liens :

nom : défini sur 8 caractères, sert à la désignation du composant

descriptif : défini sur 30 caractères, sert de complément, à titre d'aide

représentation : sert à la représentation graphique du composant : symbole associé, définition de l'affichage du nom

D'autres attributs sont communs à tous les noeuds :

localisation : elle pourra être définie indifféremment par les coordonnées X,Y relatives au repère lié à la région d'étude ou par la longitude, latitude

altitude : sa donnée est requise pour permettre une évaluation de la charge piézométrique dans le réseau

Δ pression requise : donnée de la surpression éventuelle attendue au niveau du noeud

Figure 7. Projet du menu de définition d'une prise débit dérivé

Demande de débit : définition de la demande de débit variable au cours de l'année, par l'entrée de couples date-débit; ce débit sera interpolé linéairement pour la date considérée suivant les valeurs de ces couples (*Remarque : la donnée d'un seul couple définit une valeur de débit constante pour l'année*).

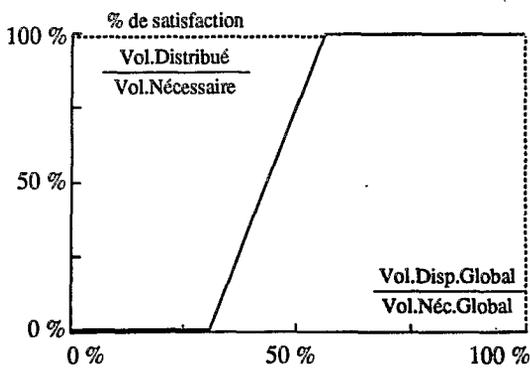
$$\text{vol}_{\text{néc_cour}} = \text{deb_dem}(\text{date}=\text{cour}) * \text{durée_pas} (j=1)$$

$$\text{vol}_{\text{disp_cour}} = 0$$

Un point important de la modélisation est de savoir reproduire la politique de distribution en cas de déficit, tous les besoins dans un système d'eau n'étant pas considérés comme également prioritaires.

La solution retenue est d'introduire pour chaque besoin un coefficient de satisfaction attendu. C'est la définition en fonction d'un état de disponibilité globale (rapport du volume disponible sur le volume nécessaire sur tout le système) du pourcentage du besoin satisfait par rapport au besoin objectif. Ce coefficient induit une hiérarchie dans les besoins, les besoins assurés à 100% pour l'état de disponibilité le plus faible étant les plus prioritaires.

Figure 8. Coefficient de satisfaction attendu



◆ Périmètre d'irrigation

Le problème, par rapport à la prise débit dérivé, est d'exprimer la demande, dont la spécification est plus complexe.

Le modèle classique simple à réservoir a été retenu pour le calcul du bilan hydrique [MOLLE 1985] [COMBRÉS 1989]. On considère ainsi que toute pluie arrivant sur le sol s'infiltré jusqu'à la saturation du sol, qui correspond au remplissage du réservoir dont la capacité constitue la réserve utile (RU), décomposée en réserve facilement utilisable (RFU) et en réserve difficilement utilisable (RDU).

Le bilan peut donc s'écrire simplement :

$$\text{état_rés_fin} = \text{état_rés_init} + \text{pluie} + \text{dose_apport} - \text{ETR}$$

où ETR, évapotranspiration réelle, est la consommation réelle de la culture en fonction du stress hydrique. ETR est difficile à approcher, on se contente des résultats semi-empiriques visant à donner sa variation en fonction de l'humidité du sol ou plutôt en fonction de l'état de la réserve.

L'ETM, évapotranspiration maximale d'une culture, correspond donc à la consommation du périmètre planté quand celui-ci est convenablement approvisionné en eau.

Dans la pratique, ETM est calculée par $ETM = Kc * ETP$, où Kc, coefficient cultural, dépend du stade de développement du végétal.

Tant qu'il y a de l'eau dans la RFU, c'est à dire que la réserve R reste supérieure à la RDU, on considère que la plante reste à son niveau de consommation optimal, $ETR=ETM$.

Lorsque R devient inférieur à RDU, la relation $ETR/ETM = R/RDU$ est considérée.

