

METE-EAU

Logiciel d'hydrologie urbaine pour le diagnostic et le dimensionnement des réseaux d'assainissement



MANUEL UTILISATEUR

Septembre 2007

SOMMAIRE

1	PRESENTATION DU LOGICIEL METE-EAU	6
1.1	OBJET	6
1.2	DOMAINES D'APPLICATION	6
1.3	PRINCIPES DE MODELISATION ET PRINCIPALES FONCTIONNALITES DE METE-EAU	6
1.3.1	<i>Entités de modélisation</i>	6
1.3.2	<i>Fonctionnalités de l'interface utilisateur</i>	7
1.3.3	<i>Fonction paramétrage</i>	8
1.3.4	<i>Exploitation des résultats</i>	8
1.3.5	<i>Fonction importation</i>	8
1.4	MODULES DE CALCUL	9
1.5	FICHIERS MIS EN ŒUVRE ET ARTICULATION	10
1.5.1	<i>Fichiers de données</i>	10
1.5.2	<i>Fichiers de résultats</i>	10
1.6	PERFORMANCES DE L'OUTIL	12
2	VUE D'ENSEMBLE DE L'INTERFACE	13
2.1	ECRAN DE TRAVAIL	13
2.2	BARRE D'OUTILS	15
2.3	PRINCIPAUX MENUS DISPONIBLES	18
3	CONSTRUIRE UN MODELE METE-EAU ETAPE PAR ETAPE	20
3.1	ETAPE 1 : CONFIGURER L'ESPACE DE TRAVAIL	20
3.2	ETAPE 2 : TRACER LE RESEAU DANS L'ESPACE DE TRAVAIL	23
3.2.1	<i>Importer des données externes</i>	23
3.2.1.1	Fichier texte ou Fichier mif/mid	23
3.2.1.2	Import des noeuds	24
3.2.1.3	Import des collecteurs CI ou PF	24
3.2.1.4	Import des collecteurs PO	26
3.2.1.5	Import des centroïdes des bassins versants	27
3.2.2	<i>Dessiner le réseau</i>	28
3.3	ETAPE 3 : RENSEIGNER LES ELEMENTS	31
3.4	ETAPE 4 : TEXTE, LEGENDE, ETIQUETTES, TAILLE DES SYMBOLES	38
3.5	ETAPE 5 : DEFINIR DES BIEFS DE COLLECTEURS	39
3.6	ETAPE 6 : DEFINIR LES PLUIES	41
3.6.1	<i>En mode interne : pluies de projet</i>	41
3.6.2	<i>En mode interne : pluies réelles</i>	47
3.6.3	<i>En mode externe : pluies de projet</i>	49
3.6.4	<i>En mode externe : pluies réelles</i>	49

3.6.5	Liste des pluies.....	50
3.7	ETAPE 7 : GENERER LE MODELE ET EXECUTER LES CALCULS.....	51
3.7.1	Paramétrage d'un scénario de simulation.....	51
3.7.2	Choix du scénario de simulation.....	52
3.7.3	Génération du modèle.....	52
3.7.4	Génération du modèle et exécution.....	53
3.8	ETAPE 8 : EXPLOITER LES RESULTATS.....	54
3.8.1	Hydrogrammes d'apport et Hydrogrammes de routage.....	54
3.8.2	Tableau de résultat des bassins versants et Tableau de résultat des ouvrages.....	55
3.8.3	Synthèse cartographique.....	55
3.8.4	Exportation des hydrogrammes résultats.....	57
4	NOTICE TECHNIQUE : METHODES DE CALCUL MISES EN ŒUVRE	58
4.1	CALCUL DU HYETOGRAMME MOYEN PRECIPITE.....	58
4.2	CALCUL DE LA PLUIE NETTE	58
4.2.1	Modèle Horner.....	58
4.2.2	Modèle Holtan	59
4.2.3	Méthode du coefficient de ruissellement constant.....	60
4.2.4	Méthode SCS modifiée.....	60
4.2.4.1	Principe de la méthode.....	60
4.2.4.2	Remarque sur la méthode SCS	61
4.3	CALCUL DU RUISELLEMENT	62
4.3.1	Méthode du réservoir linéaire	62
4.3.1.1	Principe de la méthode.....	62
4.3.1.2	Equations	62
4.3.1.3	Expressions numériques de K	63
4.3.1.4	Estimation des paramètres morphologiques de chaque bassin versant.....	65
4.3.2	Méthode de l'hydrogramme unitaire.....	66
4.3.3	Méthode d'ajustement du coefficient K au modèle Caquot.....	67
4.4	CALCUL DU ROUTAGE.....	71
4.4.1	Routage entre l'exutoire du bassin versant et le point d'injection dans le réseau	71
4.4.2	Tronçons de collecteurs.....	72
4.4.3	Dérivations	75
4.4.4	Bassins de retenue.....	76
5	EXEMPLE 1 : DIAGNOSTIC ET DIMENSIONNEMENT D'UN RESEAU D'EAUX PLUVIALES.....	78
5.1	CREATION DU RESEAU.....	79
5.1.1	Positionner les nœuds.....	79
5.1.2	Enregistrer le projet	80
5.1.3	Tracer les collecteurs.....	80
5.1.4	Positionner les bassins versants.....	82

5.1.5	<i>Positionner les singularités</i>	84
5.2	GENERATION DU MODELE ET EXECUTION DES CALCULS	85
5.2.1	<i>Paramétrage de la pluie.....</i>	85
5.2.2	<i>Paramétrage du scénario</i>	87
5.2.3	<i>Génération du modèle et exécution des calculs.....</i>	87
5.3	EXPLOITATION DES RESULTATS (DIAGNOSTIC)	89
5.4	DIMENSIONNEMENT D'UN BASSIN DE STOCKAGE.....	91
5.5	EXPLOITATION DES RESULTATS (DIMENSIONNEMENT)	93
6	EXEMPLE 2 : PARAMETRAGE DE 3 PLUIES DE PROJET.....	95

1 PRESENTATION DU LOGICIEL METE-EAU

1.1 OBJET

METE-EAU est un logiciel d'hydrologie urbaine développé par HYDRATEC et conçu pour le diagnostic et le dimensionnement des réseaux d'assainissement. Il met en œuvre deux modules :

- un module pluie-débit permettant le calcul des hydrogrammes d'apport dans le réseau à partir d'une pluie réelle ou synthétique donnée,
- un module de routage pour le calcul des hydrogrammes à travers le réseau, basé sur les lois simplifiées de propagation le long de collecteurs ou de ruisseaux. Ce module intègre deux types de singularités :
 - les dérivations,
 - les bassins de retenue.

1.2 DOMAINES D'APPLICATION

- ❖ **Le diagnostic de fonctionnement de réseaux existants, avec mise en évidence des insuffisances de capacités.**
- ❖ **Le dimensionnement automatique des réseaux neufs.**

En pratique, les fonctionnalités disponibles dans METE-EAU permettent de satisfaire la très grande majorité des besoins de calculs rencontrés dans le domaine de l'assainissement pluvial.

Important :

Le recours à des modèles hydrauliques spécifiques est nécessaire dans le cas de réseaux existants caractérisés par des faibles pentes et de nombreuses singularités, dans lesquels les effets de remous aval dominent les caractéristiques des écoulements. Il convient alors d'utiliser un logiciel spécifique de calcul hydraulique tel que HYDRANET.

1.3 PRINCIPES DE MODELISATION ET PRINCIPALES FONCTIONNALITES DE METE-EAU

1.3.1 *Entités de modélisation*

❖ **Entités hydrauliques**

Les entités constitutives d'un réseau sont :

- le nœud sur lequel viennent s'accrocher les liaisons,

- les liaisons binodales formées par les tronçons de collecteurs et les éléments « raccord entre ouvrages »,
- les entités uninodales que l'on « pose » sur les nœuds, en distinguant :
 - le point d'injection d'hydrogramme,
 - l'exutoire d'une arborescence de bassin versant,
 - l'ouvrage de dérivation,
 - le bassin de retenue,
 - le point aval.

La topologie est obligatoirement arborescente, avec un sens amont-aval sans équivoque pour les liaisons binodales. Dans le cas d'une dérivation avec plusieurs branches aval, le nœud correspondant doit nécessairement être occupé par une entité uninodale de type « dérivation » afin de parfaitement définir les lois de dérivation.

❖ Entités hydrologiques

Elles comprennent :

- le pluviographe,
- le bassin versant élémentaire,
- le tronçon de routage hydrologique.

Un sous-bassin versant hydrologique est obligatoirement une arborescence formée uniquement d'une juxtaposition de nœuds, de bassin versant et de liaisons types « routage hydrologique ». L'exutoire du bassin versant est obligatoirement une liaison uninodale de type « exutoire de bassin versant ».

❖ La pluie

METE-EAU permet de renseigner les pluies :

- de type Caquot,
- de forme simple triangle,
- de forme double triangle,
- synthétiques I(t),
- réelles définies par des pluviographes ou des images radar.

1.3.2 Fonctionnalités de l'interface utilisateur

METE-EAU assure un environnement de modélisation très riche. Les principaux outils comprennent :

- le calage des entités ponctuelles dans un système de coordonnées absolues,
- le zoom qui maintient la taille des objets fixe mais permet de les écarter,
- les deux options d'édition, en cliquant sur l'objet ou à l'aide d'un tableau d'édition global,
- les fonctions d'insertion, de déplacement, de séquençage des tronçons.

Les fonctions « copier-coller » de Windows sont applicables dans les éditeurs élémentaire et général de la même manière que dans Excel.

Il est possible de définir un cheminement le long du réseau (bief) et de restituer le profil en long de collecteurs ainsi définis.

Une bibliothèque de sections types peut par ailleurs être constituée. Chaque section est graphiquement visualisable.

1.3.3 Fonction paramétrage

METE-EAU peut fonctionner suivant deux modes :

❖ Le diagnostic

Le réseau est figé : La simulation restitue un bilan synthétique de fonctionnement pour chaque entité du modèle, et notamment les pourcentages de dépassement des débits capables, et de remplissage des bassins.

❖ Le dimensionnement

Le programme fournit les sections de collecteurs et les volumes des bassins nécessaires pour la pluie testée.

1.3.4 Exploitation des résultats

Cette exploitation peut être faite à 3 niveaux :

- courbes ponctuelles $Q(t)$ et $Z(t)$ (pour les bassins), visualisables via un grapheur intégré,
- tableau de synthèse regroupant les résultats synthétiques et les données utilisateurs par entité,
- synthèse cartographique visualisable sur le réseau avec possibilité de consulter les résultats synthétiques attachés à chaque entité.

1.3.5 Fonction importation

Si le réseau n'est pas déjà créé sur un autre logiciel (Autocad, Mapinfo...) il est possible d'importer un fond de plan et de le caler en coordonnées absolues. On peut ainsi utiliser ce fond de plan comme guide pour créer le réseau en se servant des lignes et symboles prédéfinis.

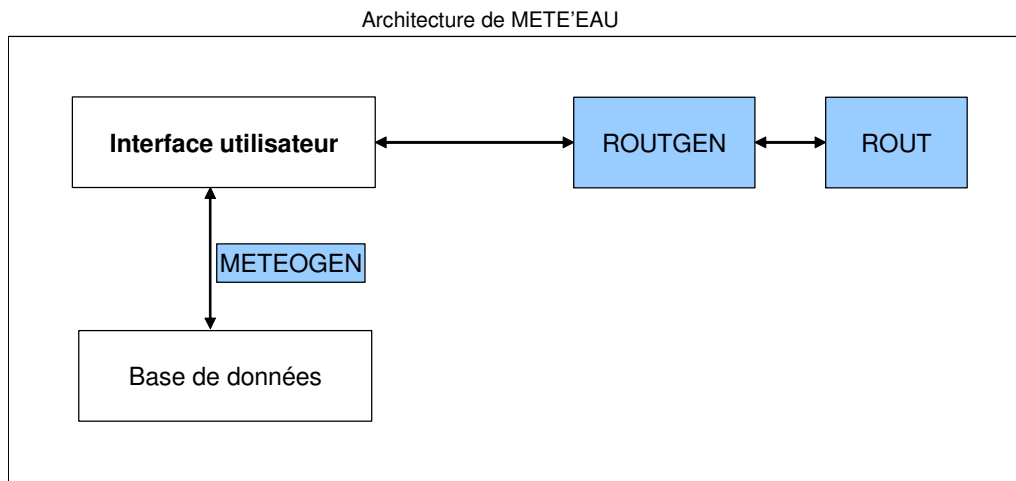
Si le réseau est déjà créé par ailleurs il est possible de l'importer en créant des fichiers textes ou .mif/.mid comprenant les coordonnées des nœuds et des éléments binodaux.

1.4 MODULES DE CALCUL

L'application est articulée autour de trois modules principaux :

- Le module **METEOGEN** assure :
 - La saisie mise à jour du complexe réseau – bassins versants et des données pluviométriques,
 - La gestion de la base de données interne à l'application,
 - L'exploitation des résultats.
- Le module **ROUTGEN** effectue :
 - Les calculs de transformations pluie-débit,
 - La génération du modèle de routage.
- Le module **ROUT** exécute la simulation hydraulique à travers le réseau.

Tout cet ensemble est piloté par l'interface METE-EAU, comme l'illustre le synoptique suivant :



1.5 FICHIERS MIS EN ŒUVRE ET ARTICULATION

METE-EAU gère un certain nombre de fichiers générés par les différents modules de l'application, et dont l'articulation est définie sur le synoptique page suivante.

On a distingué sur le synoptique les fichiers intermédiaires, n'offrant aucun intérêt pour l'utilisateur et les fichiers utilisateurs, contenant les données et les résultats d'une simulation.

1.5.1 Fichiers de données

Un seul fichier est requis, il est désigné sous le nom générique XXX.MTF où XXX est un identificateur du réseau. Ce fichier, de type .EMF intègre sa propre base de données ainsi que toutes les données de paramétrage nécessaires à l'exécution d'un scénario.

C'est un fichier très compact, de petite taille, même dans le cas d'un réseau complexe.

1.5.2 Fichiers de résultats

Après lancement et exécution d'un scénario, METE-EAU crée au niveau du fichier XXX.MTF un répertoire portant le nom du scénario (ZZZ). Les fichiers résultats créés par METE-EAU dans ce répertoire sont :

▪ Hydrologie

YYY.APP : hydrogrammes d'entrées définis explicitement par l'utilisateur,
YYY.HYS : hydrogrammes d'entrées calculés par ROUTGEN à partir de la pluie.

▪ Hydraulique

YYY.DEB : hydrogrammes calculés aux points caractéristiques des réseaux,
YYY.LIM : limnigrammes calculés (dans les bassins uniquement),
YYY.RES : bilan hydraulique par ouvrage.

Deux fichiers secondaires des résultats peuvent être utilement consultés :

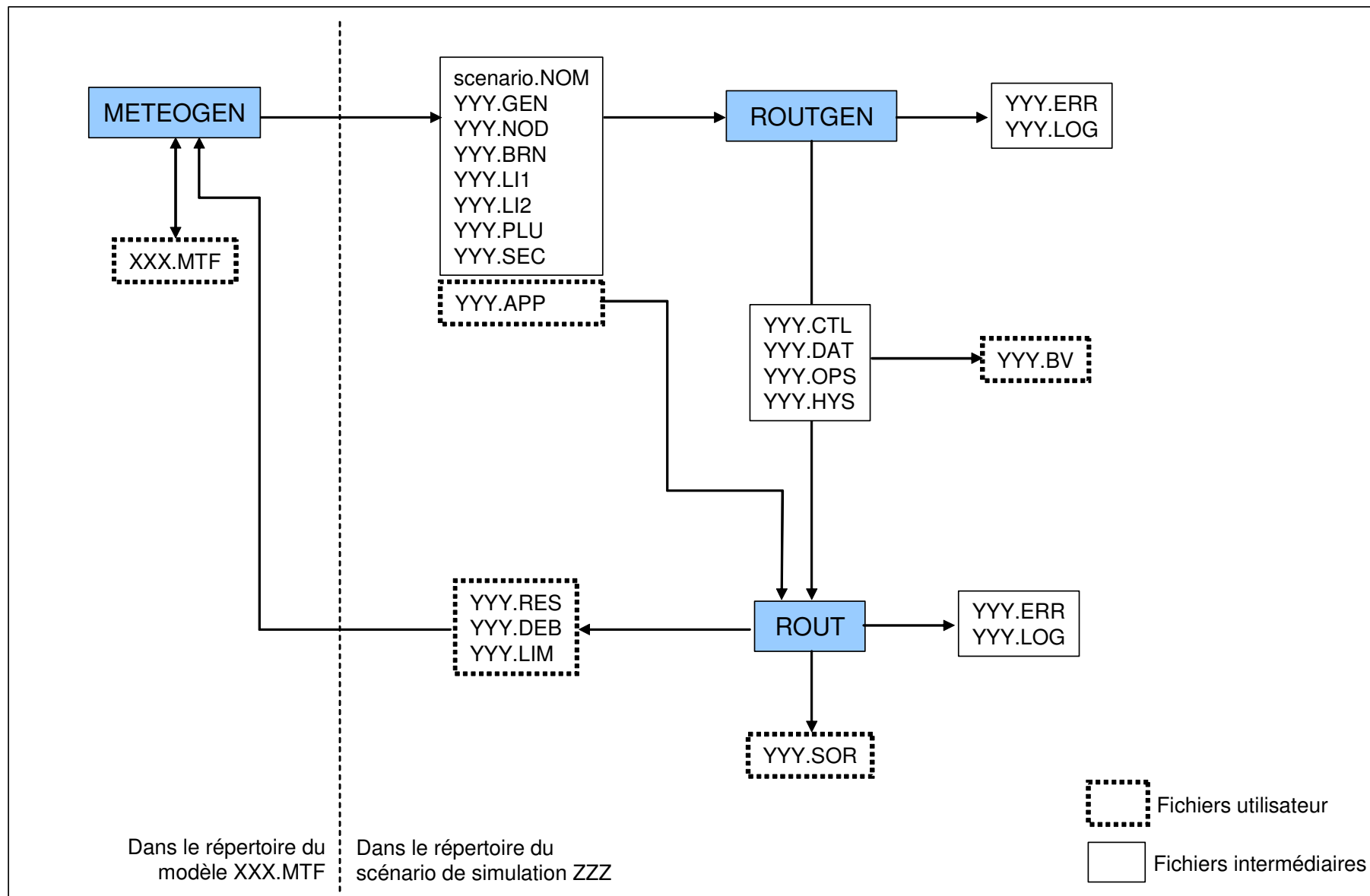
YYY.BV : bilan hydrologique par bassin versant élémentaire,
YYY.SOR : résultat associé à chaque module en suivant l'ordre de déroulement des calculs.

Avec YYY : identificateur des fichiers résultats, composé de l'identificateur de réseau XXX évoqué précédemment et du scénario de simulation ZZZ. Ceci s'avère très utile car on applique souvent plusieurs scénarii hydrologiques à un même réseau.

Identificateur des fichiers= identificateur scénario _ identificateur réseau

YYY = ZZZ_XXX

Fichiers mis en œuvre dans l'application METE'EAU



1.6 PERFORMANCES DE L'OUTIL

La structure de l'outil d'interface, organisé autour d'une base de donnée, permet de construire des réseaux complexes sans aucune limite de taille.

Par ailleurs, la formulation retenue favorise des vitesses d'exécution élevées : Une simulation de plusieurs centaines de branches sur une durée hydrologique de 10 heures demande quelques secondes d'attente. Enfin, aucun risque de plantage numérique n'est à craindre, de par la nature même des procédures de résolution retenues.

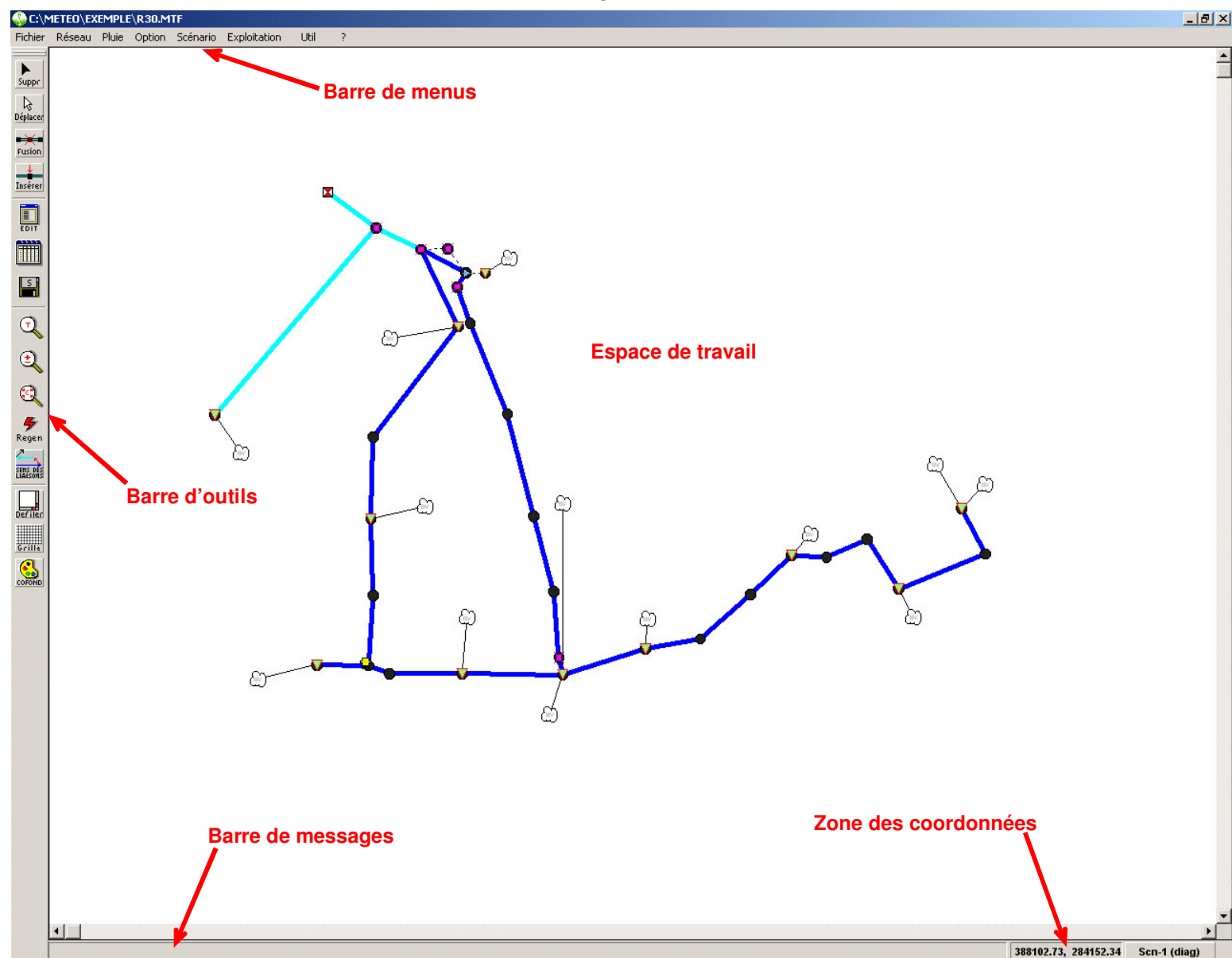
2 VUE D'ENSEMBLE DE L'INTERFACE

2.1 ECRAN DE TRAVAIL

L'écran de travail se présente comme indiqué **figure 1**. Il se compose de :

- une barre de menus contenant toutes les fonctionnalités disponibles de METE-EAU,
- une barre d'outils contenant des icônes pour l'activation de certaines tâches,
- une barre de messages,
- une zone indiquant les coordonnées de la position du curseur,
- l'espace de travail contenant le schéma du réseau. Cet espace ne se limite pas aux dimensions physiques de l'écran, il est beaucoup plus vaste et peut être visualisé à l'aide des barres de défilement en bas et à droite de l'écran.
