Figure 9. Projet du menu de définition d'un périmètre d'irrigation

Région	Climato.	Conception	Simulation	Analyse	Utilitaires	Quitte																																		
<table border="1"> <tr> <td>Valide</td> <td>Quitte</td> </tr> <tr> <td>Nom : <input type="text"/></td> <td>Représentation <input type="text"/></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Descriptif : <input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>X : <input type="text"/> 000.00</td> <td>Longitude : <input type="text"/> +00 00 00</td> </tr> <tr> <td>Y : <input type="text"/> 000.00</td> <td>Latitude : <input type="text"/> +00 00 00</td> </tr> <tr> <td>Altitude : <input type="text"/> 0.0</td> <td><input type="text"/> m</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Δ pression requise : <input type="text"/> 0.0 <input type="text"/> m d'eau</td> </tr> <tr> <td>Surface irriguée : <input type="text"/> 0.0</td> <td>ha Coeff. occupation : <input type="text"/> 1</td> </tr> <tr> <td>Pluie : <input type="text"/> Interpolation</td> <td>Chronique Coeff. sur pluie : <input type="text"/> 1</td> </tr> <tr> <td>Evaporation associée : <input type="text"/></td> <td>Coeff. sur évapo. : <input type="text"/> 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2"> <input type="text"/> Réserve Facilement Utilisable <input type="text"/> Réserve Utile <input type="text"/> Coefficient cultural <input type="text"/> Seuil d'irrigation </td> </tr> <tr> <td colspan="2"><input type="text"/> Coeff. de satisfaction attendue</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Efficacité technique d'irrigation : <input type="text"/> 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Limite d'apport : <input type="text"/> mm/jour</td> </tr> </table>		Valide	Quitte	Nom : <input type="text"/>	Représentation <input type="text"/>	Descriptif : <input type="text"/>		X : <input type="text"/> 000.00	Longitude : <input type="text"/> +00 00 00	Y : <input type="text"/> 000.00	Latitude : <input type="text"/> +00 00 00	Altitude : <input type="text"/> 0.0	<input type="text"/> m	Δ pression requise : <input type="text"/> 0.0 <input type="text"/> m d'eau		Surface irriguée : <input type="text"/> 0.0	ha Coeff. occupation : <input type="text"/> 1	Pluie : <input type="text"/> Interpolation	Chronique Coeff. sur pluie : <input type="text"/> 1	Evaporation associée : <input type="text"/>	Coeff. sur évapo. : <input type="text"/> 1	<input type="text"/> Réserve Facilement Utilisable <input type="text"/> Réserve Utile <input type="text"/> Coefficient cultural <input type="text"/> Seuil d'irrigation		<input type="text"/> Coeff. de satisfaction attendue		Efficacité technique d'irrigation : <input type="text"/> 1		Limite d'apport : <input type="text"/> mm/jour		<table border="1"> <tr> <td>Menu</td> <td>Affichage nom</td> <td>Quitte</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Cercle</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Retour</td> </tr> </table>	Menu	Affichage nom	Quitte	Cercle			Retour			 <p>V.0.0. 1990 © ORSTOM</p> <p>Région : <input type="text"/></p> <p>Hydro-am. : <input type="text"/></p> <p>Scénario : <input type="text"/></p> <p>Sélection composant</p> <p><input type="text"/> Retenue</p> <p><input type="text"/> Prise en rivière</p> <p><input type="text"/> Bief naturel</p> <p><input type="text"/> Lien</p> <p><input type="text"/> Jonction</p> <p><input type="text"/> Prise débit dérivé</p> <p><input type="text"/> Station traitement</p> <p><input type="text"/> Demande A.E.P.</p> <p>Périmètre d'irrigation</p> <p><input type="text"/> Haut <input type="text"/> Bas</p> <p>X : <input type="text"/> Y : <input type="text"/></p> <p>VUE <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/></p> <p>ZOOM <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/></p> <p>VUE TOTALE 1:1</p>
Valide	Quitte																																							
Nom : <input type="text"/>	Représentation <input type="text"/>																																							
Descriptif : <input type="text"/>																																								
X : <input type="text"/> 000.00	Longitude : <input type="text"/> +00 00 00																																							
Y : <input type="text"/> 000.00	Latitude : <input type="text"/> +00 00 00																																							
Altitude : <input type="text"/> 0.0	<input type="text"/> m																																							
Δ pression requise : <input type="text"/> 0.0 <input type="text"/> m d'eau																																								
Surface irriguée : <input type="text"/> 0.0	ha Coeff. occupation : <input type="text"/> 1																																							
Pluie : <input type="text"/> Interpolation	Chronique Coeff. sur pluie : <input type="text"/> 1																																							
Evaporation associée : <input type="text"/>	Coeff. sur évapo. : <input type="text"/> 1																																							
<input type="text"/> Réserve Facilement Utilisable <input type="text"/> Réserve Utile <input type="text"/> Coefficient cultural <input type="text"/> Seuil d'irrigation																																								
<input type="text"/> Coeff. de satisfaction attendue																																								
Efficacité technique d'irrigation : <input type="text"/> 1																																								
Limite d'apport : <input type="text"/> mm/jour																																								
Menu	Affichage nom	Quitte																																						
Cercle																																								
Retour																																								

Les éléments retenus pour décrire un périmètre irrigué (voir figure 9.) sont donc les suivants:

Surface irriguée : définition de la surface couverte par les cultures irriguées.