Figure 1 :



2.2 BARRE D'OUTILS

La barre d'outils est constituée de 15 icônes utilisées pour la mise à jour des éléments et la visualisation du réseau. Les fonctionnalités disponibles sont récapitulées sur la **figure 2** ci-dessous.

Figure 2 :

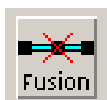
	1	Effacer un élément
	2	Déplacer un élément
	3	Fusionner deux collecteurs
	4	Ajouter un nœud sur un collecteur
	5	Éditer les données d'un élément
	6	Éditeur général
	7	Sauvegarder le réseau
	8	Obtenir une vue d'ensemble du réseau
	9	Zoomer : clic gauche = zoom +, clic gauche+ctrl = zoom -
	10	Obtenir une vue centrée sur le réseau
	11	Réactualiser une vue
	12	Afficher/masquer le sens d'écoulement des collecteurs
	13	Afficher/masquer les barres de défilement
	14	Afficher/masquer la grille de repérage
	15	Modifier la couleur du fond d'écran



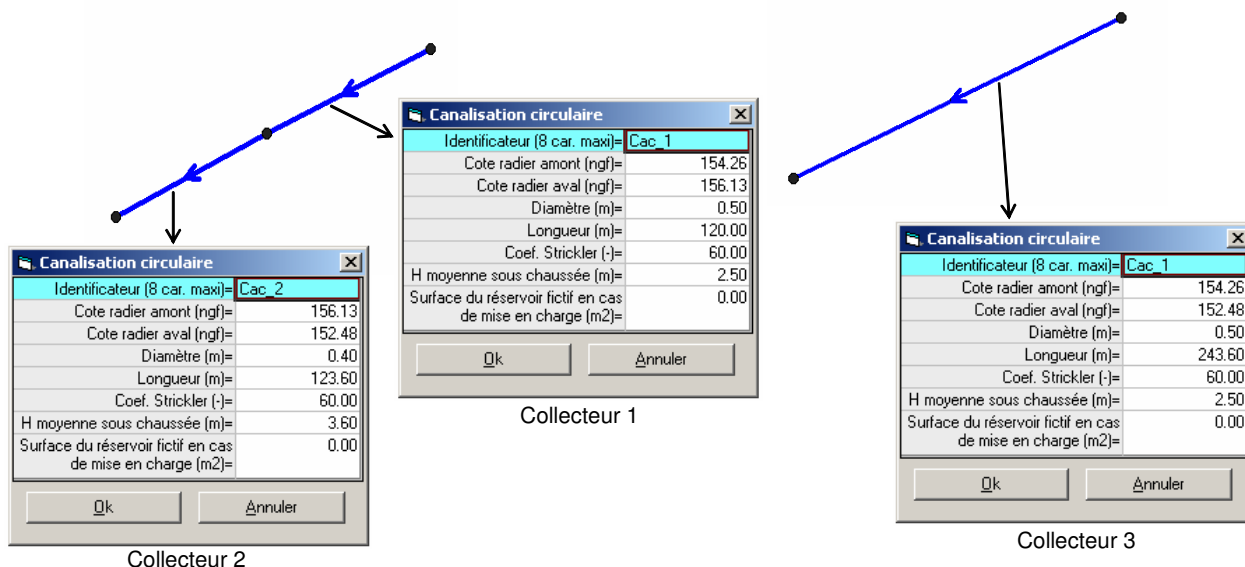
1. Pour effacer un élément, sélectionner l'outil puis sélectionner l'élément et appuyer sur la touche Suppr.



2. Pour déplacer un élément (de type singularité) posé sur un nœud, il faut sélectionner l'élément puis le faire glisser en maintenant le clic gauche appuyé. L'élément et le nœud, ainsi que les collecteurs ou liaisons attachés à ce nœud seront déplacés.



3. Cet outil permet de fusionner deux collecteurs contigus en cliquant sur le nœud à supprimer.



Les paramètres de Section ou Diamètre, Strickler et Type du collecteur 3 sont ceux du collecteur 1. Les autres paramètres sont définis comme suit :

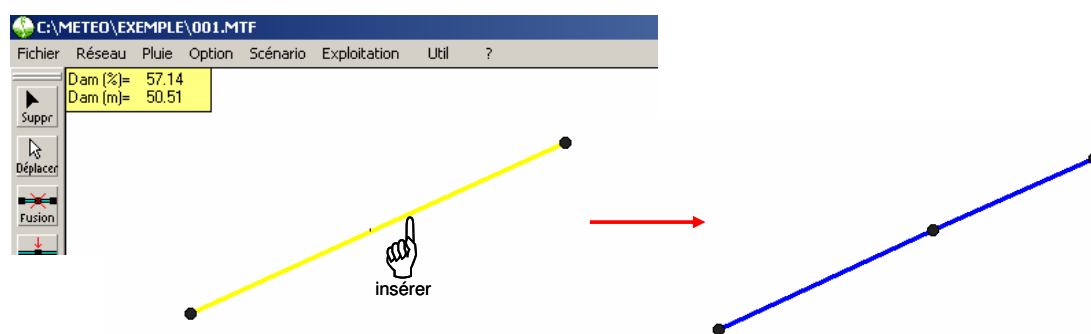
$$Z_{amont_3} = Z_{amont_1}$$

$$Z_{aval_3} = Z_{aval_2}$$

$$Longueur_3 = Longueur_1 + Longueur_2$$



4. Ajouter un nœud sur un collecteur : permet de scinder un collecteur en deux collecteurs contigus.



Déplacer le curseur avec l'outil « Insérer » sur le collecteur où il faut ajouter un nœud. Il apparaît alors dans une couleur différente, la position du curseur le long du tronçon est indiquée en haut à gauche de l'espace de travail (distance par rapport au nœud amont). Cliquer à l'endroit du collecteur où il faut placer le nœud. METE-EAU calcule automatiquement par interpolation la cote de terrain naturel du nouveau nœud et les cotes radier des deux tronçons de collecteurs créés.



5. Sélectionner l'outil puis l'élément à éditer. Lorsqu'une singularité est posée sur un nœud, pour éditer les caractéristiques du nœud il faut cliquer sur le nœud (+singularité) en maintenant la touche Ctrl appuyée. Sinon on édite la singularité posée sur le nœud.



6. L'éditeur général rassemble sous forme de tableaux les caractéristiques de l'ensemble des éléments du réseau classés par type d'élément.



7. Sauvegarde le réseau en cours.



8. Cet outil permet d'obtenir une vue d'ensemble de la totalité de l'espace de travail.



9. En cliquant sur « zoom centré » on obtient une vue de la totalité du réseau.



10. Les outils « zoom+ » et « zoom- » peuvent être utilisés en cliquant une fois dans l'espace de travail, le zoom est alors centré à l'endroit du clic ou en délimitant avec la souris la fenêtre de zoom.



11. La réactualisation d'une vue est utilisée lorsque les éléments apparaissent trop épais ou trop fins après un zoom par exemple.



12. En cliquant sur « sens des liaisons » METE-EAU fait apparaître le sens d'écoulement (sens amont → aval tel qu'il a été dessiné par l'utilisateur) des collecteurs et des liaisons.



13. Cliquer pour afficher ou masquer les barres de défilement de l'espace de travail.



14. Cliquer pour afficher ou masquer la grille de repérage de l'espace de travail.



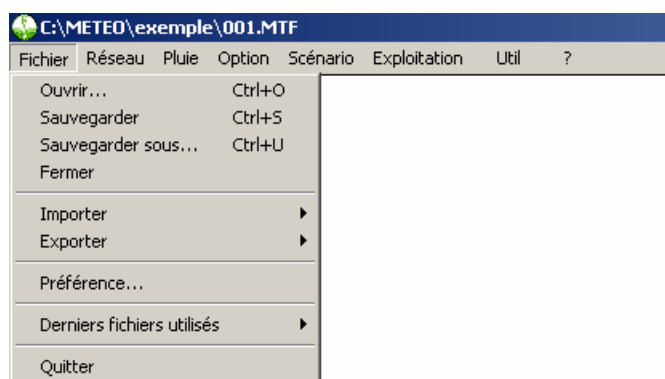
15. Cliquer pour modifier la couleur du fond de plan.

Pour désactiver l'outil et obtenir un curseur normal : appuyer sur la touche Echap.

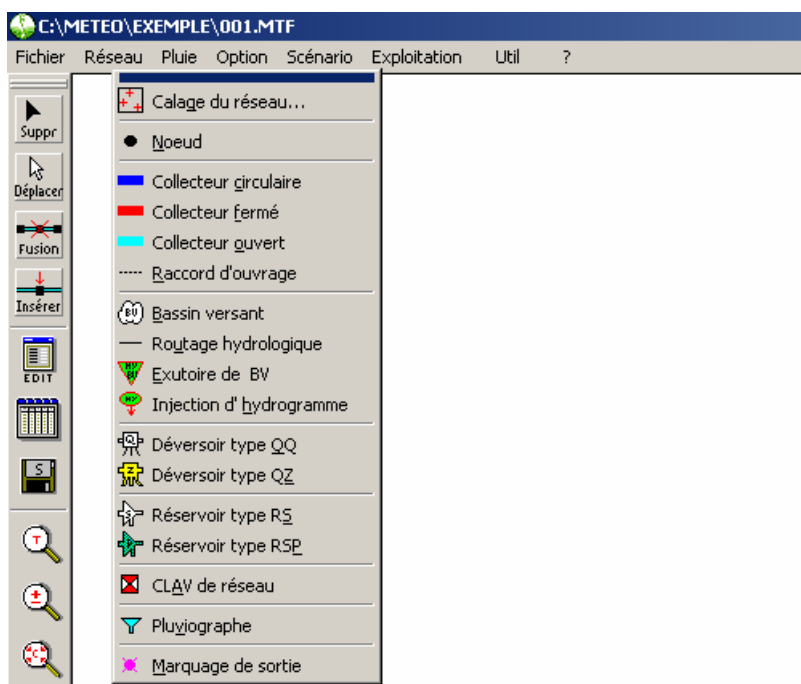
Le déplacement de la souris en maintenant le clic droit appuyé permet de se déplacer dans la zone de travail de la même manière qu'avec les barres de défilement.

2.3 PRINCIPAUX MENUS DISPONIBLES

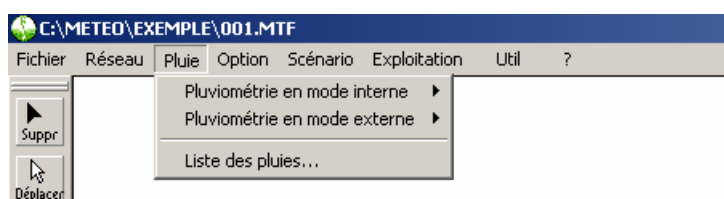
- Le menu **Fichier** pour l'ouverture et la sauvegarde des fichiers METE-EAU et l'importation et l'exportation de fichiers graphiques et fichiers textes. A noter qu'un jeu de données METE-EAU est entièrement contenu dans un fichier d'extension .MTF. Ce fichier contient la topologie et les caractéristiques du réseau, ainsi que les bibliothèques de pluies utilisables pour l'exécution d'un scénario. Le nom de ce fichier ne doit pas dépasser 7 caractères et ne doit pas contenir ni d'espace ni le caractère « _ ».



- Le menu **Réseau**, contenant les outils pour positionner toutes les entités hydrologiques et hydrauliques nécessaires à la schématisation du réseau.



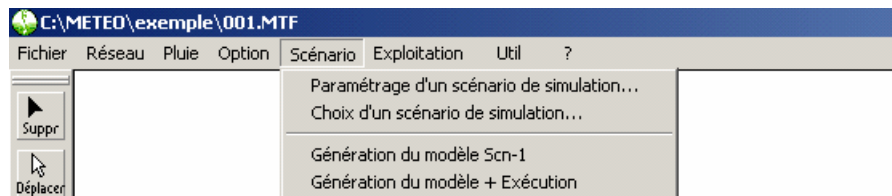
- Le menu **Pluie**, permettant de constituer les bibliothèques de pluies réelles ou synthétiques nécessaires à la définition d'un scénario.



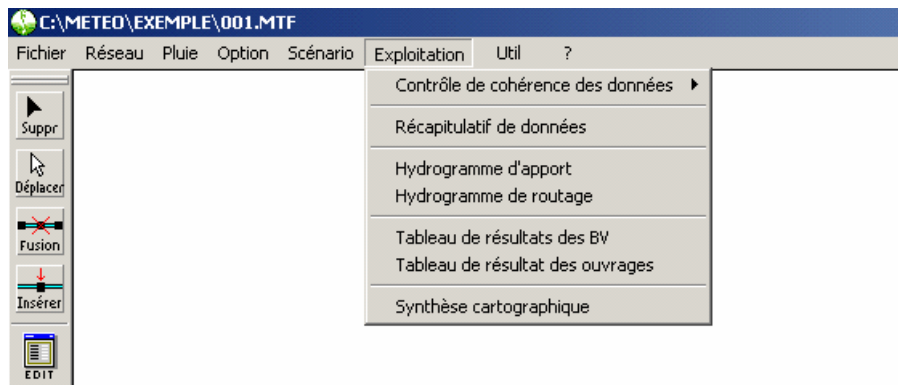
- Le menu **Option**, permettant de définir les biefs et les sections de collecteur.



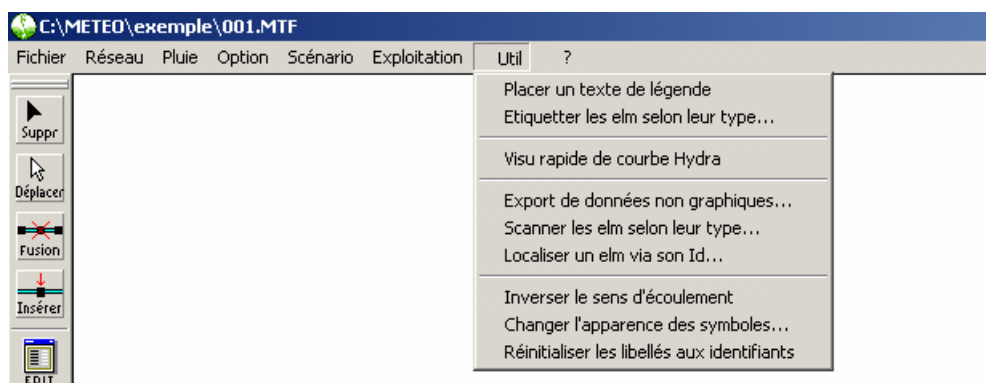
- Le menu **Scénario**, utilisé pour lancer une simulation.



- Le menu **Exploitation**, utilisé pour analyser les résultats.



- Le menu **Util**, utilisé pour écrire du texte sur le schéma, comptabiliser les éléments du réseau et localiser les éléments selon leur identifiant.



3 CONSTRUIRE UN MODELE METE-EAU ETAPE PAR ETAPE

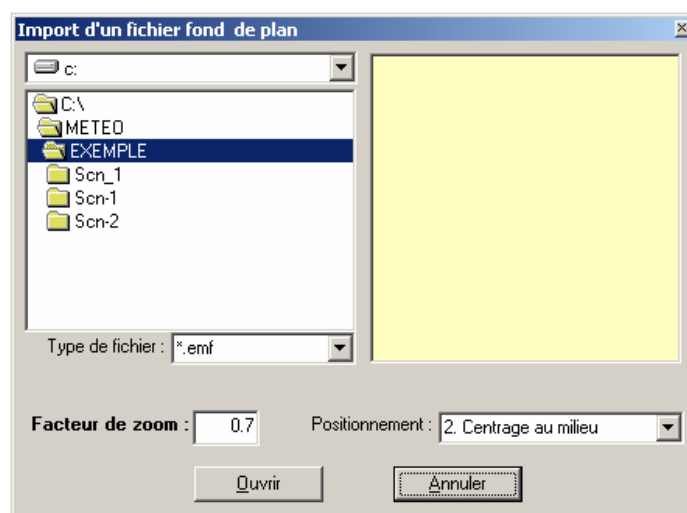
Important :

Ce qui figure dans l'espace de travail METE-EAU est une **représentation schématique** du modèle, seules les données entrées dans les éditeurs seront prises en compte dans les calculs. Les distances représentées sur le dessin peuvent être totalement différentes des distances entrées dans le modèle.

3.1 ETAPE 1 : CONFIGURER L'ESPACE DE TRAVAIL

Cette étape est vivement conseillée pour faciliter et optimiser toutes les possibilités d'importation et de création d'un modèle, et nécessaire pour modéliser une pluie réelle.

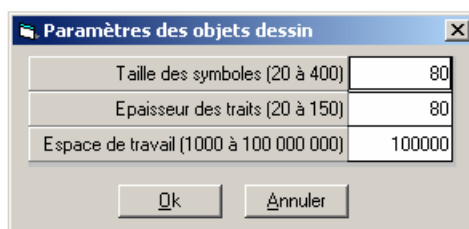
1. **Importer le fond de plan** sur lequel sera tracé le schéma du réseau : menu **Fichier / Importer / Fond de plan**.



- *Type de fichier* : fichiers image (exemples : bmp, jpg, emf)
- *Facteur de zoom* : permet de régler la taille de l'image sur l'espace de travail disponible. Si l'image s'affiche trop petite, recommencer l'insertion du fond de plan et augmenter le facteur de zoom, diminuer le facteur de zoom si l'image est trop grande.
- *Positionnement* : permet de positionner l'image au centre ou au coin supérieur gauche de l'espace de travail. Si le réseau doit être étendu en dehors des limites de l'image le positionnement au centre de l'espace de travail doit être choisi.

Lorsque le réseau est enregistré puis ré ouvert il faut réinsérer le fond de plan avec le même facteur de zoom et le même positionnement pour le voir apparaître.

Le menu **Fichier / Préférence** permet d'ajuster la taille des symboles. S'ils apparaissent trop petits pour certains facteurs de zoom, augmenter la taille des symboles et l'épaisseur des traits.



2. Caler le fond de plan : menu **Réseau / Calage du réseau**.

Il faut déterminer trois points de calage de coordonnées (X,Y) en mètres qui forment un angle proche de 90°.

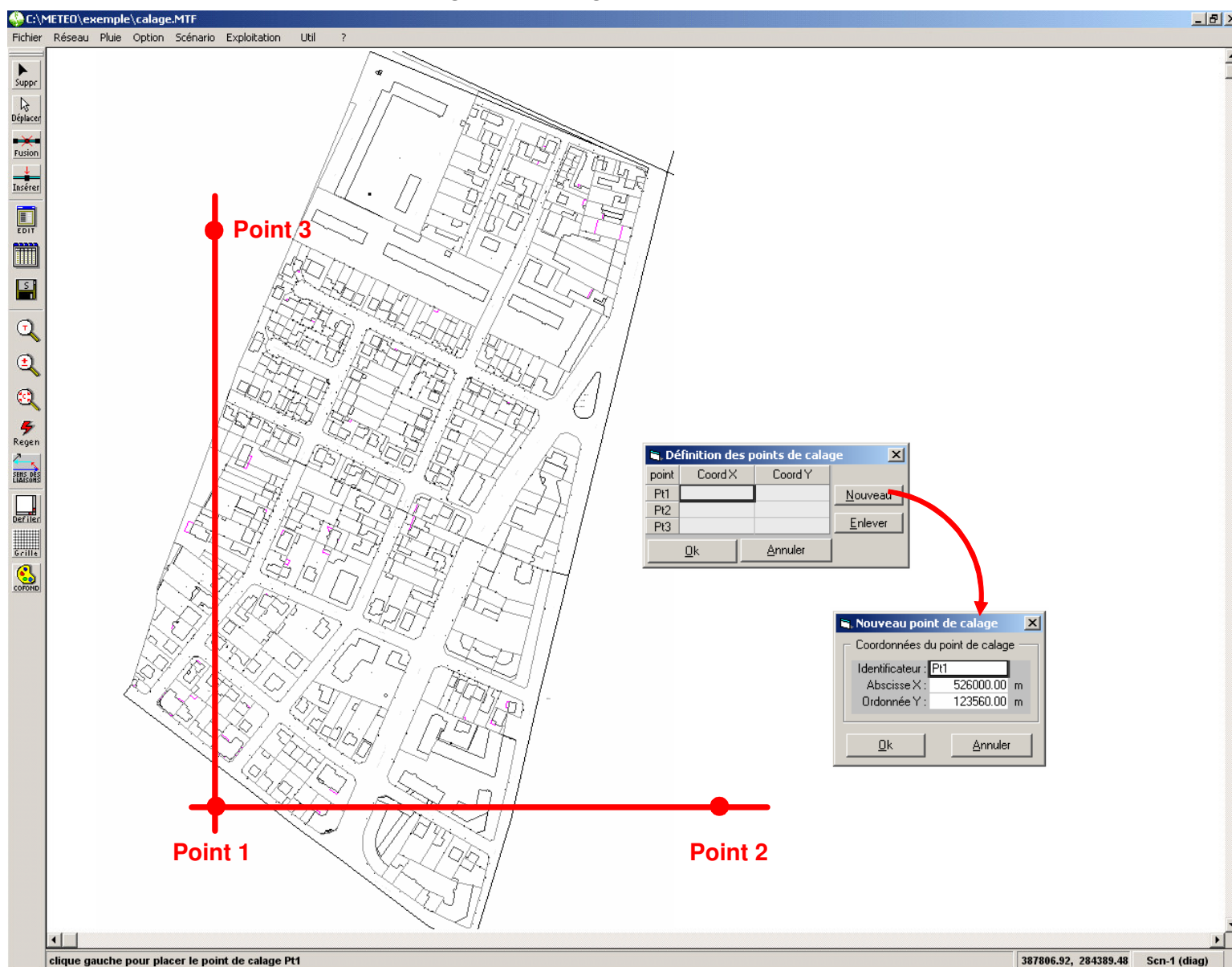
Dans le menu **Réseau / Calage du réseau / Définition de points de calage**, cliquer sur Nouveau pour créer un point de calage. Le curseur change d'apparence. Cliquer alors dans l'espace de travail pour positionner le point de calage. Définir ensuite les coordonnées du point de calage dans la fenêtre Nouveau point de calage et Valider ses coordonnées (voir **figure 3** page suivante).