Coefficient d'occupation : sa définition permet de déduire la superficie réelle couverte par les cultures. Dans la représentation des périmètres un choix sur des formes simples (cercle, rectangle) peut être fait. Ce choix implique dans la couverture géographique du périmètre la définition des coordonnées du noeud, considéré comme le barycentre de la figure associée. Ceci permet un calcul automatique de la pluie moyenne sur le périmètre par interpolation à partir des postes pluviométriques voisins.

Pluie : choix de calcul automatique ou sélection dans la liste des chroniques disponibles de la pluie à associer au périmètre.

Coefficient sur pluie : coefficient correcteur facultatif (par défaut vaut 1) à appliquer à la pluie associée pour évaluer la pluie efficace à considérer.

Évaporation associée : sélection dans la liste des chroniques disponibles de l'évaporation à associer au périmètre pour représenter l'E.T.P.

Coefficient sur évaporation : coefficient correcteur facultatif (par défaut vaut 1) à appliquer à la lame évaporée associée.

Réserve Facilement Utilisable : définition de la variation de la Réserve Facilement Utilisable au cours de l'année, par l'entrée de couples date-hauteur; la réserve sera interpolée linéairement pour la date considérée suivant les valeurs de ces couples (remarque : la donnée d'un seul couple définit une valeur constante sur l'année).

Réserve Utile : définition de la variation de la réserve utile au cours de l'année, par l'entrée de couples date-hauteur; la réserve sera interpolée linéairement pour la date considérée suivant les valeurs de ces couples.

Coefficient cultural : définition de la variation du coefficient cultural au cours de l'année, par l'entrée de couples date-coefficient; la valeur du coefficient sera interpolée linéairement pour la date considérée suivant les valeurs de ces couples.

Seuil d'irrigation : définition de la variation du seuil d'irrigation au cours de l'année, par l'entrée de couples date - % de remplissage de RFU; si l'état de la réserve devient inférieur à ce seuil d'alerte, il y a demande d'irrigation. Par convention si ce seuil est nul, il n'y a pas d'irrigation.

Coefficient de satisfaction attendue : définition en fonction de l'état de disponibilité globale du pourcentage du besoin satisfait par rapport au besoin objectif ou optimal.

Efficience technique d'irrigation : définition du coefficient de perte en volume entre l'eau fournie au niveau du périmètre et l'eau utilisable par les plantes.

Limite d'apport : définition de la limite technique maximale de desserte en eau de l'équipement d'irrigation.

Il faut noter l'approche dynamique dans la prise en compte de la pluie, la définition de la variabilité des caractéristiques au cours de l'année.

Le calcul de la demande s'exprime donc :

```
vol_néc_cour    si      seuil_irri = 0
                 alors    vol_néc_cour    = 0
                 sinon si def_cour < alert_irri
                 alors    vol_néc_cour    = 0
                 sinon    vol_néc_cour    = def_cour * surf_irri / eff_irri * coeff_unité
def_cour        = ru (date=cour) - res_init + etr (res_init) - plu_cour
```

Exemple :

A et B : 2 retenues, C: conduite A → B

a et b : coefficients de sollicitation attendue respectifs
coef. relatifs ⇒ b = 100%

bilan apports et besoins propres → A% et B%

transfert dans conduite C → A' % et B' %

si B% ≥ 100% ⇒ pas de transfert → A%=A' % et B%=B' %

si maintenant B% < 100% → transfert dans conduite C défini tel que:
a*A' % ≤ b*B' % ou C saturée

2 cas extrêmes de politique:

- politique d' "égalité des pourcentages de stockage utile":
a = 100% → transfert → A' % = B' %
- B entièrement prioritaire:
a = 0% → transfert → saturation de C ou A' % = 0

Figure 11. Projet du menu de définition d'une retenue

Région	Climato.	Conception	Simulation	Analyse	Utilitaires	Quitte
Valide		Quitte		 <p>Région : <input type="text"/></p> <p>Hydro-am. : <input type="text"/></p> <p>Scénario : <input type="text"/></p> <p>Sélection composant</p> <p style="text-align: center;">Retenue</p> <p>Prise en rivière</p> <p>Bief naturel</p> <p>Lien</p> <p>Jonction</p> <p>Prise débit dérivé</p> <p>Station traitement</p> <p>Demande A.E.P.</p> <p>Périmètre d'irrigation</p> <p>Haut Bas</p> <p>X: <input type="text"/> Y: <input type="text"/></p> <p>VUE <input type="button"/> <input type="button"/> <input type="button"/> <input type="button"/></p> <p>ZOOM <input type="button"/> <input type="button"/> <input type="button"/></p> <p>VUE TOTALE 1:1</p>		
Nom : <input type="text"/> <input type="button" value="Représentation"/>		Descriptif : <input type="text"/>				
X : <input type="text"/>	Longitude : <input type="text"/>	Y : <input type="text"/>	Latitude : <input type="text"/>			
Altitude : <input type="text"/> m		Δ pression requise : <input type="text"/> m d'eau				
Ecoulement associé : <input type="text"/>		Pluie associée : <input type="text"/> Coeff. sur pluie : <input type="text"/>				
Evaporation associée : <input type="text"/>		Coeff. sur évapo. : <input type="text"/>				
Volume en fonction hauteur		<input type="button" value="Formule"/> <input type="button" value="Barème"/>				
Surface en fonction hauteur		<input type="button" value="Formule"/> <input type="button" value="Barème"/>				
Infiltration en fonction hauteur		<input type="button" value="Formule"/> <input type="button" value="Barème"/>				
Q évacué en fonction hauteur		<input type="button" value="Formule"/> <input type="button" value="Barème"/>				
Hauteur minimale absolue : <input type="text"/> m		Hauteur minimale : <input type="text"/> Hauteur maximale : <input type="text"/> Hauteur objectif : <input type="text"/>				
Coeff. de sollicitation attendue : <input type="text"/>		Limite débit de prélèvement : <input type="text"/> m ³ /s				
Débit aval objectif sur l'année		<input type="button" value="Formule"/> <input type="button" value="Barème"/>				
Coeff. de satisfaction attendue : <input type="text"/>						

Ecoulement associé : sélection dans la liste des chroniques disponibles du débit naturel au site de la retenue. Il y aura vérification de l'identité de localisation de la retenue et du point d'écoulement associé.

Pluie associée : sélection de la pluie à associer à la retenue dans la liste des chroniques disponibles. Elle permet de définir la quantité d'eau tombant directement sur la surface de la retenue.

Coefficient sur pluie : coefficient correcteur facultatif (par défaut vaut 1) à appliquer à la pluie associée pour évaluer la précipitation directe.

Évaporation associée : sélection de l'évaporation à associer à la retenue dans la liste des chroniques disponibles. Elle permet de définir la quantité d'eau perdue par évaporation en multipliant la lame évaporée associée par la surface de la retenue.

Coefficient sur évaporation : coefficient correcteur facultatif (par défaut vaut 1) à appliquer à la lame évaporée associée pour évaluer l'évaporation sur la retenue.

Volume en fonction hauteur : définition de la courbe hauteur-volume de la retenue soit par formule (définition de coefficients de formules types préétablies), soit par entrée de barème.

Surface en fonction hauteur : définition de la courbe hauteur-surface de la retenue soit par formule (définition de coefficients de formules types préétablies), soit par entrée de barème.

Infiltration en fonction hauteur : définition de la courbe hauteur-infiltration de la retenue soit par formule (définition de coefficients de formules types préétablies), soit par entrée de barème. Elle donne, connaissant la hauteur, une évaluation de la quantité d'eau perdue par infiltration.

Débit évacué en fonction hauteur : définition de la courbe hauteur-débit évacué de la retenue soit par formule (définition de coefficients de formules types préétablies), soit par entrée de barème. C'est par exemple la courbe d'étalonnage d'un évacuateur.

Hauteur minimale absolue : définition de la hauteur de la retenue en dessous de laquelle le volume d'eau stocké ne peut plus être utilisé.

Hauteur minimale : définition d'une hauteur minimale variable au cours de l'année, par l'entrée de couples date-hauteur; la hauteur minimale sera interpolée linéairement pour la date considérée suivant les valeurs de ces couples (remarque : la donnée d'un seul couple définit une valeur minimale constante sur l'année). C'est en fait une règle de gestion s'interdisant de solliciter le volume d'eau stocké en dessous d'une hauteur considérée de la retenue.