Après avoir défini trois points de calage valider le calage en cliquant sur Ok dans la fenêtre Définition des points de calage.

Dans la fenêtre Définition des points de calage cliquer sur Enlever pour supprimer un point de calage et sur OK pour valider les trois point de calage.

Le calage d'un réseau est utilisé lorsqu'on désire travailler avec les coordonnées réelles des nœuds, dans ce cas la longueur des collecteurs qui sont tracés est automatiquement calculée par METE-EAU. Ceci permet d'avoir un dessin à l'échelle sur le fond de plan. La longueur des collecteurs est recalculée par METE-EAU lors de leurs déplacements avec la touche Ctrl enfoncée.

Figure 3 : Calage du réseau.



3.2 ETAPE 2 : TRACER LE RESEAU DANS L'ESPACE DE TRAVAIL

Dans le cas où l'utilisateur ne souhaite pas caler le réseau, METE-EAU utilise pour cette étape les coordonnées par défaut de l'espace de travail. Si on importe des nœuds à partir de plusieurs sources, les coordonnées des nœuds dans chaque fichier doivent être cohérentes entre elles et avec le réseau éventuellement déjà ouvert dans l'espace de travail.

Avec ou sans calage, les résultats de calculs obtenus seront les mêmes car seules les distances relatives (rentrées dans l'éditeur) sont utilisées en interne lors des calculs.

3.2.1 Importer des données externes

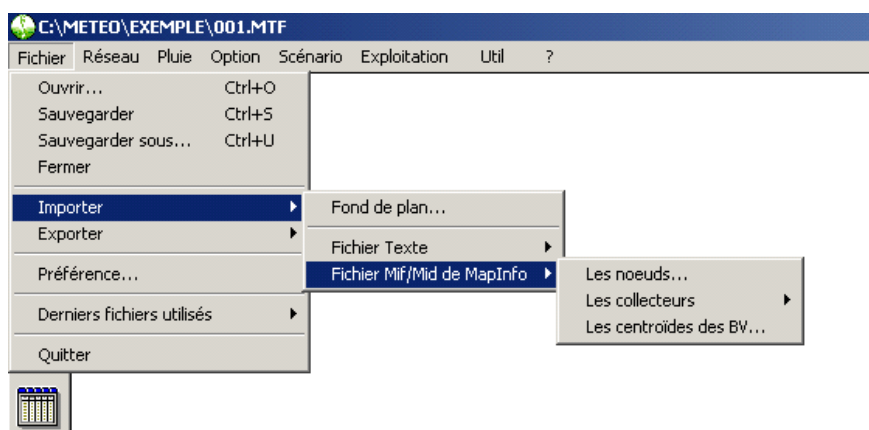
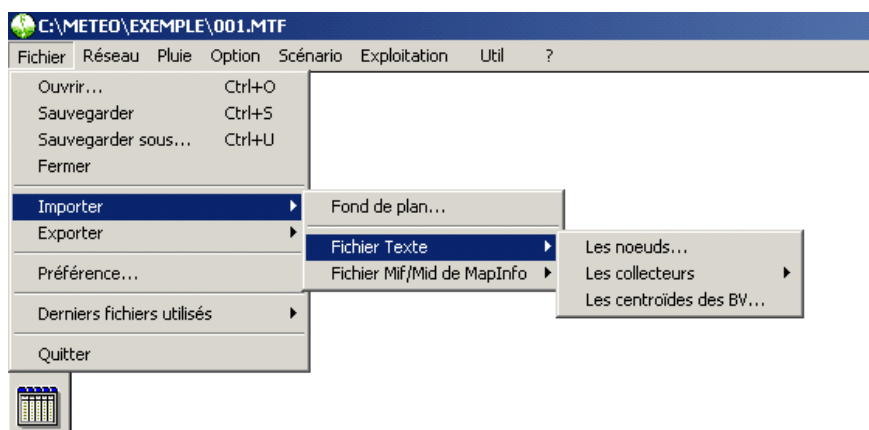
Sur un réseau existant déjà ouvert ou pour construire un nouveau réseau il est possible d'importer les coordonnées des nouveaux nœuds et des collecteurs au format texte ou .mif/.mid (fichiers d'échange Mapinfo).

3.2.1.1 Fichier texte ou Fichier mif/mid

Au format texte ou mif/mid les procédures d'importation des nœuds, collecteurs, centroïdes des bassins versants et stations de gestion sont identiques. Les fichiers d'import doivent contenir les données en colonnes dont les caractéristiques sont spécifiées ci-après.

Important :

- L'utilisateur doit préciser pour chaque donnée la colonne dans laquelle elle figure.
- Pour toutes les données définies par des chaînes de caractères, il faut respecter la casse.



3.2.1.2 Import des noeuds

Le fichier d'import des nœuds est structuré en 4 colonnes, les colonnes 1 à 3 sont obligatoires :

Colonne 1	Colonne 2	Colonne 3	Colonne 4
libn	X	Y	Z

libn : Libellé du nœud

X : Abscisse du nœud en mNGF

Y : Ordonnée du nœud en mNGF

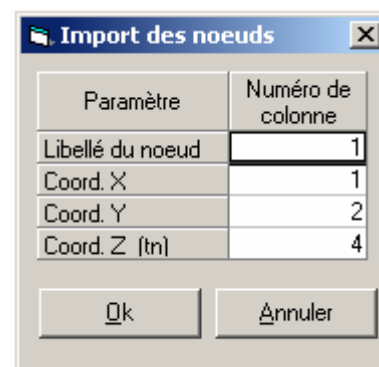
Z : Cote de terrain naturel en m (optionnel)

Exemple de fichier texte :

```
T0140030 595676.38 120304.71 92.37
T0140050 595761.35 120255.32 90.49
T0142000 595798.69 120234.39 90.07
T0142010 595822.59 120214.61 90.36
```

Important :

- Dans le cas d'un fichier mif/mid le nom des champs n'a aucune importance ; seule la position de la colonne dans la table est prise en compte par la routine d'importation
- Les champs optionnels prennent des valeurs nulles s'ils ne sont pas renseignés.
- Les nœuds doivent toujours être importés avant les collecteurs.
- Pour importer les nœuds sur un fond de plan, il faut au préalable caler le fond de plan dans le même système de coordonnées que les nœuds (voir menu **Réseau / Calage du réseau**).



3.2.1.3 Import des collecteurs CI ou PF

Le fichier d'import des collecteurs CI (circulaires) ou PF (paramétriques fermés) est structuré en 11 colonnes, les colonnes 1 à 3 et 8 sont obligatoires :

Colonne 1	Colonne 2	Colonne 3	Colonne 4	Colonne 5
libc	libnamont	libnaval	ZrAM	ZrAV

Colonne 6	Colonne 7	Colonne 8	Colonne 9	Colonne 10	Colonne 11
Ø	L	TyS	K	H	SR

libc : Libellé du collecteur accessible en éditant l'élément

libnamont : Libellé du nœud amont

libnaval : Libellé du nœud aval

ZrAM : Cote du radier amont en mNGF (optionnel)

ZrAV : Cote du radier aval en mNGF (optionnel)

Ø : Diamètre de la canalisation en m (nombre décimal) ou identifiant de la section (chaîne de caractères, voir paragraphe 3.3)

L : Longueur du tronçon en m (optionnel)

TyS : Type de collecteur : CI ou PF

K : Coefficient de Strickler du collecteur

H : Hauteur moyenne sous chaussée en m (optionnel)

SR : Surface du réservoir fictif amont en cas de mise en charge en m² (optionnel).

Les colonnes 2 et 3 doivent faire référence à des nœuds déjà importés ou dessinés dans l'espace de travail (colonne 1 du fichier des nœuds).

Exemple de fichier texte :

```
DEPT_1    ETANEX    T029050    107.33    104.68    S1    100.00    PF    65    0.75    1
DEPT_10   T014405    T014402    104.09    103.58    0.8    127.41    CI    65    0.8    0.68
DEPT_11   T068202    T068200    89.39     87.09     0.5    59.48     CI    65    0.6    0.7
DEPT_12   T029050    T029020    104.68    100.86    S1    151.97    PF    65    0.75    1
```

Important :

- Dans le cas d'un fichier mif/mid le nom des champs n'a aucune importance ; seule la position de la colonne dans la table est prise en compte par la routine d'importation

- Les champs optionnels prennent des valeurs nulles s'ils ne sont pas renseignés.

- Lorsque H = 0 on considère que la hauteur de couverture est infinie (pas de débordements possibles).

Paramètre	Numéro de colonne
Libellé du collecteur	1
Libellé du nœud amont	2
Libellé du nœud aval	3
Z radier amont	4
Z radier aval	5
Diamètre ou Id. Section	6
Longueur du collecteur	7
Type de section (CI ou PF)	8
Coef. Strickler	9
Hmoy sous chaussée	10
Surface réseau amont	11

3.2.1.4 Import des collecteurs PO

Le fichier d'import des collecteurs PO (paramétriques ouverts) est structuré en 11 colonnes, les colonnes 1 à 3 et 8 sont obligatoires :

Colonne 1	Colonne 2	Colonne 3	Colonne 4	Colonne 5
libc	libnamont	libnaval	ZrAM	ZrAV

Colonne 6	Colonne 7	Colonne 8	Colonne 9	Colonne 10	Colonne 11
IdSec	L	TyS	Kmin	Lmaj	Kmaj

libc : Libellé du collecteur accessible en éditant l'élément

libnamont : Libellé du nœud amont

libnaval : Libellé du nœud aval

ZrAM : Cote du radier amont en mNGF (optionnel)

ZrAV : Cote du radier aval en mNGF (optionnel)

IdSec : Identifiant de la section (chaîne de caractères, voir paragraphe 3.3)

L : Longueur du tronçon en m (optionnel)

TyS : Type de collecteur : PO

Kmin : Coefficient de Strickler du lit mineur (sur la section définie ci-dessus)

Lmaj : Largeur du lit majeur en m

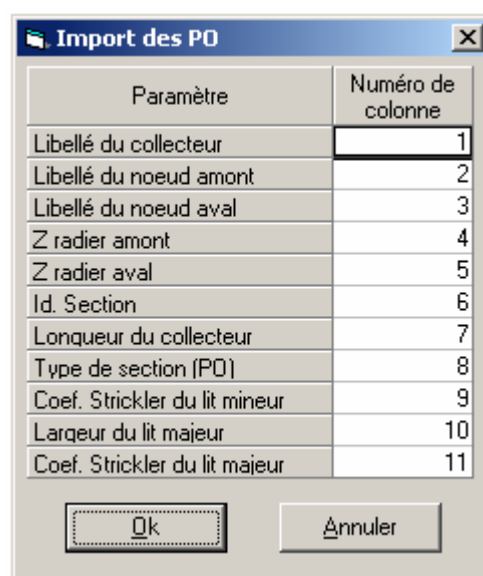
Kmaj : Coefficient de Strickler du lit mineur (sur la largeur définie ci-dessus)

Les colonnes 2 et 3 doivent faire référence à des nœuds déjà importés ou dessinés dans l'espace de travail (colonne 1 du fichier des nœuds).

Important :

- Dans le cas d'un fichier mif/mid, le nom des champs n'a aucune importance ; seule la position de la colonne dans la table est prise en compte par la routine d'importation.

- Les champs optionnels prennent des valeurs nulles s'ils ne sont pas renseignés.



3.2.1.5 Import des centroïdes des bassins versants

Le fichier d'import est structuré en 7 colonnes :

Colonne 1	Colonne 2	Colonne 3	Colonne 4	Colonne 5	Colonne 6	Colonne 7
libBv	Xc	Yc	S	Lc	i	Ci

libBV : Identificateur du bassin versant

Xc : Abscisse du barycentre du bassin versant en m

Yc : Ordonnée du barycentre du bassin versant en m

S : Superficie en hectares

Lc : Longueur de cheminement en m

i : Pente du bassin versant en m/m

Ci : Coefficient d'imperméabilisation

Exemple de fichier texte :

```
UNB02  597798.89  120646.26  7.45   276  0.1   0.45
B20    597986.19  119452.43  13.83  690  0.027  0.33
B1     598234.67  119191.09  6.38   200  0.005  0.58
B0     598234.67  119374.27  4.52   200  0.005  0.58
B71    597728.09  119650.34  6.79   690  0.027  0.32
```

Important :

- Dans le cas d'un fichier mif/mid, le nom des champs n'a aucune importance ; seule la position de la colonne dans la table est prise en compte par la routine d'importation.

- Les 3 premiers champs sont obligatoires pour placer les bassins versants. Les champs optionnels prennent les valeurs nulles s'ils ne sont pas renseignés.

- Les coordonnées du barycentre du bassin versant doivent être dans le même système que les coordonnées des nœuds.

Paramètre	Numéro de colonne
Libellé du BV	1
Coord. Xc	1
Coord. Yc	2
Superficie du BV	3
Longueur du cheminement	4
Pente du cheminement	5
Coef. d'imperméabilisation	7

3.2.2 Dessiner le réseau

Placer les éléments constitutifs du réseau dans l'espace de travail en sélectionnant les outils de dessin dans le menu **Réseau /**

▪ Le nœud

Le nœud est le « ciment » du réseau. Il sert à relier les tronçons de collecteurs entre eux et sert de support à toutes les singularités. Il est repéré par un identifiant. Sélectionner l'outil nœud et cliquer dans l'espace de travail pour positionner les nœuds.

▪ Collecteur et raccords

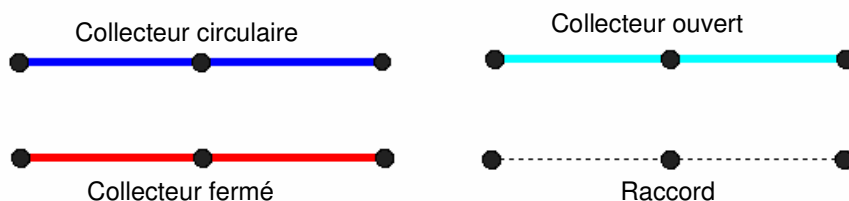
Ces entités sont créées en joignant deux nœuds, en prenant bien soin de respecter l'ordre amont-aval, vis-à-vis de la structure globale du réseau.

Il existe trois types de collecteur :

- menu **Réseau / Collecteurs circulaires** : diamètre défini en m,
- menu **Réseau / Collecteurs fermés** : définis par une section quelconque,
- menu **Réseau / Collecteurs ouverts** : définis par une section quelconque.

Les sections des collecteurs fermés et ouverts sont définies dans le menu **Option / Sections de collecteurs** par la largeur en fonction de la hauteur par rapport au radier.

Le raccord est une liaison permettant de translater les hydrogrammes entre 2 nœuds.

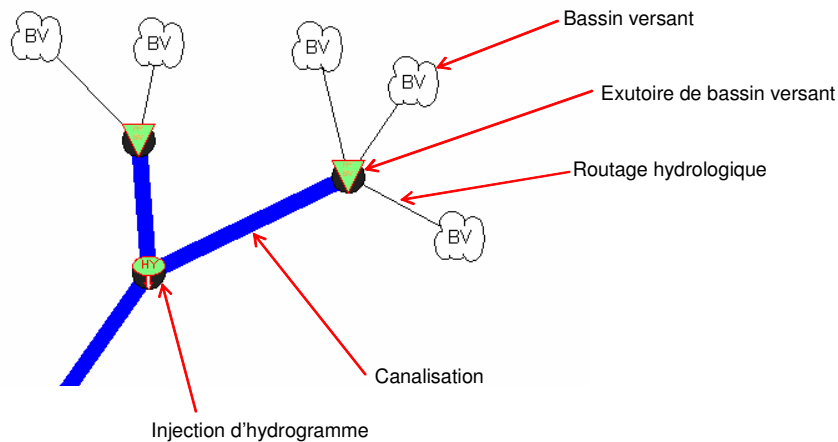


Important :

En fonction du calage établi précédemment METE-EAU propose pour chaque nouvel élément créé une longueur calculée. Si celle-ci n'est pas égale à celle que l'on souhaite modéliser, il convient de la modifier dans l'éditeur. C'est uniquement cette valeur enregistrée dans l'éditeur qui sera prise en compte pour les calculs hydrauliques.

Si le réseau est correctement calé, lorsque que l'on maintient appuyée la touche « ctrl » et que l'on déplace un nœud qui maintient deux collecteurs, METE-EAU calcule automatiquement la nouvelle longueur des collecteurs, si la touche « ctrl » n'est pas appuyée le schéma est modifié mais la longueur qui a été enregistrée par l'éditeur reste inchangée.

▪ Modules hydrologiques



- Bassin versant élémentaire, repéré en son centre de gravité par une entité ponctuelle propre : sélectionner l'outil et cliquer dans l'espace de travail pour positionner le bassin versant,
- Module de routage hydrologique reliant un bassin versant à un exutoire de bassin versant : sélectionner l'outil et relier les bassins versants aux exutoires de bassins versants,
- Exutoire de bassin versant, à l'aval d'une arborescence de bassins versants élémentaires et de modules de routage : sélectionner l'outil et positionner l'exutoire en cliquant obligatoirement sur un nœud du réseau,
- Injection d'hydrogramme : sélectionner l'outil et cliquer obligatoirement sur un nœud du réseau pour positionner l'objet.

NB : En cliquant directement sur un nœud avec l'outil bassin versant, METE-EAU crée automatiquement

▪ Les singularités hydrauliques

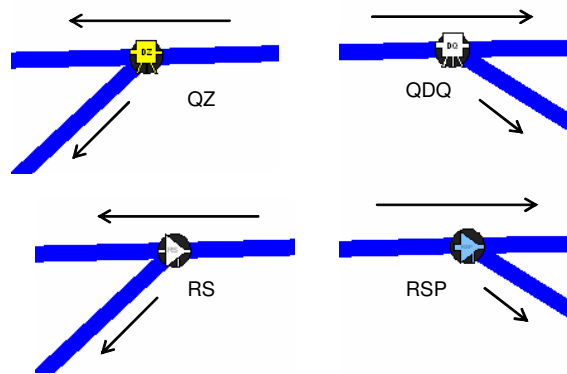
Sélectionner l'outil et cliquer obligatoirement sur un nœud pour positionner l'objet. Ce sont les déversoirs, les dérivationes et les bassins de retenue.

QZ : dérivation par seuil,

QDQ dérivation en fonction du débit amont,

RS : réservoir à débit de fuite et débit de surverse constants,

RSP : réservoir à débit de fuite et débit de surverse paramétrés en fonction de la hauteur de remplissage.



NB : les éléments aval et amont des dérivations et réservoirs peuvent être de type collecteur ou raccord.

▪ Les conditions à la limite aval

Un nœud aval du réseau doit obligatoirement être occupé par une condition à la limite aval. Sélectionner l'outil et cliquer sur le nœud désiré.



▪ Pluviographe

Entité ponctuelle pouvant être posée n'importe où, lorsque le réseau est calé. Sélectionner l'outil et cliquer dans l'espace de travail pour positionner l'objet.



▪ Marquage de sortie

Module pouvant être posé sur n'importe quel nœud libre du réseau, pour assurer une sauvegarde d'hydrogramme consultable en ce point après calcul.

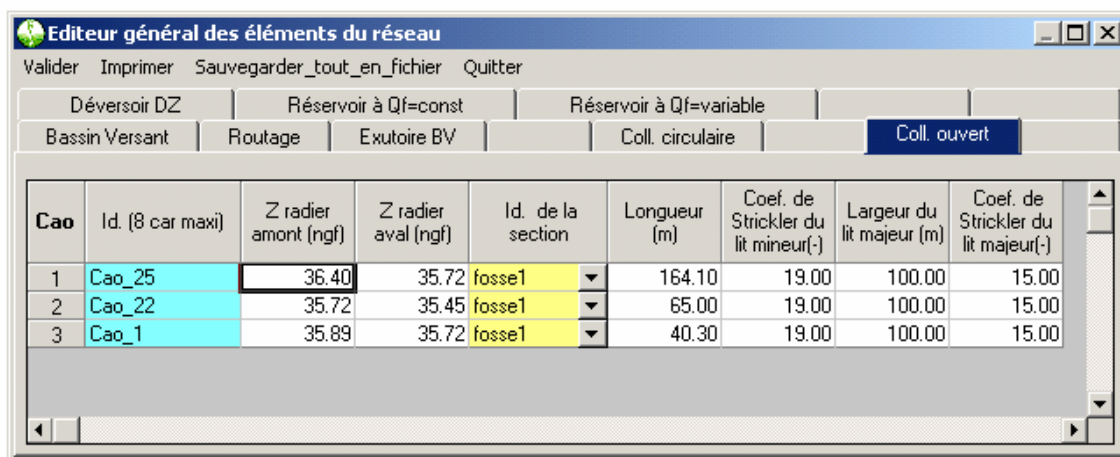


3.3 ETAPE 3 : RENSEIGNER LES ELEMENTS

Barre d'outil / Editeur général : cliquer sur l'outil pour obtenir le tableau de toutes les caractéristiques des éléments du réseau triés par type. Pour modifier le contenu des cellules, cliquer dans les cellules et taper les valeurs souhaitées. Pour valider les modifications dans l'éditeur général, cliquer sur Valider dans la fenêtre de l'éditeur.

Important :

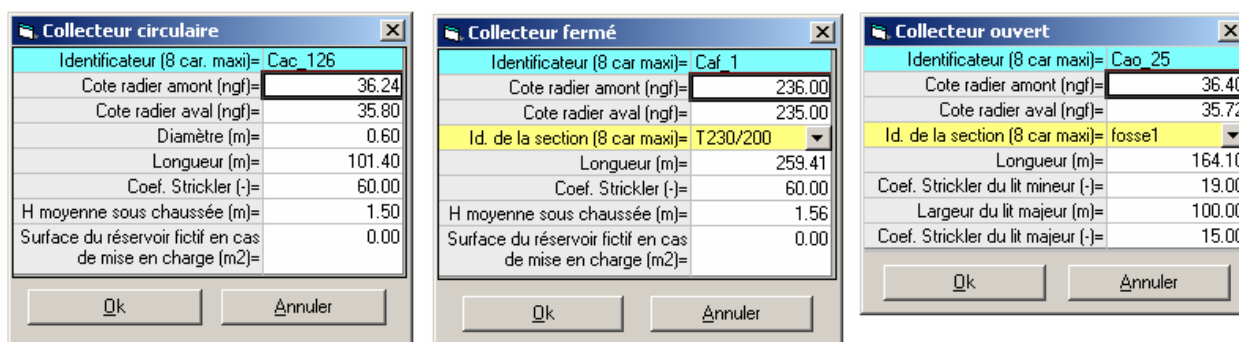
L'identificateur de chaque élément ne doit impérativement pas dépasser 8 caractères.



Cao	Id. (8 car maxi)	Z radier amont (ngf)	Z radier aval (ngf)	Id. de la section	Longueur (m)	Coef. de Strickler du lit mineur(-)	Largeur du lit majeur (m)	Coef. de Strickler du lit majeur(-)
1	Cao_25	36.40	35.72	fosse1	164.10	19.00	100.00	15.00
2	Cao_22	35.72	35.45	fosse1	65.00	19.00	100.00	15.00
3	Cao_1	35.89	35.72	fosse1	40.30	19.00	100.00	15.00

Barre d'outils / Editeur élémentaire : sélectionner l'outil et cliquer sur les éléments pour modifier leurs caractéristiques. Pour chacun des éléments double-cliquer dans la cellule de l'identificateur pour modifier l'identificateur de l'élément. Taper sur Entrée pour valider l'identificateur.

- Collecteurs : le diamètre (pour les collecteurs circulaires) et la longueur ne doivent jamais être nuls, les identificateurs de section des collecteurs fermés et ouverts doivent correspondre à des sections non nulles définies dans le menu **Option / Sections de collecteur**.



Collecteur circulaire

Identificateur (8 car. maxi)= Cac_126

Cote radier amont (ngf)= 36.24

Cote radier aval (ngf)= 35.80

Diamètre (m)= 0.60

Longueur (m)= 101.40

Coef. Strickler (-)= 60.00

H moyenne sous chaussée (m)= 1.50

Surface du réservoir fictif en cas de mise en charge (m2)= 0.00

Ok Annuler

Collecteur fermé

Identificateur (8 car maxi)= Caf_1

Cote radier amont (ngf)= 236.00

Cote radier aval (ngf)= 235.00

Id. de la section (8 car maxi)= T230/200

Longueur (m)= 259.41

Coef. Strickler (-)= 60.00

H moyenne sous chaussée (m)= 1.56

Surface du réservoir fictif en cas de mise en charge (m2)= 0.00

Ok Annuler

Collecteur ouvert

Identificateur (8 car maxi)= Cao_25

Cote radier amont (ngf)= 36.40

Cote radier aval (ngf)= 35.72

Id. de la section (8 car maxi)= fosse1

Longueur (m)= 164.10

Coef. Strickler du lit mineur (-)= 19.00

Largeur du lit majeur (m)= 100.00

Coef. Strickler du lit majeur (-)= 15.00

Ok Annuler

- Raccords hydrauliques : translateur d'hydrogramme : pas de données à rentrer.

Les sections de collecteurs fermés et ouverts sont définies dans le menu **Option / Sections de collecteur** (voir **figure 4** page suivante) :

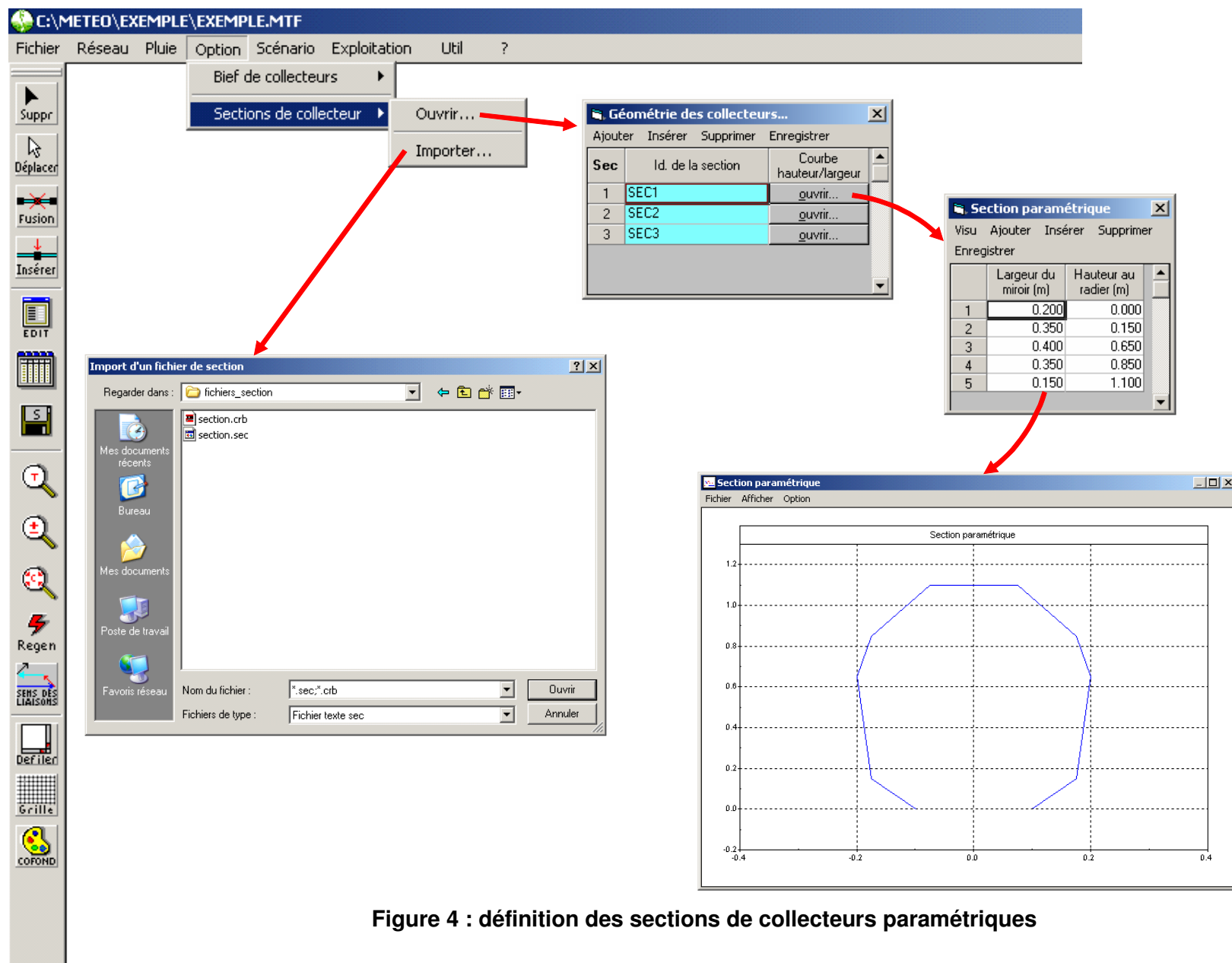


Figure 4 : définition des sections de collecteurs paramétriques

Le menu **Ouvrir** permet d'accéder à la liste des sections enregistrées dans le modèle *.MTF. Pour ajouter, insérer ou supprimer une section dans la liste, cliquer sur Ajouter, Insérer ou Supprimer. Pour enregistrer les sections, cliquer sur Enregistrer. Pour modifier les caractéristiques d'une section cliquer sur Ouvrir dans la ligne correspondant à la section. Ensuite, dans la fenêtre Section paramétrique, cliquer sur Ajouter, Insérer ou Supprimer pour ajouter, insérer ou supprimer une ligne de la courbe (hauteur/largeur) définissant la section. Enregistrer la forme de la section en cliquant sur Enregistrer.

Important :

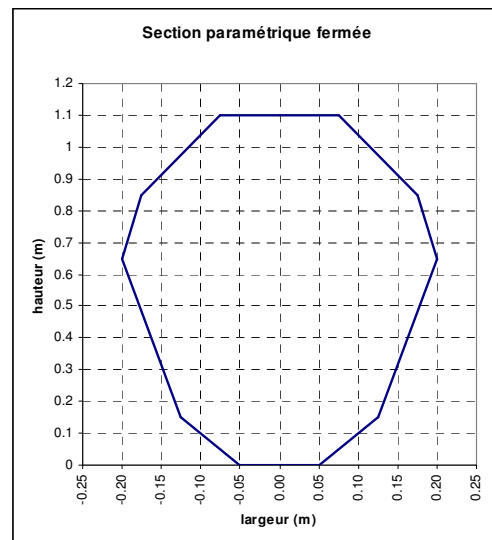
La courbe hauteur/largeur de la section doit être définie dans un ordre strictement croissant des hauteurs. La hauteur maximale de la section doit être non nulle et toutes les valeurs doivent être positives.

Le menu **Importer** permet d'importer une série de sections prédéfinies dans un fichier externe. Il existe deux types de format de fichiers décrits en annexe 2 : *.SEC et *.CRB.

Exemple de section de collecteur fermé :

Section paramétrique		
Visu Ajouter Insérer Supprimer		
Enregistrer		
	Largeur du miroir (m)	Hauteur au radier (m)
1	0.100	0.000
2	0.250	0.150
3	0.400	0.650
4	0.350	0.850
5	0.150	1.100

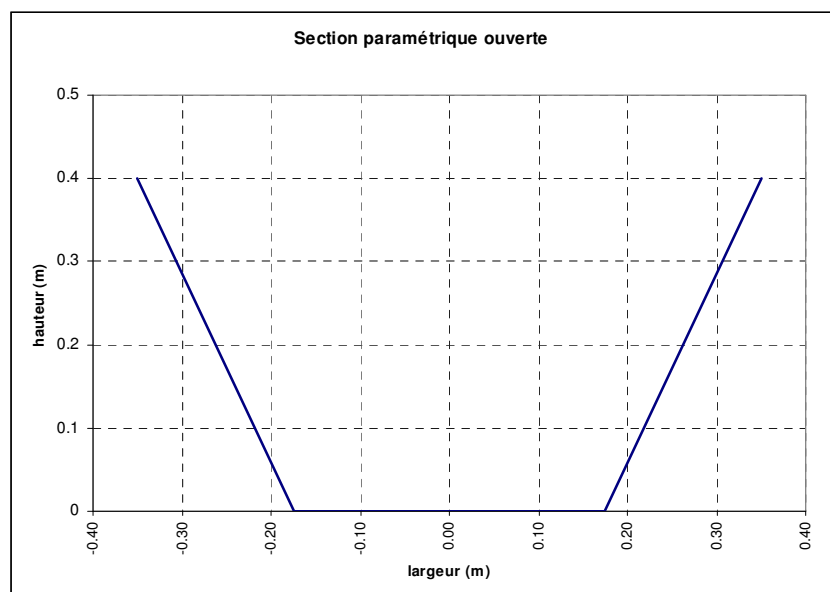
Hauteurs dans un ordre strictement croissant



Exemple de section de collecteur ouvert :

Section paramétrique		
Visu Ajouter Insérer Supprimer		
Enregistrer		
	Largeur du miroir (m)	Hauteur au radier (m)
1	0.350	0.000
2	0.700	0.400

Hauteurs dans un ordre strictement croissant



▪ Bassin versant :

Identificateur (8 car. maxi) =	Bv_3
Surface (ha) =	12.30
Longueur de cheminement (m) =	250.00
Pente moyenne (-) =	0.00300
Coef. imperméabilisation (-) =	0.40
Fonction de production de la pluie nette	1. CR constant (l)
Coef de ruissellement =	0.320
Fonction de production du ruissellement	1. k (Desbordes)

Remplir les caractéristiques morphologiques du bassin versant en cliquant dans les cellules voulues. La surface, la longueur de cheminement et la pente moyenne doivent être non nulles.

Choisir la fonction de production de la pluie nette ainsi que le fonction de production du ruissellement avec les menus déroulant.

METE-EAU dispose de quatre fonctions de production de la pluie nette :

1. Modèle à coefficient de ruissellement constant
2. Modèle de Horner
3. Modèle de Holtan
4. Modèle SCS (Soil Conservation Service)

et cinq fonctions de production du ruissellement :

1. Modèle du réservoir linéaire et formule de Desbordes
2. Modèle du réservoir linéaire et formule de Giandotti
3. Modèle du réservoir linéaire et formule de Passini
4. Modèle du réservoir linéaire et temps de réponse imposé
5. Modèle de l'hydrogramme unitaire et temps de concentration imposé

▪ Routage hydrologique :

Identificateur (8 car maxi) =	Rou_4
Section moyenne du collecteur (m2) =	1.50
Longueur de routage (m) =	360.00
Pente moyenne du collecteur (-) =	0.00300

La section moyenne du collecteur doit être non nulle.

▪ Exutoire de bassin versant :

Identificateur (8 car maxi) =	Hbv_3
Débit de temps sec (m3/s) =	0.002
Surface au miroir équivalente du réseau amont (m2) =	125.00

- Dérivation en fonction de la géométrie :

Pour chaque élément aval (autant que le nombre de dérivation indiqué), sélectionner dans la liste le type de dérivation : seuil, orifice, loi de type Strickler, loi paramétrique de type Q(z). Cliquer ensuite sur Ouvrir pour compléter les caractéristiques de la dérivation (sauf pour la loi de type Strickler).

	Cote (ngf)	Debit (m3/s)
1	10.000	0.000
2	12.000	0.500
3	14.000	1.500

- Dérivation en fonction du débit amont :

	Qamont (m3/s)	Qd1 (m3/s)	Qd2 (m3/s)
1	0.000	0.000	0.000
2	1.500	0.000	0.000
3	10.000	4.000	4.500

En fonction du nombre de dérivation, sélectionner l'élément aval et la (ou les) dérivation(s) parmi les collecteurs proposées.

Pour définir la courbe de débit dérivé en fonction du débit amont, cliquer sur Ajouter ou Insérer une ligne pour ajouter ou insérer un nouveau point à la courbe. Cliquer sur Supprimer pour supprimer un point de la courbe.

Le menu **Visu** permet de visualiser les courbes rentrées par l'utilisateur.

- Bassin à débit de fuite constant :

	Z retenue (ngf)	Surface au miroir (m2)
1	36.25	1500.00
2	38.42	1500.00

Pour définir la courbe de forme du bassin, cliquer sur Ajouter ou Insérer une ligne pour ajouter ou insérer un nouveau point à la courbe. Cliquer sur Supprimer pour supprimer un point de la courbe.

Le menu **Visu** permet de visualiser la courbe rentrée par l'utilisateur.

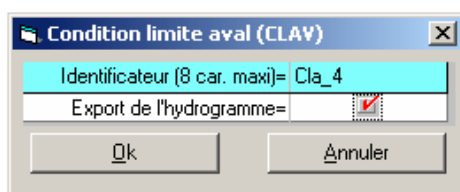
- Bassin à débit de fuite paramétré :

	Cote retenue (ngf)	Surface au miroir (m2)	Débit de fuite (m3/s)	Débit de surverse (m3/s)
1	125.13	20.00	0.500	0.000
2	125.63	600.00	0.500	0.000
3	126.63	600.00	0.500	3.200

Pour définir la courbe du débit de fuite et du débit de surverse, cliquer sur Ajouter ou Insérer une ligne pour ajouter ou insérer un nouveau point à la courbe. Cliquer sur Supprimer pour supprimer un point de la courbe.

Le menu **Visu** permet de visualiser la courbe rentrée par l'utilisateur.

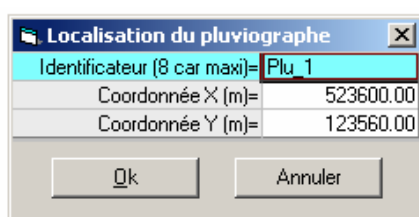
- Condition limite aval :



Pour modifier l'identifiant, double-cliquer dans la cellule et taper le nouvel identifiant.

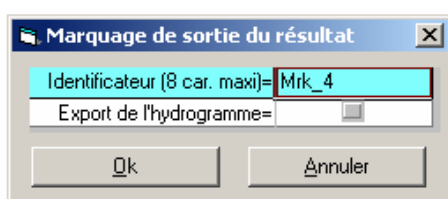
Pour sauvegarder de l'hydrogramme résultant en ce point dans un fichier externe, cocher la case Export de l'hydrogramme. Le format du fichier externe décrit en annexe au paragraphe 5.

- Pluviographe :



Lorsque l'utilisateur positionne le pluviographe sur l'espace de travail METE-EAU calcule automatiquement en fonction du calage défini préalablement les coordonnées du pluviographe. L'utilisateur peut modifier ces coordonnées par le biais de l'éditeur, sans que le pluviographe ne soit déplacé dans l'espace de travail. Seules les coordonnées validées dans l'éditeur seront prises en compte dans les calculs, il faut donc veiller à ce que ces coordonnées soient cohérentes avec le reste du modèle, notamment la position des bassins versants.

- Marquage de point de sortie des résultats :



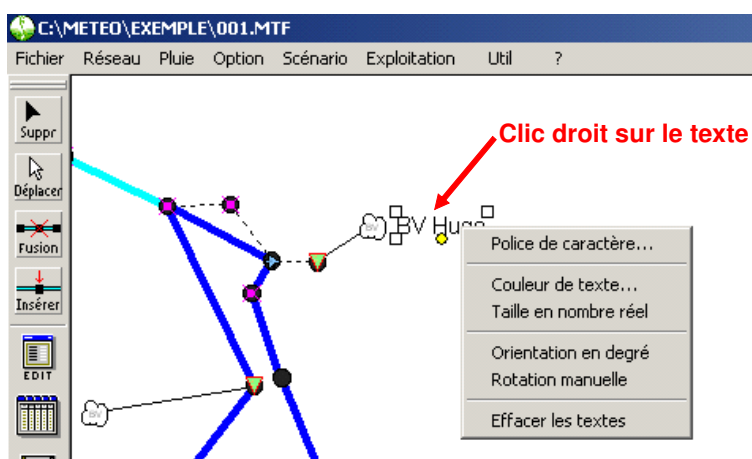
Pour modifier l'identifiant, double-cliquer dans la cellule et taper le nouvel identifiant.

Pour sauvegarder de l'hydrogramme résultant en ce point dans un fichier externe, cocher la case Export de l'hydrogramme. Le format du fichier externe décrit en annexe au paragraphe 4.1.

3.4 ETAPE 4 : TEXTE, LEGENDE, ETIQUETTES, TAILLE DES SYMBOLES

Pour identifier les éléments sur le schéma utiliser de menu **Util / Placer un texte de légende** ou **Util / Etiqueter les éléments selon leur type**.

Pour placer un texte de légende cliquer dans l'espace de travail à l'endroit où le texte doit être placé. Taper le texte puis valider (touche Entrée). Le texte peut alors être déplacé comme les autres éléments du dessin avec l'outil « Déplacer » et effacé avec l'outil « Suppr » de la barre d'outils. La police, la taille, la couleur et l'orientation du texte sont modifiables avec le « clic droit » sur le texte sélectionné ou un ensemble de textes sélectionnés. Un menu contextuel apparaît pour effectuer les modifications.