Hauteur maximale : définition d'une hauteur maximale variable au cours de l'année, par l'entrée de couples date-hauteur; la hauteur maximale sera interpolée linéairement pour la date considérée suivant les valeurs de ces couples. C'est en fait une règle de gestion se fixant de n'évacuer de débit par déversement qu'au-dessus d'une hauteur considérée de la retenue (valable pour le cas où les évacuateurs ont des organes mobiles).

Hauteur objectif : définition d'une hauteur objectif variable au cours de l'année, par l'entrée de couples date-hauteur; la hauteur objectif sera interpolée linéairement pour la date considérée suivant les valeurs de ces couples. C'est en fait une règle se fixant de gérer les transferts d'eau pour atteindre cette hauteur considérée de la retenue.

Coefficient de sollicitation attendue : définition d'un pourcentage, variable sur l'année, qui donne l'état relatif attendu des pourcentages de stockage utile des différentes retenues du système

Limite débit de prélèvement : définition du débit maximal pouvant être transité dans le réseau.

Débit aval objectif : définition d'un débit aval objectif variable au cours de l'année, soit par formule (définition d'un pourcentage par rapport à l'écoulement amont), soit par entrée de barème (entrée de couples date-débit; le débit aval objectif sera interpolé linéairement pour la date considérée suivant les valeurs de ces couples). C'est en fait une règle de gestion imposant cette valeur de débit comme besoin extérieur.

Coefficient de satisfaction attendue : définition en fonction de l'état de disponibilité globale du pourcentage du besoin satisfait par rapport au besoin objectif. Le besoin correspond ici au débit aval objectif.

Il faut noter la flexibilité et l'homogénéité dans la définition des différents termes ci-dessus.

Les calculs des volumes disponible et nécessaire (le débit aval est considéré comme un besoin) s'expriment par:

```

vol_disp_cour      = vol_net_cour
                   + vol (haut_init) * vol (haut_mini (date=cour))
                   + (plu_cour + eva_cour + inf_cour) * surf (haut_init)
                   * coef_unité

plu_cour           si      pas_plu_ass
                   alors   plu_cour      = 0
                   sinon   plu_cour      = plu_ass (j=1) * plu_coef

eva_cour           si      pas_eva_ass
                   alors   eva_cour      = 0
                   sinon   eva_cour      = eva_ass (date=cour) * eva_coef

inf_cour           = inf (haut_init) * durée_pas (j=1)

vol_net_cour       si      pas_bief_amon
                   alors   vol_net_cour = vol_eco_cour
                   sinon   vol_net_cour = vol_eco_cour
                               - noeud_amon.vol_eco_cour

vol_eco_cour       = deb_ass (j=1) * durée_pas (j=1)

vol_néc_cour       si      pas_bief_aval
                   alors   vol_néc_cour = deb_av_obj (date=cour)
                               * durée_pas (j=1)
                   sinon   vol_néc_cour = 0
    
```

2.4 Les outils supplémentaires

Il est important d'avoir des outils qui permettent d'avoir une perception globale de l'hydro-aménagement en cours, de vérifier que sa construction correspond à notre attente et de l'affiner au besoin.

La fonction **Ordre de priorité des besoins** donne la liste classée des besoins rangés par ordre de priorité décroissante. Ce classement est très important pour la simulation, puisqu'il conditionne la fourniture en fonction de la disponibilité en eau. Pour modifier ces conditions de gestion, il sera possible de sélectionner plusieurs besoins et de modifier leur coefficient de satisfaction attendue. Cette flexibilité permettra d'envisager rapidement plusieurs cas de figures.

La fonction **Sollicitation des ressources** donne la liste classée des ressources à réserve (les retenues) par ordre de priorité décroissante. *Ce classement, pouvant être variable sur l'année, est un autre facteur de gestion, il conditionne les transferts d'eau entre les retenues. En effet des politiques de sollicitation différentes peuvent être élaborées dans un hydro-aménagement comprenant plusieurs retenues : les maintenir dans un rapport de stockage utile identique ou hiérarchiser ces retenues. Pour modifier ces conditions de gestion, il sera également possible de sélectionner plusieurs retenues et de modifier leur coefficient de sollicitation attendue.*

La fonction **Cohérence préalable** permet de tester si l'hydro-aménagement en cours de conception peut effectivement être simulé. La fonction renverra une liste des incohérences éventuelles relevées : besoin sans ressource, etc.

3 Simulation

La difficulté est de trouver un mode de simulation du fonctionnement du système à partir de la description du fonctionnement de chacun des composants. Ce mode doit reproduire les règles opérationnelles de gestion. De plus il doit offrir des fonctionnalités permettant de cerner les performances du système par rapport aux buts fixés, et de discriminer les origines des défaillances du système afin d'optimiser l'hydro-aménagement ou de définir les meilleures règles opérationnelles à l'issue d'un minimum d'essais.