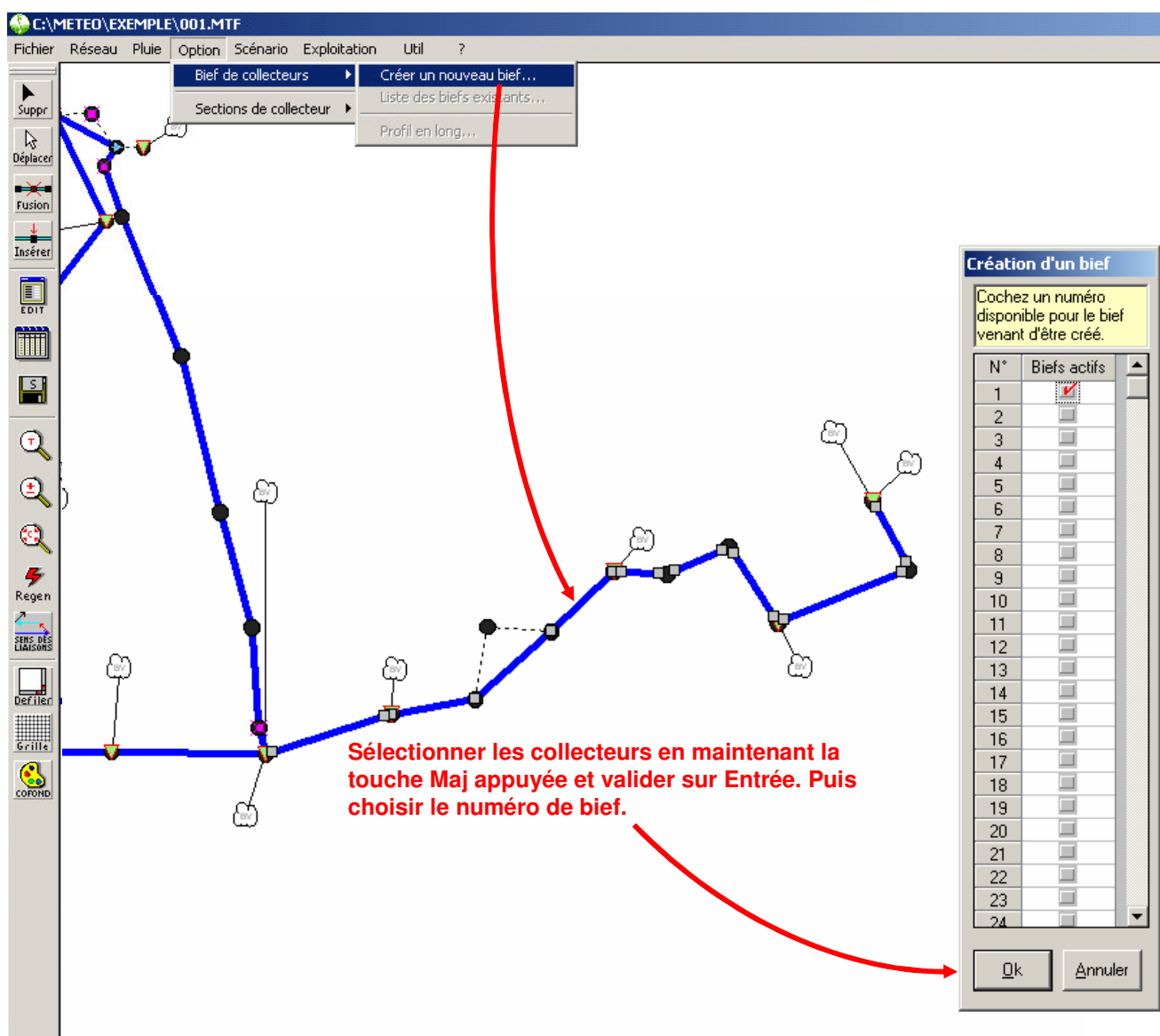
Tous les textes de légende et étiquettes seront affichés sur les cartes de synthèse.

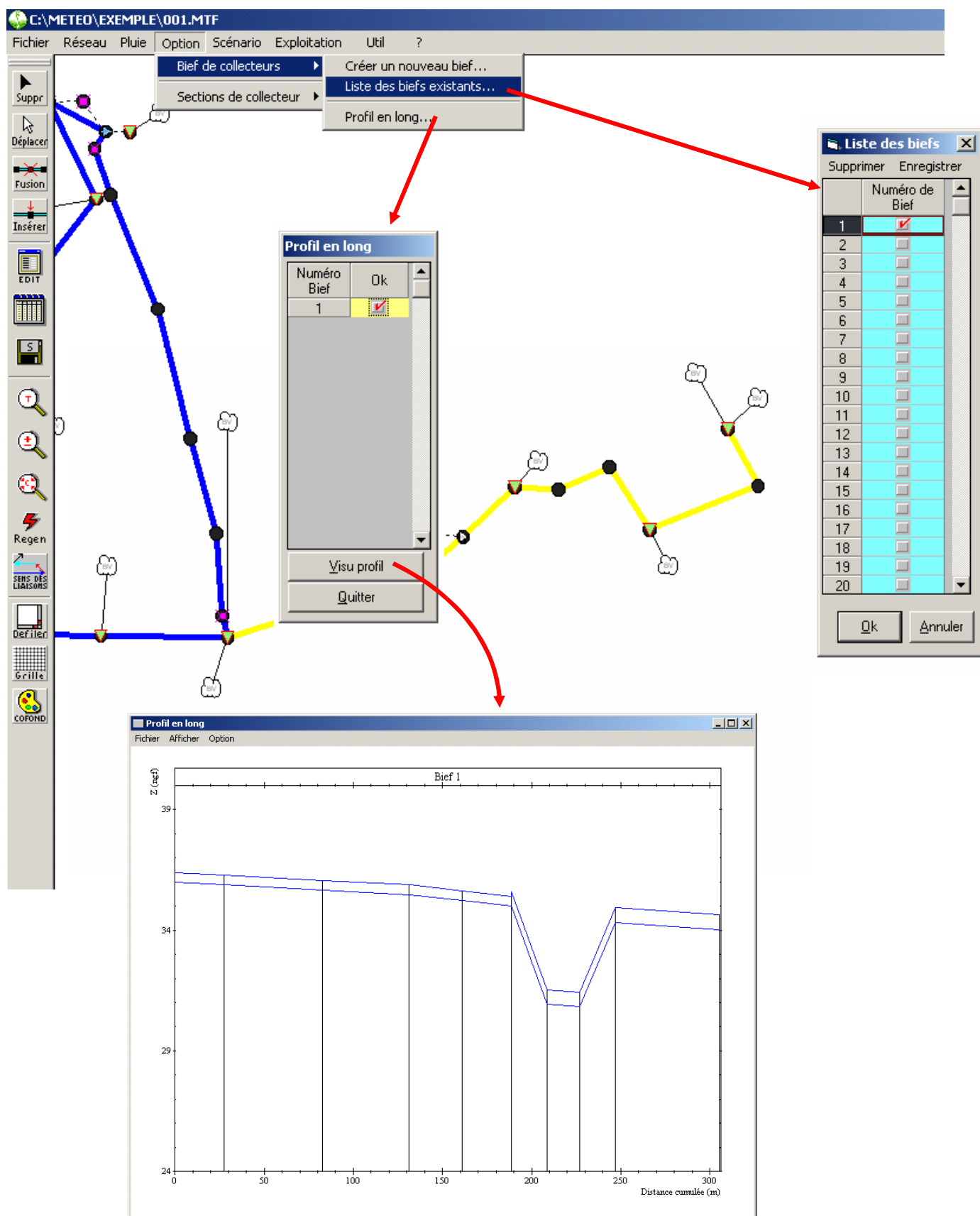
Le menu **Fichier / Préférence** permet de modifier la taille des éléments dessinés : voir paragraphe 3.1.

3.5 ETAPE 5 : DEFINIR DES BIEFS DE COLLECTEURS

Le menu **Option / Biefs de collecteurs / Créer un nouveau bief** permet de définir un cheminement hydraulique quelconque en sélectionnant une suite de collecteurs à l'aide de la souris (maintenir appuyée la touche Maj, sélectionner les tronçons et valider en appuyant sur Entrée). Après avoir sélectionné les collecteurs, choisir le numéro du bief à attribuer. L'utilisateur peut ensuite tracer le profil en long de chaque bief et vérifier, par exemple, la cohérence des données rentrées.

Le menu **Option / Biefs de collecteurs / Liste des biefs** permet de consulter la liste des biefs existants, le menu **Profil en long** permet de tracer le profil en long de un ou plusieurs biefs.





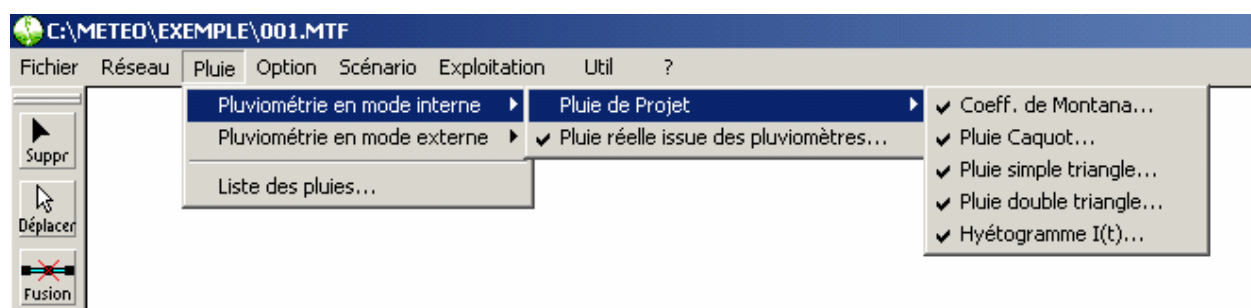
3.6 ETAPE 6 : DEFINIR LES PLUIES

A chaque type de pluie correspond une bibliothèque de pluies. Dans chaque fenêtre de bibliothèque on utilise les menus **Ajouter**, **Insérer**, et **Supprimer** pour ajouter, insérer ou supprimer une ligne. A chaque ligne correspond une pluie, pour modifier la désignation ou le commentaire, double cliquer dans la cellule voulue. Pour paramétrer une pluie, cliquer sur Editer dans la ligne correspondant à la pluie.

Dans METE-EAU on distingue deux modes de paramétrage de la pluie :

- interne : les données de chaque pluie sont rentrées par l'utilisateur via l'interface de METE-EAU,
- externe : les données de chaque pluie sont stockées dans un fichier externe et lues par METE-EAU au moment de l'exécution.

3.6.1 En mode interne : pluies de projet



▪ Coefficients de Montana

Définition d'une bibliothèque de coefficients de Montana pour paramétrer diverses pluies de projet de type Caquot, de forme triangle et double triangle :

The screenshot shows a dialog box titled 'Coefficients régionaux de Montana'. It contains a table with the following data:

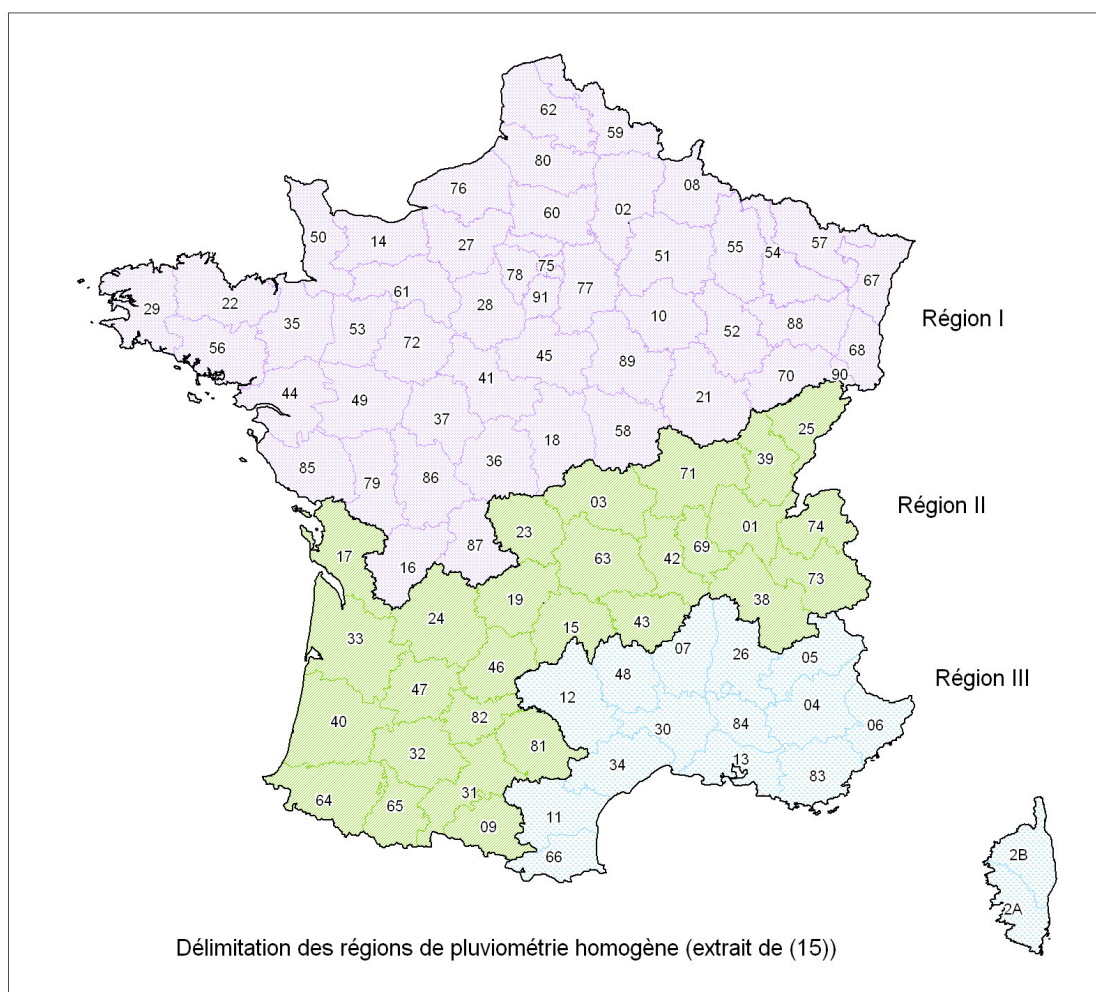
N°	Identif. de Montana	Désignation de la localisation	Période de retour	Coefficient a	Coefficient b
1	Mont1	Le Mans	10	5.21	-0.64
2	Mont2	Le Mans	5	4.46	-0.64

At the top of the dialog box, there are buttons for 'Ajouter', 'Insérer', 'Supprimer', 'Enregistrer', and 'Fermer'. The 'Enregistrer' button is highlighted.

NB : il faut d'abord enregistrer un (des) coefficient(s) de Montana avant de paramétrer des pluies de projet.

Tableau 3.1
Courbes IDF et hauteurs H(t, T) préconisées par l’Instruction Technique relative aux réseaux d’assainissement des agglomérations (15)

Période de retour T	Paramètres		Durée t (mn) et hauteurs (mm)			
	a(T)	b(T)	15	30	60	120
<u>REGION I</u>						
10 ans	5.9	- 0.59	18	24	31.5	42
5 ans	5.0	- 0.61	14.5	19	24.5	32.5
2 ans	3.7	- 0.62	10.5	13.5	17.5	23
1 an	3.1	- 0.64	8	10.5	13.5	17.5
<u>REGION II</u>						
10 ans	6.7	- 0.55	32.5	31	42.5	58
5 ans	5.5	- 0.57	17.5	23.5	32	43
2 ans	4.6	- 0.62	13	17	22	28.5
1 an	3.5	- 0.62	10	12.5	16.5	21.5
<u>REGION III</u>						
10 ans	6.1	- 0.44	28	41	60.5	39
5 ans	5.9	- 0.51	22	31	44	61.5
2 ans	5.0	- 0.54	17.5	24	33	45
1 an	3.8	- 0.53	13.5	19	26	36



- Pluie de projet de type Caquot

Cette pluie, qui n'a rien de physique, est caractérisée par un hyétogramme de forme doublement triangulaire de durée différente pour chaque bassin versant élémentaire. Cette durée est ajustée pour satisfaire le débit de pointe donné par la méthode Caquot à l'exutoire de chaque bassin versant élémentaire : la durée de la pluie est égale au temps de concentration du bassin versant.

Cette méthode a l'avantage sur la méthode classique de Caquot, de fournir des hydrogrammes et non seulement des débits de pointe, et donc de permettre de dimensionner des réseaux étendus et de nature très hétérogène, ainsi que les volumes de stockage des bassins d'orage.

N°	Désignation de la pluie Caquot	Commentaire	Edition de données
1	CAQ_1	pluie Caquot 1	Editer...

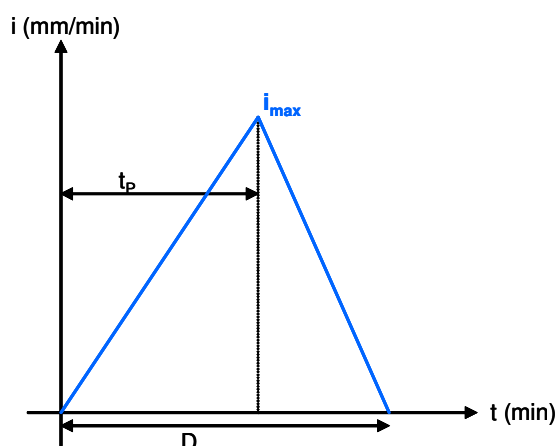
Identif. de Montana	Désignation de la localisation	Période de retour	Coefficient a	Coefficient b	Choix des coef. de Montana
Mont2	Le Mans	5	4.46	-0.64	▼

Choisir le coefficient de Montana parmi ceux définis au menu précédent puis cliquer sur Enregistrer pour enregistrer ou Fermer pour fermer la fenêtre sans enregistrer.

- Pluie de projet simple triangle

Cette pluie, supposée uniforme sur l'ensemble de la zone d'étude, est définie par un hyétogramme en forme de triangle simple, construit à partir des paramètres suivants fournis par l'utilisateur :

- Les coefficients de Montana,
- La période de retour,
- La durée de la pluie,
- L'instant du pic.



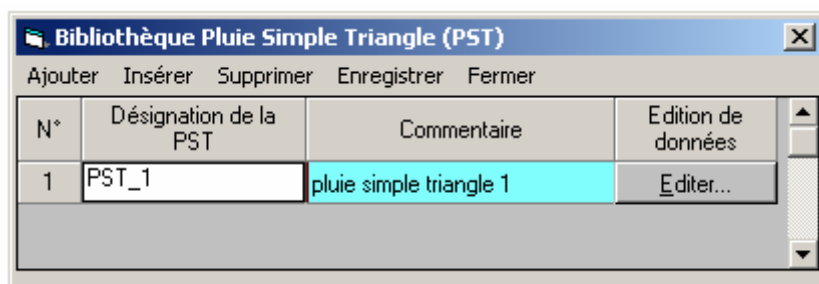
D : durée totale de la pluie en min
 t_p : instant du pic
 i_{\max} : intensité maximale de la pluie

La méthode de construction de cette pluie fictive est celle préconisée par le LHM à partir des coefficients de Montana (a, b). Ceux-ci permettent de relier l'intensité moyenne d'une averse et sa durée pour une période de retour T donnée :

$$i(T) = a \times D^b$$

avec i : intensité moyenne (mm/min), D : durée totale (min) et $i_{\max} = 2 \cdot i_{\text{moy}}$

La pluie de projet simple triangle convient pour des bassins versants à réponse rapide (inférieure à 30 min). Au-delà, il faut sélectionner une pluie double triangle.



Durée totale de précipitation (mn) = 60.00
Instant du pic pluvieux (mn) = 30.00

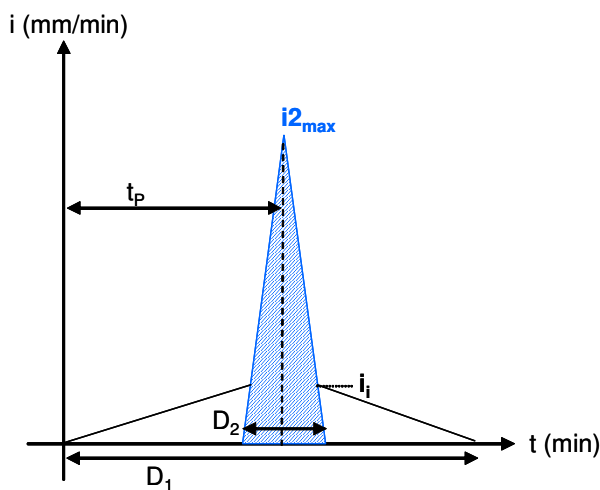
Identif. de Montana	Désignation de la localisation	Période de retour	Coefficient a	Coefficient b	Choix des coef. de Montana
Mont2	Le Mans	5	4.46	-0.64	▼

Choisir le coefficient de Montana, la durée totale et l'instant du pic de l'évènement puis cliquer sur Enregistrer pour enregistrer ou Fermer pour fermer la fenêtre sans enregistrer.

▪ Pluie de projet double triangle

Cette pluie, supposée uniforme sur la zone d'étude, est définie par un hyétogramme en forme de double triangle, construit à partir des paramètres suivants :

- La durée totale de l'épisode pluvieux et la période de retour associée,
- Les coefficients de Montana associés à l'épisode pluvieux,
- La durée de l'épisode pluvieux intense et la période de retour associée,
- Les coefficients de Montana associés à l'épisode pluvieux intense,
- L'instant du pic pluvieux.



D_1 : durée totale de la pluie en min
 D_2 : durée de l'épisode intense en min
 t_P : instant du pic
 $i_{2_{\max}}$: intensité maximale de la pluie
 i_1 est calculée de sorte que la surface non hachurée soit égale à $HM_1 - HM_2$.

Il faut respecter la double inégalité :

- 1) $D_2 \leq 2$ heures
- 2) $D_1 \geq 2$ heures (en général D_1 peut être fixé à 4 heures)

De plus, les études menées notamment par le LHM montrent que la période de retour T_2 doit être choisie environ deux à trois fois plus faible que T_1 .

La lame d'eau totale est calculée par l'expression :

$$HM_1 = (HM_1^*) * \left(\frac{D_1}{2}\right)^\beta$$

où HM_1^* est la lame d'eau tombée pour une pluie de période de retour T_1 et de durée 2h (calculée avec a_1 et b_1 coefficients de Montana de l'épisode total) et D_1 est la durée de l'épisode total exprimé en heures.

β est un coefficient déterminé par COLIN et BEDEL pour des durées supérieures à 2 heures, compris entre 0,22 et 0,29 suivant les régions. On a sélectionné dans METE-EAU une valeur unique moyenne égale à 0,260

La lame d'eau de l'épisode intense (surface hachurée) est calculée par l'expression :

$HM_2 = a_2 * D_2^{b_2} * D_2$ où a_2 et b_2 sont les coefficients de Montana de l'épisode intense et D_2 sa durée en minutes.

Bibliothèque Pluie Double Triangle (PDT)

Ajouter Insérer Supprimer Enregistrer Fermer

N°	Désignation de la PDT	Commentaire	Edition de données
1	PDT_1	pluie double triangle 1	Editer...

Pluie de projet double triangle

Enregistrer Fermer

Durée totale de l'épisode pluvieux (mn)= 4.00
 Durée de l'épisode intense (mn)= 2.00
 Instant du pic pluvieux (mn)= 2.00

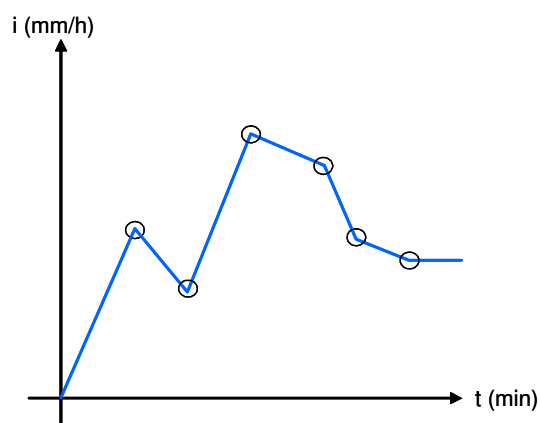
Identif. de Montana	Désignation de la localisation	Période de retour	Coefficient a	Coefficient b	Coef. de Montana pour l'épisode total
Mont1	Le Mans	10	5.21	-0.64	▼

Identif. de Montana	Désignation de la localisation	Période de retour	Coefficient a	Coefficient b	Coef de Montana pour l'épisode intense
Mont2	Le Mans	5	4.46	-0.64	▼

Choisir les coefficients de Montana, la durée totale de l'évènement, la durée intense et l'instant du pic puis cliquer sur Enregistrer pour enregistrer ou Fermer pour fermer la fenêtre sans enregistrer.

▪ Pluie de projet synthétique $I(t)$ (pluie définie par un hyétogramme)

Cette pluie, supposée uniforme sur la zone d'étude, est définie par une courbe d'intensité $I(t)$ donnée par l'utilisateur.





I(t)	Temps (mn)	Intensité (mm/h)
1	0.00	3.00
2	5.00	10.00
3	10.00	23.00
4	25.00	17.00
5	60.00	12.00
6	80.00	8.00

Pour définir la courbe I(t), cliquer sur Ajouter, Insérer ou Supprimer pour ajouter, insérer ou supprimer des lignes. Dans chaque ligne rentrer les valeurs de temps et d'intensité. Cliquer sur Visu pour visualiser la courbe rentrée. Cliquer sur Enregistrer pour enregistrer la courbe.

3.6.2 En mode interne : pluies réelles

▪ Pluie réelle à partir de données des pluviomètres

Une pluie réelle est définie par la connaissance de courbes pluviographiques H(t) réparties géographiquement. La lame d'eau précipitée sur un bassin versant élémentaire est calculée par interpolation des courbes pluviographiques suivant une des deux méthodes : Thiessen ou pondération par les distances.

Important :

Dans ce cas le calage de l'espace de travail est primordial et les coordonnées des pluviomètres et des bassins versants doivent être cohérentes.

- La méthode de Thiessen : à chaque bassin versant élémentaire est affecté un hyétogramme qui est celui de la station la plus proche de son centre de gravité.

- La méthode d'interpolation par pondération des distances : l'intensité au temps t est calculée au centre de gravité (x, y) de chaque bassin versant par l'expression :

$$I(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n (I_i / d_i^2)}{\sum_{i=1}^n (1 / d_i^2)}$$

Où

n : nombre de pluviomètres,

I_i : intensité de la pluie au pluviomètre i ,

d_i : distance entre le centre de gravité (x, y) du bassin versant et le pluviomètre i .

The image shows two windows from a software application. The top window, titled 'Bibliothèque des événements pluvieux', contains a table with the following data:

	Id. de l'événement pluvieux	Désignation de l'événement	Méthode d'interpolation	Editer les courbes H(t)
1	PR_1	pluie réelle	1. Thiessen	Editer...

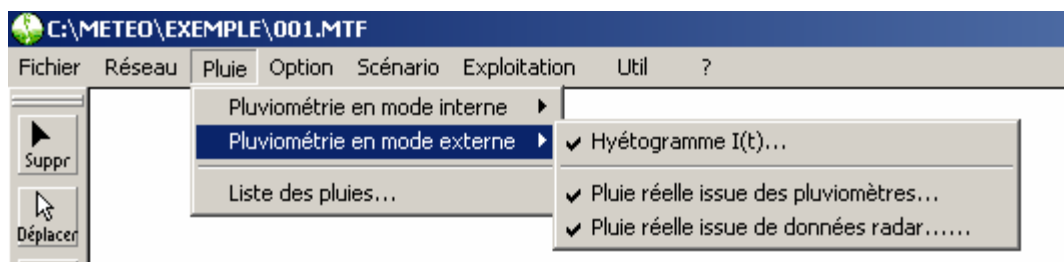
The bottom window, titled 'Événement PR_1 - courbe des hauteurs cumulées H(t)', contains a table with the following data:

H(t)	Temps (mn)	H(t) du pluvio Plu_1	H(t) du pluvio Plu_2	H(t) du pluvio Plu_3	H(t) du pluvio Plu_4
1	Etat pluvio ->	<input checked="" type="checkbox"/> marche	<input checked="" type="checkbox"/> marche	<input checked="" type="checkbox"/> marche	<input checked="" type="checkbox"/> marche
2	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
3	5.00	0.00	10.00	2.00	5.00
4	10.00	2.00	10.20	2.50	5.20
5	15.00	2.30	10.25	2.60	5.30
6	20.00	2.80	10.26	3.00	5.40

Pour définir une pluie, l'utilisateur doit rentrer pour chaque pluviomètre la courbe $H(t)$ des hauteurs cumulées en fonction du temps. La case à cocher « marche » permet d'activer ou non le pluviomètre. Lorsqu'il n'est pas activé les données concernant celui-ci sont ignorées pour le calcul de l'intensité de la pluie sur les bassins versants.

Utiliser les menus **Ajouter**, **Insérer** et **Supprimer** pour ajouter, insérer ou supprimer une ligne. Cliquer sur **Visu** pour visualiser les courbes rentrées. Cliquer sur **Valider** pour enregistrer les données et sur **Fermer** pour fermer la fenêtre sans enregistrer les modifications.

3.6.3 En mode externe : pluies de projet



- Pluie de projet définie par un hyéogramme I(t)

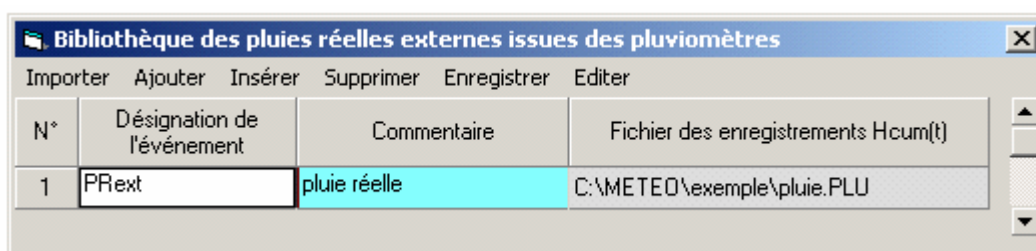


Double-cliquer sur Parcourir ou sur le nom du fichier pour localiser le fichier externe. Le format du fichier externe est décrit en annexe 3. L'identifiant de la pluie doit figurer une seule fois dans le fichier externe.

Le menu **Importer** permet d'importer une série de pluies de projet synthétiques stockées dans un même fichier externe.

3.6.4 En mode externe : pluies réelles

- Pluie réelle à partir de données de pluviomètres



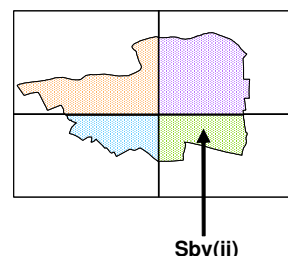
Double-cliquer sur Parcourir ou sur le nom du fichier pour localiser le fichier externe. Le format du fichier externe est décrit en annexe 3. L'identifiant de la pluie doit figurer une seule fois dans le fichier externe.

Le menu **Importer** permet d'importer une série de pluies réelles issues de données pluviographiques stockées dans un même fichier externe.

- Pluie réelle à partir de données radar

L'intensité de pluie $h_{bv}(j)$ affectée à chaque bassin versant j est déduite de celle des mailles radar $H(i)$ par pondération des surfaces élémentaires issues de l'intersection entre les bassins versants et les mailles radar $S_{bv}(ij)$.

$$h_{bv}(j) = \frac{\sum_{i=1}^{i=M} H(i) * S_{bv}(ij)}{\sum_{i=1}^{i=M} S_{bv}(ij)}$$



avec M = nombre de mailles intersectées par le bassin versant j

Bibliothèque des événements pluvieux de source radar				
Ajouter Insérer Supprimer Enregistrer Fermer				
N°	Désignation de l'événement	Commentaire	Fichier des surfaces actives des sous-BV découpés	Fichier des hyétogrammes des mailles radars (*.PRF)
1	RAD_1	RAD_1	C:\METEO\exemple\xy.crb	C:\METEO\exemple\pluie.prf

Pour paramétrer ce type de pluie il faut disposer :

- d'un fichier définissant pour chaque bassin versant la répartition de sa surface entre les M mailles intersectées par le bassin versant. Le format de ce fichier (*.CRB) est décrit en annexe au paragraphe 3.
- d'un fichier des données pluviométriques donnant au pas de temps de 5 min l'intensité de la pluie en mm/h sur chaque maille radar où la lame d'eau est non nulle. Le format de ce fichier (*.PRF) est décrit en annexe au paragraphe 3.

Double-cliquer sur Parcourir ou sur le nom du fichier pour localiser les fichiers *.CRB et *.PRF.

3.6.5 Liste des pluies

Permet de visualiser la liste de toutes les pluies paramétrées par l'utilisateur tous types confondus :

Liste des pluies			
	Identifiant de la pluie	Libellé de la pluie	Mode externe
1	PR_1	pluie réelle	
2	CAQ_1	pluie Caquot 1	
3	PST_1	pluie simple triangle 1	
4	PDT_1	pluie double triangle 1	
5	PIT_1	pluie hyétogramme	
6	PHext	pluie hyétogramme	x
7	RAD_1	RAD_1	x
8	PRext	pluie réelle	x

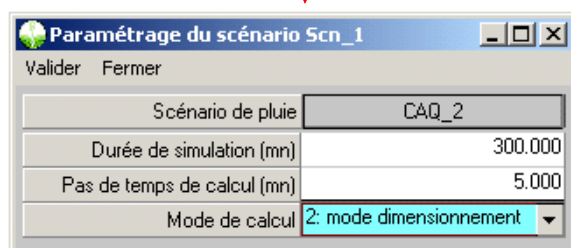
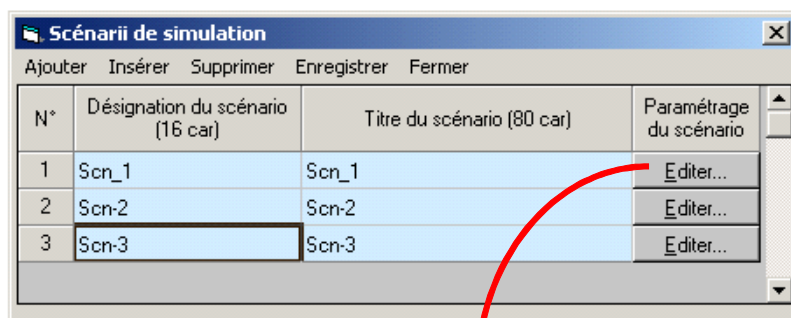
3.7 ETAPE 7 : GENERER LE MODELE ET EXECUTER LES CALCULS

Avant de lancer les modules de calcul, le menu **Exploitation / Cohérence des données**, permet de détecter les éléments sources d'erreur : éléments orphelins, éléments posés en double en un même point, données interdites (diamètre nul, obligation de condition limite aval).

3.7.1 Paramétrage d'un scénario de simulation

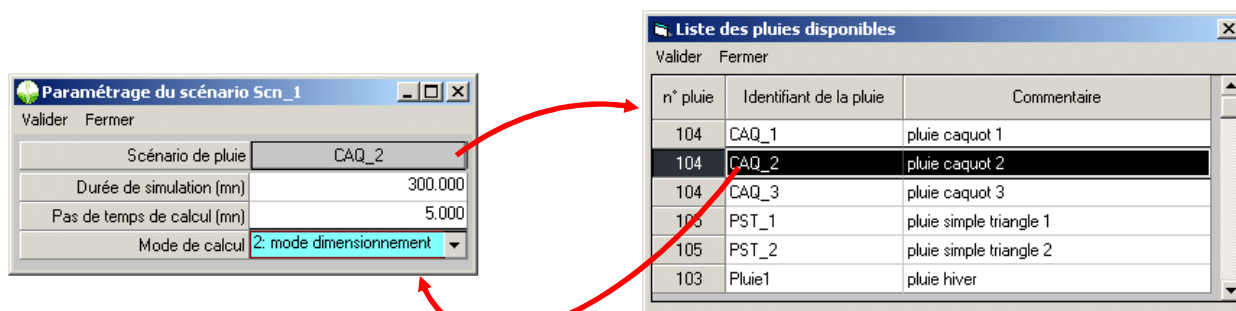
Les scénarii de simulation sont paramétrés grâce au menu **Scénario / Paramétrage d'un scénario de simulation**.

A partir de la liste des scénarii de simulation, cliquer sur Ajouter, Insérer ou Supprimer pour ajouter, insérer ou supprimer une nouvelle ligne. A chaque ligne correspond un scénario. Pour modifier la désignation ou le titre du scénario, double-cliquer dans la case souhaitée. Tous les scénarii de simulation sont enregistrés dans le même fichier .MTF.



Pour modifier un scénario, cliquer sur Editer dans la ligne correspondante.

Choisir la pluie en cliquant sur l'identifiant de la pluie pour obtenir la liste des pluies. Double-cliquer ensuite sur la pluie souhaitée.



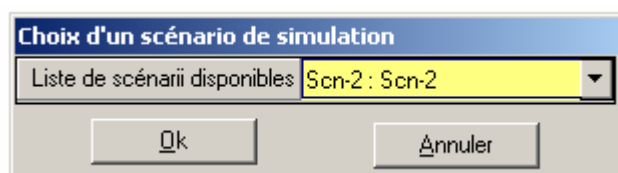
Double-cliquer pour choisir la pluie

Choisir la durée de simulation ainsi que le pas de temps de calcul en tapant les valeurs souhaitées dans les cellules correspondantes.

Choisir enfin le mode de calcul avec le menu déroulant : le mode diagnostic permet de mettre en évidence les insuffisances du réseau, le mode dimensionnement permet de mettre en évidence les insuffisances du réseau et propose un nouveau dimensionnement adéquat.

3.7.2 Choix du scénario de simulation

Menu **Scénario** / **Choix d'un scénario de simulation** :



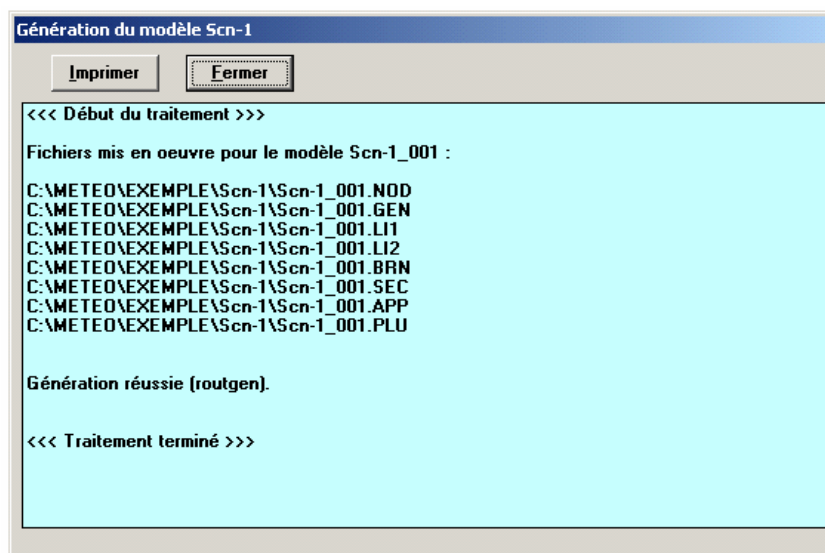
Choisir dans le menu déroulant parmi les scénarios existants le scénario à simuler.

3.7.3 Génération du modèle

Menu **Scénario** / **Génération du modèle...**

Ce menu lance le module ROUTGEN qui effectue les tâches suivantes :

- contrôle de la cohérence des données,
- génération des hydrogrammes d'entrée issus du ruissellement sur les bassins versants,
- génération du modèle hydraulique.

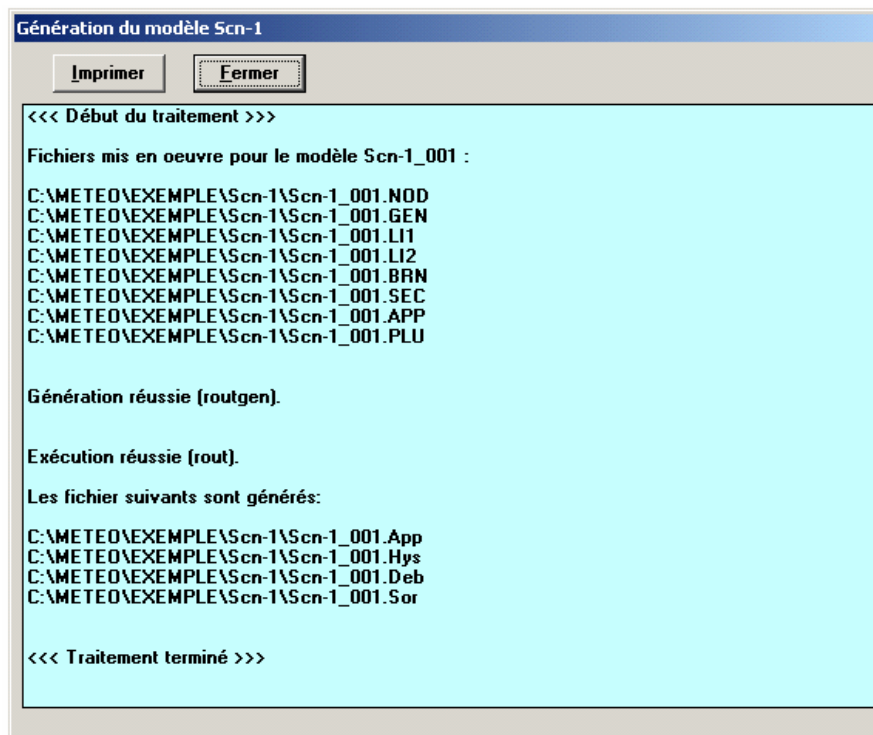


En cas d'anomalie détectée, le programme arrête l'exécution et écrit un message d'erreur à l'écran. Ce message est également stocké dans le fichier YYY.ERR.

Il est possible à l'issue de cette étape de calculs, de consulter les hydrogrammes d'apports dans les réseaux générés à partir des données pluviométriques.

3.7.4 Génération du modèle et exécution

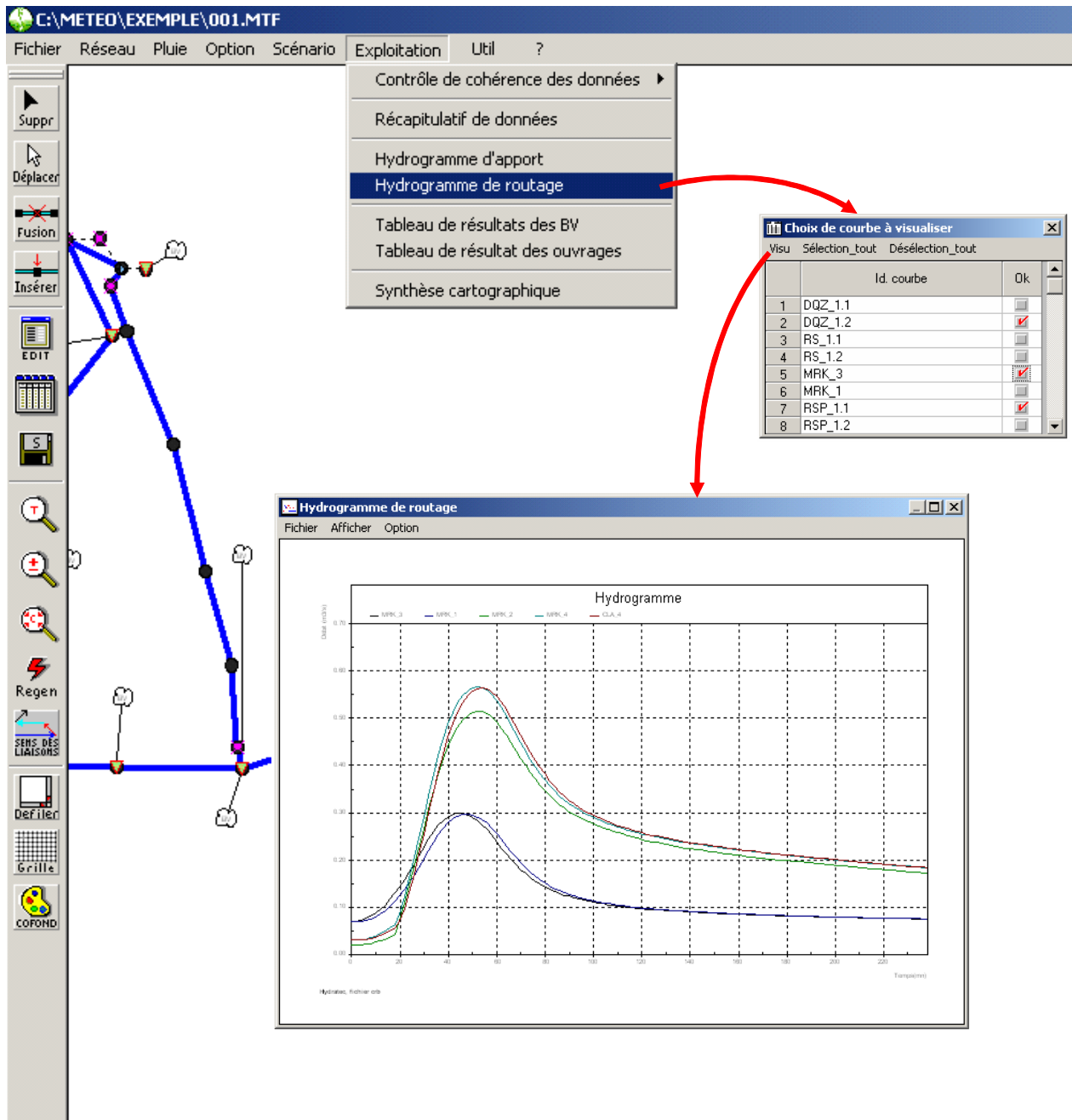
Le menu **Scénario / Génération du modèle + exécution** lance successivement les modules ROUTGEN et ROUT et fournit tous les résultats issus de la simulation.