Le but de notre système actuel est la satisfaction de besoins multiples. Les règles opérationnelles concernent :

- la politique de distribution, notamment en cas de déficit, dont on a vu précédemment qu'elle est prise en compte en introduisant pour chaque besoin un coefficient de satisfaction attendu.
- la gestion des retenues et leur fonctionnement simultané (voir § dans *exemples de composants*)

Afin de discriminer plus rapidement les disfonctionnements du système qui comporte des composants à réserve, il a été introduit la notion d'horizon prévisionnel. C'est la période prise en compte à partir du pas de temps courant à simuler pour décider de la gestion à adopter pour la satisfaction des besoins.

$$\begin{array}{rcl} \text{Horizon} & = & \text{Courant} + \text{Futur} \\ j = 1 \text{ à } J & & j = 1 \qquad \qquad j = 2 \text{ à } J \end{array}$$

En effet, nous pouvons calculer un état de disponibilité globale, rapport du volume d'eau disponible au volume nécessaire, sur l'horizon, en intégrant les résultats de ce calcul pour chacun des noeuds du système. Cette disponibilité globale peut conduire la politique de distribution et les restrictions éventuelles à prendre en compte.

Théoriquement, si l'horizon est suffisamment grand pour englober la fonction de régulation des retenues, on peut s'affranchir de la définition d'une zone tampon.

La simulation de fonctionnement sur un pas de temps consiste donc à :

- calculer les états de disponibilité sur l'horizon prévisionnel et sur le pas de temps courant et en déduire l'état de disponibilité global à considérer. On a :

$$\begin{array}{ll} \text{vol_disp_hori_glob} = \sum_{\text{noeuds}} \text{vol_disp_hori} & \text{vol_disp_cour_glob} = \sum_{\text{noeuds}} \text{vol_disp_cour} \\ \text{vol_néc_hori_glob} = \sum_{\text{noeuds}} \text{vol_néc_hori} & \text{vol_néc_cour_glob} = \sum_{\text{noeuds}} \text{vol_néc_cour} \\ \text{disp_cour_glob} = \frac{\text{vol_disp_cour_glob}}{\text{vol_néc_cour_glob}} & \text{disp_hori_glob} = \frac{\text{vol_disp_hori_glob}}{\text{vol_néc_hori_glob}} \\ \text{disp_glob} = \min (\text{disp_cour_glob}, \text{disp_hori_glob}) \end{array}$$

- appliquer la politique de distribution définie par les coefficients de satisfaction attendue et en déduire la "pression" de la demande sur les ressources et la mobilisation effective de celles-ci dans le respect des règles de gestion définies au niveau des retenues
- ajuster les transferts d'eau suivant les priorités définies au niveau des demandes pour assurer la validité du fonctionnement hydraulique du système. Ceci permettra d'avoir une image de la répartition des pressions moyennes dans le réseau.

- les conditions initiales : il s'agit de définir l'état, à considérer en début de simulation, des réserves pour les composants en possédant, retenues et périmètres d'irrigation. Cet état pourra être défini par le taux de remplissage : pourcentage de stockage utile pour les retenues et rapport de l'état de la réserve à la réserve utile pour les périmètres d'irrigation.
- la conservation des données simulées : le volume des données résultant de la simulation, notamment en journalier, peut être très important. Aussi l'utilisateur pourra choisir par sélection dans une liste le type de données à conserver, sachant que ce choix pourra être limitatif pour l'analyse ultérieure.