3.8 ETAPE 8 : EXPLOITER LES RESULTATS

3.8.1 Hydrogrammes d'apport et Hydrogrammes de routage

L'activation des menus **Exploitation / Hydrogrammes d'apport et Hydrogrammes de routage** permet de tracer les hydrogrammes calculés à tous les nœuds occupés par une singularité via un grapheur intégré à l'interface.



3.8.2 Tableau de résultat des bassins versants et Tableau de résultat des ouvrages

L'activation des menus **Exploitation / Tableau de résultat des bassins versants** et **Tableau de résultat des ouvrages** permet de visualiser les résultats synthétiques, regroupés par type d'élément : bassins versants, collecteurs, singularités hydrauliques.

Ces résultats sont visualisés à l'aide de l'utilitaire WORDPAD : ils peuvent en conséquence être imprimés ou sauvegardés dans le format sélectionné par l'utilisateur, à l'aide des commandes disponibles dans WORDPAD.

(Voir paragraphe 5.5).

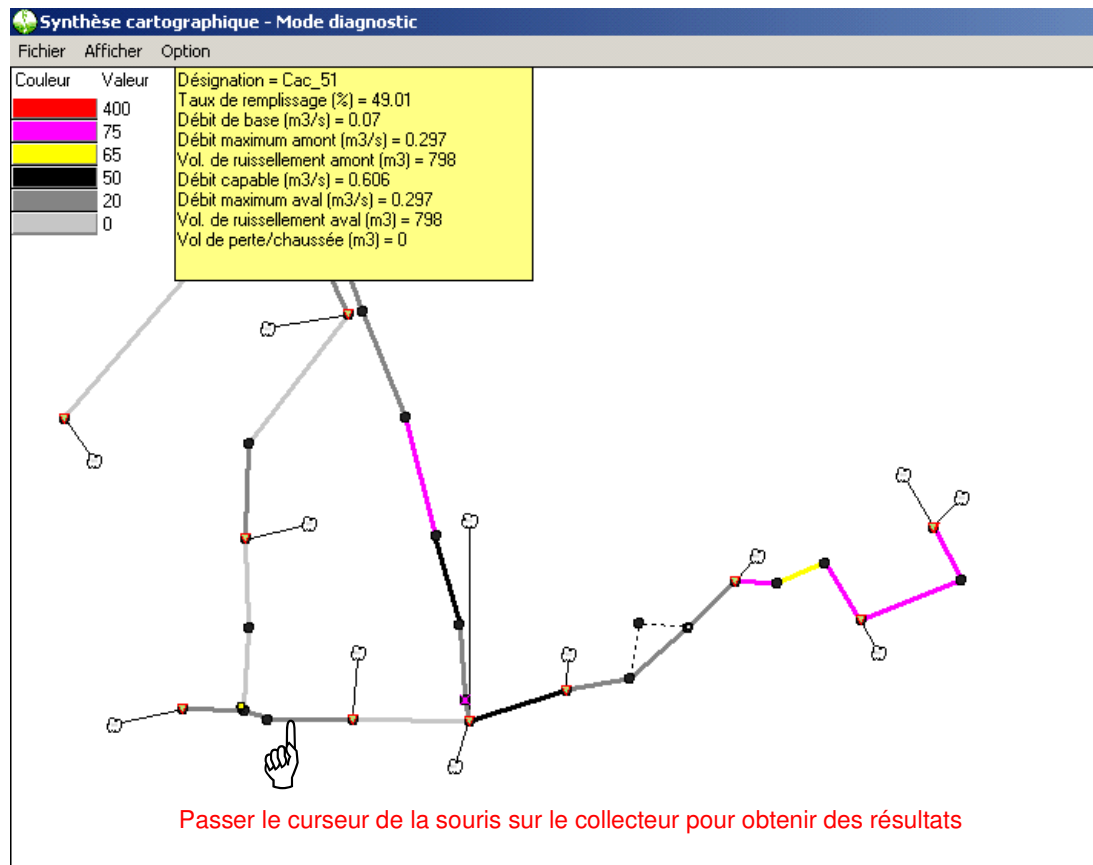
3.8.3 Synthèse cartographique

Activer le menu **Exploitation / Synthèse cartographique**.

En mode diagnostic : l'état de saturation du réseau (en termes de pourcentage de dépassement du débit capable) est affiché graphiquement via un jeu de couleurs.

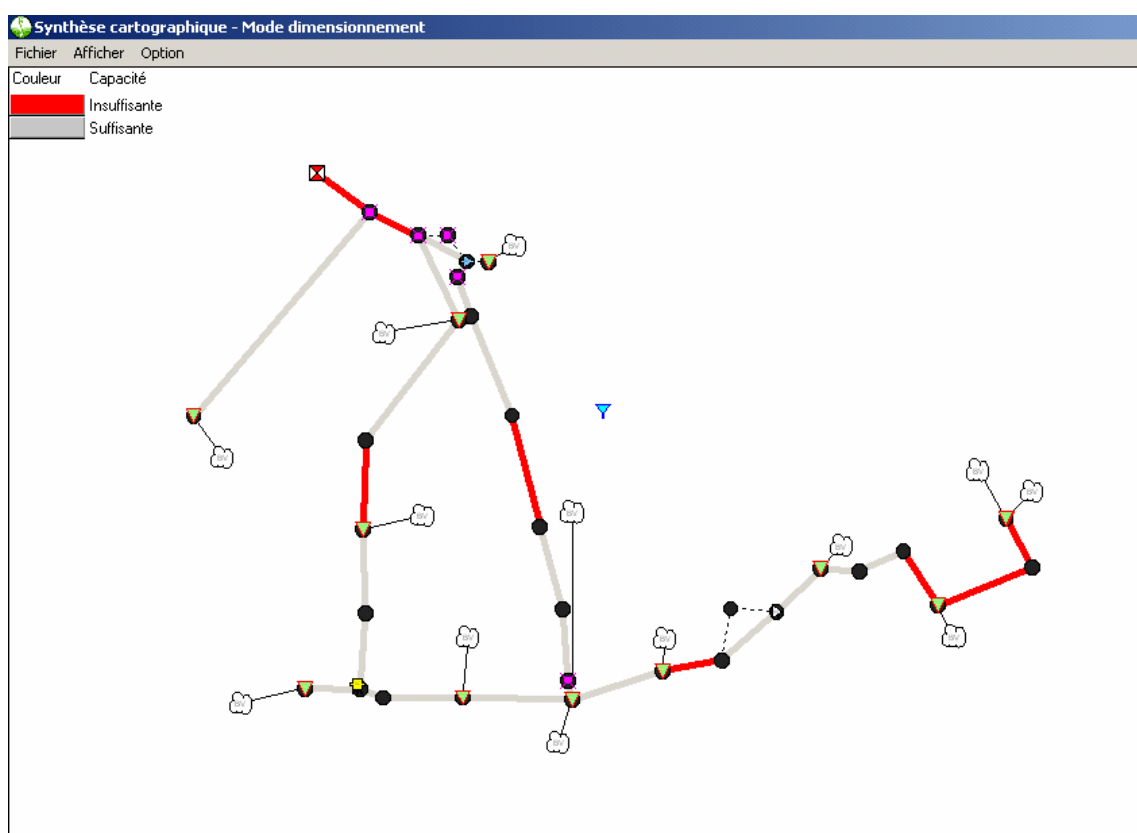
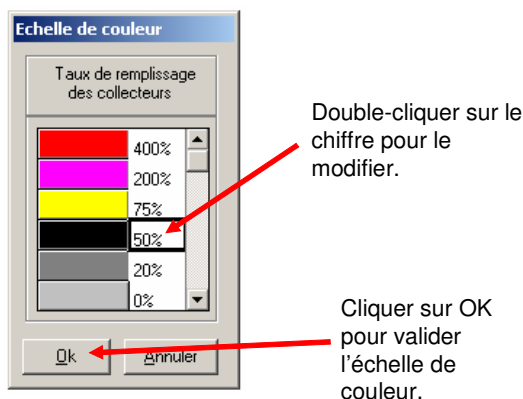
En mode dimensionnement : la nécessité ou non de redimensionner les collecteurs est indiquée par un code de deux couleurs.

Dans la fenêtre Synthèse cartographique, le menu Infobulle permet de consulter les résultats synthétiques de tous les éléments. Après avoir activé l'option Infobulle (menu **Option / Infobulle**), passer le curseur de la souris sur l'élément pour voir apparaître contextuellement les résultats.



Exemple de synthèse cartographique en mode diagnostic.

Le menu **Option / Echelle de couleur** permet de modifier le code couleur des taux de remplissage : changer les bornes de définition et les couleurs en double-cliquant sur les valeurs existantes des bornes. Valider les nouvelles bornes en tapant Entrée puis OK.



Exemple de carte de synthèse en mode dimensionnement.

Le menu **Fichier / Enregistrer** sous permet d'exporter la synthèse cartographique au format « .emf ». Elle peut ainsi être insérée dans un document texte comme une image.

Le menu **Afficher** permet de changer le zoom.

3.8.4 Exportation des hydrogrammes résultats

En cochant l'option Export de l'hydrogramme des éléments CLAV et Marqueurs de points de sortie, METE-EAU sauvegarde les hydrogrammes concernés dans un fichier `YYY.EXT`, son format est décrit en annexe au paragraphe 5.

4 NOTICE TECHNIQUE : METHODES DE CALCUL MISES EN ŒUVRE

Une simulation est articulée autour de trois étapes successives :

- Le calcul du hyétogramme moyen précipité à l'échelle du bassin versant élémentaire,
- Le calcul de l'hydrogramme ruisselé à l'exutoire d'un sous-bassin versant et intercepté par le réseau,
- Le calcul des hydrogrammes propagés le long du réseau.

4.1 CALCUL DU HYETOGRAMME MOYEN PRECIPITE

METE-EAU permet de simuler 6 types de pluies différents. Les hyétogrammes résultants pour chacune des pluies sont définis au paragraphe 3.6.

4.2 CALCUL DE LA PLUIE NETTE

La pluie nette, c'est-à-dire la hauteur de la lame d'eau qui ruisselle, peut être calculée suivant 4 méthodes dans METE-EAU :

- modèle Horner,
- modèle Holtan,
- coefficient de ruissellement constant,
- méthode SCS.

Le choix de la méthode dépend de l'objectif de modélisation suivi, le type de sol, l'existence ou non de données de calage.

4.2.1 *Modèle Horner*

L'évolution au cours du temps des pertes liées au taux d'imperméabilisation constaté à la surface du bassin versant, s'écrit :

$$C_p(t) = \alpha * \exp^{-\beta * P_a(t)}$$

$C_p(t)$ = coefficient de perte durant un pas de temps dt

$P_a(t)$ = pertes cumulées depuis le début de l'averse (mm)

α et β sont les paramètres du modèle, fonction des caractéristiques du bassin versant. Le coefficient α exprime les pertes globales au début de l'averse (évapotranspiration et infiltration), alors que β croît avec le taux d'imperméabilisation.

Théoriquement, les coefficients α et β varient d'un bassin versant à l'autre pour une même zone d'étude. D'où la nécessaire étude de calage sur un certain nombre de bassin versant expérimentaux pour en déduire les valeurs moyennes applicables à l'ensemble des bassins versants de la zone d'étude.

On peut citer, à titre indicatif, une étude de calage du modèle effectuée sur les réseaux du Val-de-Marne, qui a donné :

$$\alpha = 0,60 \text{ et } \beta = 0,118$$

La lame d'eau qui ruisselle $Q_e(t)$ est reliée à l'intensité de la pluie $i(t)$ et au coefficient de perte C_p par l'expression :

$$Q_e(t) = C_{imp} * S * (1 - C_p) * i(t) * \frac{1}{360}$$

$Q_e(t)$: exprimé en m^3/s

C_{imp} : coefficient d'imperméabilisation

$i(t)$: intensité de la pluie en mm/h

S : surface du bassin versant en ha

4.2.2 Modèle Holtan

Les pertes au cours du temps par infiltration sont données par :

$$f(t) = F_c + A \cdot \left[1 - \frac{L(t)}{T} \right]^K$$

$f(t)$: vitesse d'infiltration dans le sol à l'instant t (mm/h)

$L(t)$: cumul des lames d'eau infiltrées jusqu'à l'instant t depuis le début de l'averse (mm)

F_c : vitesse d'infiltration de saturation (mm/h)

A : vitesse d'infiltration à sec (mm/h)

T : capacité de stockage potentiel du sol (mm)

K : paramètre du modèle pris égal à 0,7

Les coefficients F_c , A et T font partie des caractéristiques de chaque bassin versant.

Pour les bassins versants ruraux, au taux d'imperméabilisation inférieur à 20 %, on peut avancer les fourchettes de valeurs suivantes :

$$F_c = 2 \text{ à } 5 \text{ mm/h}$$

$$A = 10 \text{ à } 50 \text{ mm/h}$$

$$T = 10 \text{ à } 100 \text{ mm/h}$$

De bons calages ont été obtenus avec cette méthode au cours d'études récentes sur des bassins versants naturels de quelques milliers d'hectares.

Avec ce module, les pertes sont appliquées à la surface totale du bassin versant. La lame d'eau qui ruisselle est donnée par l'expression :

$$Q_e(t) = S * [i(t) * f(t)] * \frac{1}{360}$$

4.2.3 Méthode du coefficient de ruissellement constant

La lame d'eau $Q_e(t)$ est reliée à tout instant à l'intensité de la pluie brute $i(t)$ par :

$$Q_e(t) = C_r * i(t) * \frac{1}{360}$$

où le coefficient de ruissellement C_r est constant.

Dans le cas de pluies de projet, il est recommandé de choisir C_r égal au coefficient d'imperméabilisation.

Dans le cas de pluies réelles, il faut distinguer deux cas :

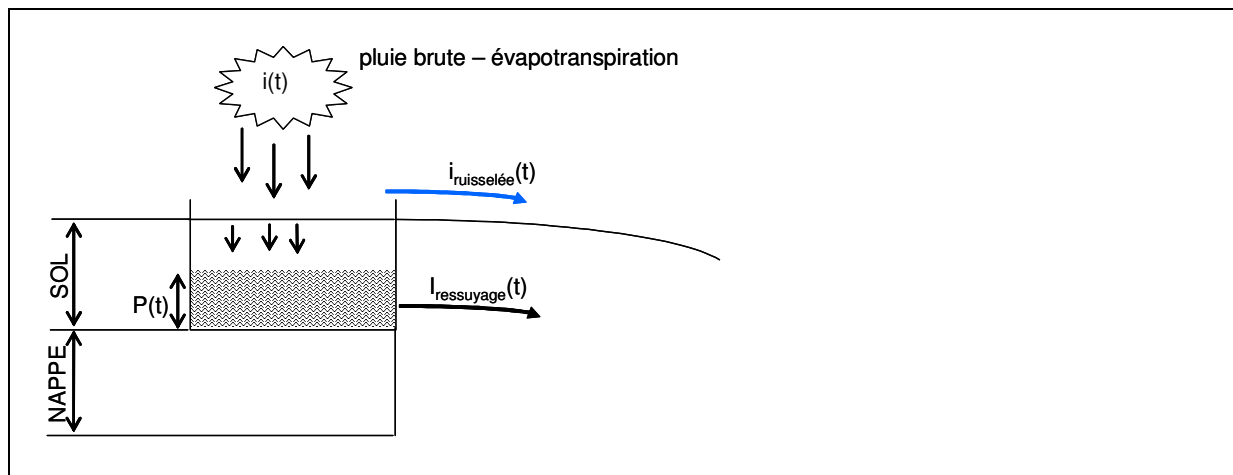
- Si les bassins versants sont urbanisés le coefficient de ruissellement reste généralement très inférieur au coefficient d'imperméabilisation, le rapport C_r/C_{imp} peut typiquement varier entre 0,4 et 1,0 selon l'importance de l'épisode pluvieux. La méthode Horner donne des résultats satisfaisants à condition de pouvoir calculer les coefficients sur des enregistrements pluviométriques.
- Si le bassin versant est de type rural, aucune règle ne peut fournir d'estimation pour C_r , il faut disposer de mesures pour caler ce coefficient.

4.2.4 Méthode SCS modifiée

4.2.4.1 Principe de la méthode

Cette méthode, proposée à l'origine par le « Soil Conservation Service » n'est applicable que pour des bassins versants ruraux.

Le modèle de production de la pluie nette est illustré par le schéma suivant :



La hauteur cumulée de lame d'eau ruisselée entre les instants 0 et t est donnée par :

$$R(t) = \frac{P(t) - 0,2 J}{P(t) + 0,8 J}$$

Où J est la hauteur d'interception potentielle en mm et P(t) est la hauteur de lame d'eau accumulée dans la couche superficielle du sol.

Lorsque $P(t) < 0,2 J$ on choisit $R(t) = 0$ (pas de ruissellement)

Le calcul de l'intensité nette $i_{\text{ruisselée}} = i_r(t)$ s'effectue comme suit :

$$i_r(t) = \frac{dR}{dt} = \frac{(P - 0,2 J) \times (P + 1,8 J)}{(P + 0,8 J)^2}$$

La hauteur P(t) est réactualisée comme suit :

$$\frac{dP}{dt} = i - i_{\text{ressuyage}} - \frac{dR}{dt}$$

$i_{\text{ressuyage}}$ est une vitesse d'infiltration dans la nappe, proportionnelle à la charge P(t).

$$i_{\text{ressuyage}} = \frac{P(t)}{T_n} \quad \text{où } T_n \text{ est un temps de ressuyage exprimé en jours.}$$

Dans la méthode SCS originelle, $i_{\text{ressuyage}}$ est mis à zéro. Ce paramètre a été introduit dans le cas d'une simulation de longue durée (plusieurs jours) dans laquelle le ressuyage de sols entre deux séquences pluvieuses peut être significatif.

4.2.4.2 Remarque sur la méthode SCS

Le SCS propose une table de valeurs pour J, en fonction de la capacité d'infiltration du sol et du type de couvert végétal.

Cette méthode a été mise au point pour estimer le ruissellement total d'une pluie journalière de période de retour donnée. L'utilisation de cette méthode pour bâtir des hydrogrammes,

s'avère délicate et ne se justifie que si l'on dispose de données in situ pour caler le paramètre J.

Le modèle Holtan qui s'applique également à des bassins versants ruraux, donne généralement des résultats plus satisfaisants.

4.3 CALCUL DU RUISSELLEMENT

La transformation pluie nette - débit peut être calculée suivant deux méthodes :

- méthode du réservoir linéaire,
- méthode de l'hydrogramme unitaire de type SOCOSE.

Pour la première, le temps de réponse K du bassin versant est donné par l'utilisateur ou calculé à partir d'une des méthodes disponibles dans la littérature, à savoir : celle de Desbordes pour les bassins versants urbains, celle de Passini ou Gandiotti pour les bassins versants ruraux.

Pour la deuxième, le temps de concentration du bassin versant Tc est donné par l'utilisateur.

4.3.1 Méthode du réservoir linéaire

4.3.1.1 Principe de la méthode

La transformation pluie-débit est basée sur le principe de l'analyse du système. Dans le cas du ruissellement, le système considéré est un « bassin versant » : l'entrée du système est l'hyétochrome des pluies nettes et la sortie, l'hydrogramme du bassin versant.

Le bassin versant est vu comme un **réservoir qui temporise** l'arrivée des pluies pour en restituer du débit tout en **conservant** le volume. En outre, cette temporisation s'effectue d'une manière **linéaire**.

4.3.1.2 Equations

Ces deux notions, temporisation linéaire et conservation, se traduisent par les équations suivantes :

- Temporisation linéaire : $V(t) = K.Q_s(t)$
- Conservation du volume : $\frac{dV(t)}{dt} = Q_e(t) - Q_s(t)$

dans lesquelles :

$V(t)$ = volume de stockage

$Q_e(t)$ = débit d'entrée déduit de la pluie nette $i(t)$

$Q_s(t)$ = débit de sortie, hydrogramme de bassin versant

K = coefficient de linéarité de la temporisation, homogène au temps. On l'appelle en général le temps de réponse des bassins versants (Lag Time). Il est défini comme étant la durée

comprise entre le centre de gravité de l'hyétogramme d'entrée et celui de l'hydrogramme de sortie.

Les intégrales des équations précédentes deviennent :

$$Q_s(t) = Q_0 \cdot \exp\left(\frac{-(t - t_0)}{K}\right) + \frac{1}{K} \int_t^t Q_e(u) \cdot \exp\left(\frac{-(t - u)}{K}\right) \cdot du$$

où :

Q_0 = débit d'entrée à l'instant $t = 0$

Q_0 peut être différent de zéro, dans le cas où les effets des pluies antérieures ne sont pas négligeables.

Sous sa forme discrétisée au pas de temps dt , l'équation ci-dessous s'adapte plus facilement à la programmation informatique. Elle s'écrit simplement dans le cas où $Q_0 = 0$:

$$Q_s(t + dt) = C_1 \cdot Q_e(t + dt) + C_2 \cdot Q_e(t) + C_3 \cdot Q_s(t)$$

Avec :

$$C_1 = C_2 = \frac{dt}{2K + dt} \quad \text{et} \quad C_3 = \frac{2K - dt}{2K + dt}$$

4.3.1.3 Expressions numériques de K

Dans la méthode du réservoir linéaire, le seul paramètre de calage explicite est le coefficient K , correspondant au temps de réponse des bassins versants. Ce calage concerne essentiellement la pointe de l'hydrogramme de sortie : temps et débit de pointe.