4 Analyse

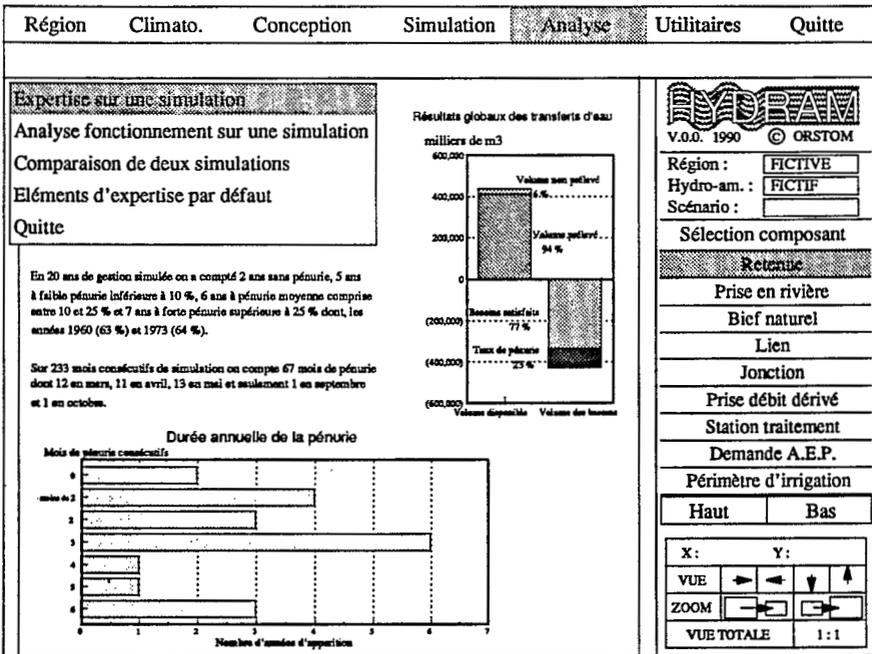


Figure 13. Projet de présentation d'une analyse interprétée

Les fonctions qui suivent ne font pas l'objet d'un long développement, car elles sont encore en cours de définition. Il convient de souligner l'esprit de réalisation, commun à tout l'environnement: fournir des outils à plusieurs niveaux de spécification, permettant des approches plus ou moins poussées suivant les buts recherchés ou la connaissance requise.

- **Expertise sur une simulation**

Cette fonction doit offrir une analyse interprétée présentée sous forme de textes, tableaux, graphiques des résultats de simulation. Elle s'attachera donc à présenter des résultats globaux reflétant le fonctionnement d'un hydro-aménagement, voire d'un scénario. Le constat reposera sur des calculs statistiques plus ou moins complexes, notamment sur l'analyse des défaillances.

Le constat sera en grande partie basé sur la "logique floue", à savoir le lien entre le quantitatif et le qualitatif, pour l'élaboration de textes clairs utilisant des notions telles que faible, moyenne, forte. Ces notions seront employées pour la classification de la pénurie, la hiérarchisation des besoins.

- **Analyse du fonctionnement sur une simulation**

Cette fonction permettra l'étude de points particuliers de fonctionnement, grâce à des outils de sélection et de calcul sur les données.

Ces éléments viseront à cerner au plus vite les causes de défaillance. Les résultats seront fournis sous forme de tableaux et graphiques.

- **Comparaison de deux simulations**

Cette fonction permettra de comparer directement les résultats globaux de deux simulations. Cette option sera utile en particulier pour dégager rapidement le gain apporté par de petites variantes sur un hydro-aménagement.

- **Éléments d'expertise par défaut**

C'est à ce niveau que seront formalisés les éléments de "logique floue", utiles pour assurer la convivialité mais aussi facilitant les combinaisons pour les classifications, les conclusions des expertises. La définition de ces liens quantitatif-qualitatif pourra se faire à partir de sélection dans une liste.

5 Conclusion

Le fil directeur dans la conception d'HYDRAM tient en l'abc suivant:

- un hydro-aménagement constitue un système hiérarchisé de composants avec des propriétés et des comportements similaires, mais de spécifications plus ou moins complexes.
- la simulation s'inscrit dans un cadre didactique et permet une grande souplesse dans la mise en oeuvre du modèle.
- une formalisation de l'analyse permet d'obtenir des bilans clairs et synthétiques à partir de résultats globaux.

L'application, construite sur ces bases, permet d'obtenir facilement et rapidement les conséquences prévisibles de différentes alternatives d'aménagement, en favorisant la description externe du système d'eau, la réutilisation de l'existant, le pouvoir d'agrégation et désagrégation de l'information, l'interactivité, le graphisme.

Notre objectif immédiat n'impliquait qu'une approche quantitative de la ressource. Il est évident qu'un outil de gestion des hydro-aménagements se doit de recouvrir bien d'autres aspects: production électrique, qualité de l'eau... Mais de même il doit pouvoir proposer facilement un éventail de démarches de spécialistes: hydrologues, agronomes...

C'est dans la nécessité d'extensions que le choix du mode de développement devient primordial. Alors pourquoi notre choix de conception et programmation par objets?

"L'idée de base est de s'écarter de toutes les méthodes informatiques traditionnelles en oubliant, au moins temporairement, les "fonctions" du système sur lequel on travaille pour privilégier les "objets" qu'il manipule. Cette idée a un corollaire, c'est ce qui caractérise un objet (pris au sens large, cela peut être une retenue, un système de gestion, une structure de données...), ce n'est pas ce qu'il est, mais ce qu'on en fait. C'est une autre façon de réintroduire les fonctions. De là toute l'approche -qui a une base théorique rigoureuse- des "types abstraits", qui consiste à spécifier des objets, de façon externe (et non interne) en leur donnant une axiomatique au sens mathématique (comme on décrit un corps, un anneau...)."

Tels sont les fondements, retranscrits avec un peu de *retenue*, vus par Bertrand MEYER [Monde Informatique 1989], principal concepteur du langage EIFFEL [Interactive 1989], environnement choisi pour le développement d'HYDRAM. Le but affiché de ce langage est de permettre la production de "composants logiciels" fiables et réutilisables.

De manière pratique, reprenons la décomposition de notre système d'eau (voir figure 3.). Les types abstraits de données qui y sont définis (NOEUD, LIEN,...) peuvent être décrits dans des classes. Une classe définit le moule permettant de produire des objets identiques, les actions caractérisant le comportement de ces objets. Les structures du système sont uniquement fondées sur la relation de client et la relation d'héritage.

Considérons un exemple concret de la puissance de ce mode d'architecture: l'introduction dans notre système du composant micro-centrale hydro-électrique. Ceci revient à créer une nouvelle classe: MICRO_CENT qui va hériter de JONCTION, c'est à dire adopter les propriétés et le comportement de cette classe. On complétera ou modifiera cet acquis par de nouvelles propriétés et actions, permettant par exemple de calculer la puissance électrique produite. L'approche est bien sûr similaire et plus aisée si nous voulons introduire un nouveau mode de calcul de besoins en eau des cultures par exemple.

La flexibilité obtenue est très claire au niveau conception des hydro-aménagements. Mais la même souplesse est recherchée au niveau de la conception de l'application elle-même. "En ingénierie, une bonne conception c'est d'abord une conception élégante, et ce n'est pas un hasard: dans le domaine technique en général, on ne sait bien maîtriser que ce qui est simple" [MEYER 1989]. La finalité est d'offrir un environnement logiciel d'outils permettant une approche attractive et graduelle de l'analyse des systèmes d'eau. Une première version devrait être opérationnelle début 1991.

6 Références

COMBRES 1989.

COMBRES, J.C., 'Besoins en eau et pilotage de l'irrigation de la canne à sucre en Grande-Terre', Rap. d'exécution Convention Régionale IRFA/CIRAD, feb. 89, 75 p.

FEDRA 1985.

FEDRA, K., LOUCKS, D.P., 'Interactive Computer Technology for Planning and Policy Modeling', Wat.Resour.Res., feb. 85, Vol. 21, NO. 2, p 114-122

FEDRA 1985a.

FEDRA, K., 'A Modular Interactive Simulation System for Eutrophication and Regional Development', Wat.Resour.Res., feb. 85, Vol. 21, NO. 2, p 143-152

Interactive 1989.

'EIFFEL : an Introduction', Interactive Software Engineering Inc., Version 2.2, 1989, 14 pages

LOUCKS 1985.

LOUCKS, D.P., KINDLER, J., FEDRA, K., 'Interactive Water Resources Modeling and Model Use : An Overview', Wat.Resour.Res., feb. 85, Vol. 21, NO. 2, p 95-102

MEYER 1989.

MEYER, B., 'Conception et Programmation par Objets', Actes du Séminaire du 18-19 sep. 1989, Paris, 218 p.

MOLLE 1985.

MOLLE, F., 'Potentialités des Açudes du Nordeste Brésilien pour un Usage en Irrigation', Rapport stage, Recife, dec. 1985, 142 p.

Monde Informatique 1989.

Dossier 'Approche Objet : Mode ou Révolution ?', le Monde Informatique, N° 376, 10 jul. 89, p 16-31

MORELL 1990.

MORELL, M., 'Variabilité et gestion des ressources en eau en Guadeloupe', Actes des 6èmes journées Hydrologiques "Usage agricole de l'Eau", ORSTOM Montpellier 12-13 sep. 90

SIGVALDASON 1976.

SIGVALDASON, O.T., 'A Simulation Model for Operating a Multipurpose Multireservoir System', Wat.Resour.Res., apr. 1976, Vol. 12, NO. 2, p 263-278

VOTRUBA 1989.

VOTRUBA, L., KOS, Z., NACHAZEL, K., PTERA, A., ZEMAN, V., 'Analysis of Water Resource Systems', Elsevier, Developments in Water Science, NO. 32, 1989, 454 p.