Plusieurs expressions de K existent dans la littérature et varient d'un cas étudié à l'autre. Dans tous les cas, ces expressions sont complètement différentes selon que le bassin versant est du type « urbain » ou « rural ». Dans la pratique on parle de bassin versant rural quand son coefficient d'imperméabilisation est inférieur à 20 %.

❖ Bassins versants urbains

▪ Expression 1

$$K = K_0 \cdot A^{r_1} \cdot I^{r_2} \cdot (1 + C)^{r_3} \cdot L^{r_4} \cdot D^{r_5} \cdot H^{r_6}$$

Dans laquelle :

$K_0 = 5,07$	A = superficie du bassin versant en (ha)
$r_1 = 0,18$	I = pente équivalente du bassin versant en (%)
$r_2 = -0,36$	C = coefficient de ruissellement (sans dim)
$r_3 = -1,9$	L = longueur équivalente du bassin versant en (m)
$r_4 = 0,15$	D = durée de la pluie intense en (mn)
$r_5 = 0,21$	H = hauteur cumulée sur la durée D en (mm)
$r_6 = -0,07$	

Le domaine d'ajustement de la relation précédente est :

0,4 ha < A < 5000 ha
0,2 < C < 1,0
110 m < L < 17 800 m
0,2 % < I < 14,7 %
5 mn < D < 180 mn
5 mn < H < 240 mn

▪ *Expression 2*

$$K = 5,3 \cdot A^{0,3} \cdot I^{-0,38} \cdot C^{-0,45}$$

A = superficie du bassin versant en (ha)

I = pente du bassin versant en (%)

C = coefficient de ruissellement (sans dimension)

▪ *Expression 3*

$$K = 0,395 \cdot C^{-0,512} \cdot I^{-0,401} \cdot A^{-0,0076} \cdot (L/100)^{0,608}$$

C = coefficient de ruissellement (sans dimension)

I = pente en (m/m)

A = surface en (ha)

L = longueur bassin versant en (m)

▪ *Commentaires*

Dans METE-EAU seule l'expression 1 est proposée.

Les expressions 1 et 2 sont proposées par Desbordes, suite à l'étude de calage sur des mesures expérimentales. L'expression 1 représente une estimation affinée par rapport à l'expression 2, prenant en compte les paramètres (D, H). Desbordes recommande de sélectionner D = 15 min afin d'obtenir des débits de pointe sécuritaires et de rapprocher les résultats de ceux obtenus avec la méthode de calcul Caquot.

L'expression 3 représente un ajustement de l'expression K pour « coller » au mieux avec les débits de pointe obtenus avec la méthode Caquot. Cette expression n'est donc pas validée par des mesures in situ contrairement aux deux premières expressions.

Il est à noter que les 3 expressions donnent des débits de pointe systématiquement plus faibles que ceux de la méthode Caquot, les écarts relatifs étant plus faibles si on sélectionne la méthode 3.

❖ Bassins versants ruraux

Le programme propose deux formules de temps de concentration :

- *La formule de Giandotti*

$$T_c = 60 * \frac{0,4 \sqrt{S} + 0,0015 L}{0,8 \sqrt{P * L}}$$

avec :

T_c : temps de concentration en min

S : surface en ha

L : longueur du bassin en m

P : pente du bassin en m/m

- *La formule de Passini*

$$T_c = 0,14 \frac{(S * L)^{\frac{1}{3}}}{\sqrt{P}}$$

Le temps de concentration est défini comme le temps nécessaire à une particule d'eau pour parcourir le plus long chemin hydraulique depuis la limite du bassin jusqu'à l'exutoire.

On a admis que T_c est relié au temps de réponse K par la relation K = 0,8 T_c.

❖ Valeur de K imposée

Ce modèle permet d'imposer une valeur de K, dans le cas où on dispose de données de calage.

4.3.1.4 Estimation des paramètres morphologiques de chaque bassin versant

Quelle que soit la méthode utilisée, chaque bassin versant doit être caractérisé à l'aide des paramètres de base suivants :

S : surface totale du bassin versant (en ha)

L : longueur du plus long cheminement parcouru par l'eau

m : pente moyenne le long du plus long cheminement

C_{imp} : coefficient d'imperméabilisation

La pente moyenne doit être calculée le long du parcours hydrauliquement le plus long, suivant l'expression :

$$m = \left[\frac{\sum L_i}{\sum \frac{L_i}{\sqrt{m_i}}} \right]^2 \text{ et } L = \sum L_i$$

Le coefficient d'imperméabilisation est obtenu par pondération des surfaces élémentaires relatives à chaque type d'urbanisation.

On peut s'inspirer des valeurs guides suivantes :

- ♦ Urbanisation dense, centre ville sans espace vert : 0,8 à 0,9
- ♦ Zone industrielle : 0,7 à 0,8
- ♦ Zones d'habitats collectifs : 0,4 à 0,5
- ♦ Zones d'habitats individuels : 0,3 à 0,4
- ♦ Zones résiduelles : 0,2 à 0,30
- ♦ Zones rurales, jardins, parcs : 0,05

4.3.2 Méthode de l'hydrogramme unitaire

Le principe de la théorie de l'hydrogramme unitaire consiste à transformer chaque élément de ruissellement potentiel en un hydrogramme élémentaire et à sommer les différents hydrogrammes pour obtenir l'hydrogramme de crue.

L'hydrogramme unitaire retenu dans METE-EAU est celui proposé dans la méthode SOCOSE : la fonction de transfert est défini comme suit :

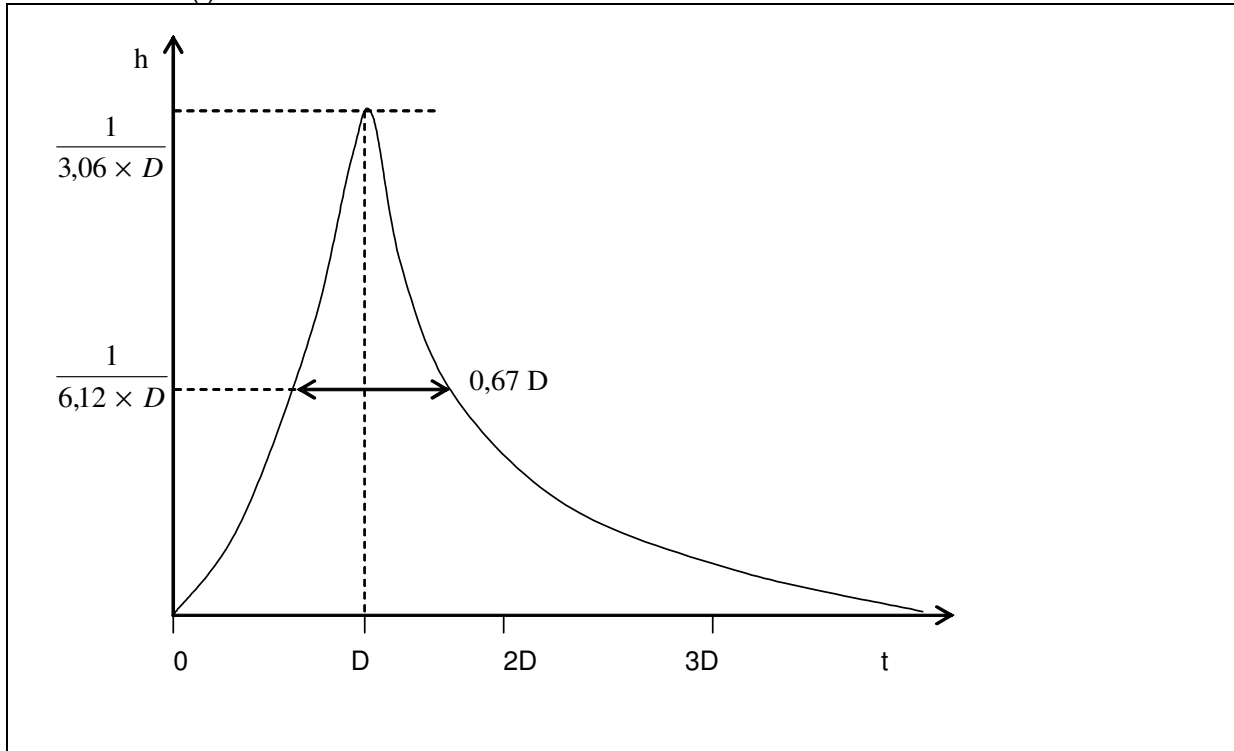
$$h(t) = \frac{1}{1,53 * D} * \frac{\left(\frac{t}{D}\right)^4}{1 + \left(\frac{t}{D}\right)^8}$$

où :

D = temps de réponse du bassin versant

On vérifie que : $\int_0^{\infty} h dt = 1$

La fonction $h(t)$ a l'allure suivante :



L'hydrogramme ruisselé à l'exutoire du bassin versant se calcule par convolution comme suit :

$$Q_{out}(t) = 3.6 * S \cdot \int_0^t h(\tau) \cdot i(t - \tau) \cdot d\tau \quad (\text{en m}^3/\text{s})$$

Où :

S : superficie du bassin versant en m^2

$i(t)$: hyétogramme de la pluie nette en (m/s)

La méthode SOCOSE ayant été mise au point pour les bassins versants ruraux, la méthode de l'hydrogramme unitaire s'applique plutôt pour ce type de bassins versants.

L'estimation de D peut se faire de plusieurs façons :

- à partir des mesures existantes, par lecture du décalage entre le centre de gravité des hyétogrammes de la pluie et du limnigramme mesuré à l'exutoire du bassin versant,
- par application de formules calées sur des bassin versant naturels : Giandotti ou Passini par exemple, en prenant bien conscience des risques d'imprécision associés à ces formules.

4.3.3 Méthode d'ajustement du coefficient K au modèle Caquot

Cette méthode est utilisée pour calculer les hydrogrammes résultants à l'exutoire des bassins versants lorsqu'une pluie de type Caquot est sélectionnée par l'utilisateur dans un scénario de simulation. Cet ajustement n'est utile que quand on s'intéresse au problème de dimensionnement réglementaire des ouvrages plutôt que celui du diagnostic d'un réseau.

Rappel de la formule de Caquot

La méthode superficielle de Caquot est décrite dans « Instruction Technique relative à l'Assainissement des Agglomérations du 22 juin 1977 ».

Les fondements de la formule sont rappelés ci-après.

La formule de Caquot est tirée de la formule rationnelle donnant le débit de pointe Q_T correspondant à une intensité moyenne $i(T, t_c)$, ajustée sur le temps de concentration du bassin versant :

$$Q_T = \frac{0,9 C}{6} * i(T, t_c) * A^{0,95} \quad \text{en m}^3/\text{s}$$

A : surface (ha)

i : intensité de la pluie (mm/min)

C : coefficient de ruissellement

$i(T, t_c)$ est donné par la formule d'ajustement de Montana :

$$i(T, t_c) = a(T) * t_c^{b(T)}$$

$a(T)$, $b(T)$: coefficients de Montana, définis pour une région et une période de retour donnée

t_c : temps de concentration en min

Le temps de concentration a été ajusté comme suit :

$$t_c = 0,5 * m^{-0,41} * A^{0,507} * Q_T^{-0,287}$$

m : pente moyenne du bassin versant (m/m)

A : surface en ha

En combinant les 3 expressions précédentes, on obtient :

$$Q_T = \frac{C}{6,6} * a * \left[0,5 * m^{-0,41} * A^{0,507} * Q_T^{-0,287} \right]^b$$

Soit en recombinaison :

$$Q_T = k^{1/u} * m^{v/u} * C^{1/u} * A^{w/u}$$

où :

$$k = \frac{a * (0,5)^b}{6,6}$$

$$u = 1 + 0,287 * b$$

$$v = - 0,41 * b$$

$$w = 0,95 + 0,507 \cdot b$$

Une correction doit être apportée au débit Q_T en fonction de la forme du bassin versant :

$$Q_T' = \gamma \cdot Q_T \quad \text{avec} \quad \gamma = \left(\frac{4A}{L^2} \right)^{0,3}$$

où :

L = longueur du plus grand parcours hydraulique le long du bassin versant en hectomètre

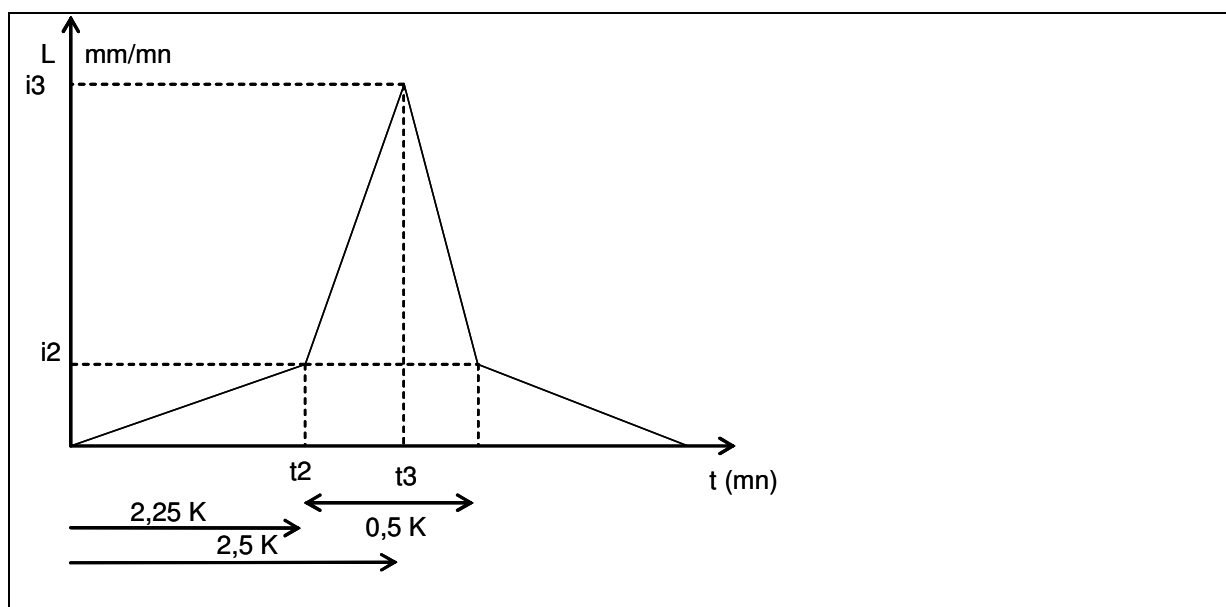
A = surface du bassin versant en ha

Méthode d'ajustement retenue

On adapte la méthode proposée par Thibaut et Chocat (INSA Lyon). Cette méthode repose uniquement sur la connaissance des coefficients de Montana (a , b).

▪ Première itération

- Le temps de réponse k est calculé par la formule de Desbordes,
- Si $k > 10$ min, on construit un hyétogramme de forme double triangle, défini comme suit :



Les paramètres t_2 , t_3 , i_2 , i_3 sont définis comme suit :

$$t_2 = 2,25 K$$

$$t_3 = 2,5 K$$

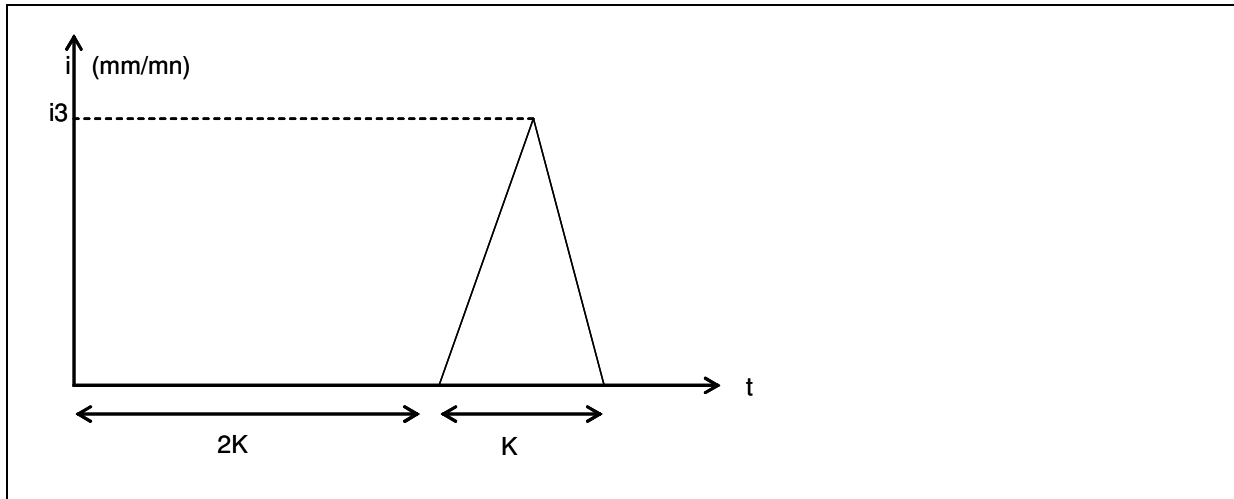
$$i_2 = (0,25 k)^b \left[\frac{1 - (0,1)^{b+1}}{0,9 (0,1)^b} \right] \cdot 2a \cdot 2^b \quad (\text{mm/min})$$

$$i_3 = (0,25 k)^b \left[\frac{1 - (0,1)^b - 1}{0,9 (0,1)^b} \right] \cdot 2a \cdot 2^b \quad (\text{mm/min})$$

On vérifie bien que la hauteur de précipitation correspondante est égale à :

$$H = \int_0^{5K} i \cdot dt = (5K) \cdot a \cdot (5K)^b$$

- si $k < 10$ min, on construit un hyétogramme de forme simple triangle, défini comme suit :



Avec $i3 = 2 a(K)^b$

On vérifie bien que la hauteur de précipitation est égale à :

$$H = K \frac{i3}{2} = K \cdot a(K)^b$$

On calcule le débit maximum Q_{max} engendré par cet hydrogramme à l'aide de la méthode du réservoir linéaire.

- *Itérations suivantes*

On compare Q_{max} et Q_{caq} , Q_{caq} étant le débit maxi donné par la méthode Caquot.

Si $(Q_{max} - Q_{caq}) < \varepsilon$: le calcul itératif s'arrête

Si $Q_{max} > Q_{caq} + \varepsilon$: K est incrémenté de dk et le hyétogramme est recalculé

Si $Q_{max} < Q_{caq} - \varepsilon$: K est décrémenté de la valeur dk et le hyétogramme est recalculé

Evaluation de la méthode

La génération d'hydrogrammes à l'aide de cette méthode est relativement artificielle car elle revient à ajuster un hyétogramme différent pour chaque bassin versant, de façon à ce que le débit de pointe de l'hydrogramme résultant soit égal au débit donné par la méthode Caquot.

Cette méthode s'avère néanmoins très utile pour dimensionner des réseaux neufs, car elle est totalement cohérente avec la réglementation en vigueur.

Rappelons que la méthode Caquot est applicable pour des bassins versants élémentaires tels que :

$$C > 0,2$$

$$A < 200 \text{ ha}$$

4.4 CALCUL DU ROUTAGE

La structure du réseau modélisé dans METE-EAU est nécessairement arborescente. Les calculs de routage sont effectués de l'amont vers l'aval, suivant une table d'opération générée par METEOGEN. En chaque point, l'hydrogramme aval est calculé à partir de l'hydrogramme amont et de la loi de transformation du module en cours de traitement.

On distingue :

- le routage de chaque hydrogramme entre l'exutoire du bassin versant élémentaire et le point d'injection dans le réseau,
- les routages hydrauliques.

Les modules hydrauliques disponibles dans METE-EAU peuvent être répartis en trois groupes homogènes :

- les tronçons de collecteurs,
- les dérivations,
- les bassins de retenue.

4.4.1 ***Routage entre l'exutoire du bassin versant et le point d'injection dans le réseau***

Le routage (ROUT) de chaque hydrogramme entre l'exutoire du bassin versant élémentaire et le point d'injection dans le réseau principal est décrit par la théorie de l'onde cinématique, dans le cas d'un réseau urbain et structuré par des collecteurs.

Sous forme discrétisée, la variation de débit au point aval ΔQ_C est reliée à la variation de débit au point amont ΔQ_A par la relation :

$$\Delta Q_C = \left(\frac{2.C.\theta.dt - dx}{2.C.\theta.dt + dx} \right) \Delta Q_A - \left[\frac{2.C.dt (Q_C - Q_A)}{2.C.dt + dx} \right]$$

avec :

dt : pas de temps

C : célérité de l'onde

dx : longueur du tronçon élémentaire, choisi égal à 300 m

θ : paramètre d'intégration numérique choisi égal à 0,55

Moyennant quelques hypothèses, la célérité c (m/s) est approximée par la relation :

$$c = 40 \text{ m}^{1/2} \cdot S^{1/3}$$

où :

m : pente moyenne du collecteur en m/m

S : section à pleine charge en m²

Dans le cas de tronçons hétérogènes, les paramètres d'entrée doivent être calculés comme suit :

$$m = \left[\frac{L}{\sum \frac{L_i}{\sqrt{m_i}}} \right]^2 \quad \text{avec } L = \sum L_i \quad \text{et } S = \sum S_i$$

4.4.2 Tronçons de collecteurs

▪ Cas d'un collecteur fermé

Le débit capable d'un collecteur est donné par :

$$Q_{\text{cap}} = k.m.S.R^{2/3}$$

k : coefficient de Strickler

m : pente du collecteur

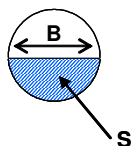
S, R : section et rayon hydraulique à pleine charge

Remarque : si pour un tronçon $m < 0$ c'est-à-dire si le réseau présente une contre-pente, les calculs de routage sont effectués avec une pente fictive de 0.5‰ pour le tronçon concerné.

On distingue deux régimes d'écoulements, selon que le débit $Q(t)$ est inférieur ou non au débit capable :

- Dans le premier cas, l'équation de transport est approximée par une équation d'onde diffusive en supposant le régime quasi uniforme à tout instant :

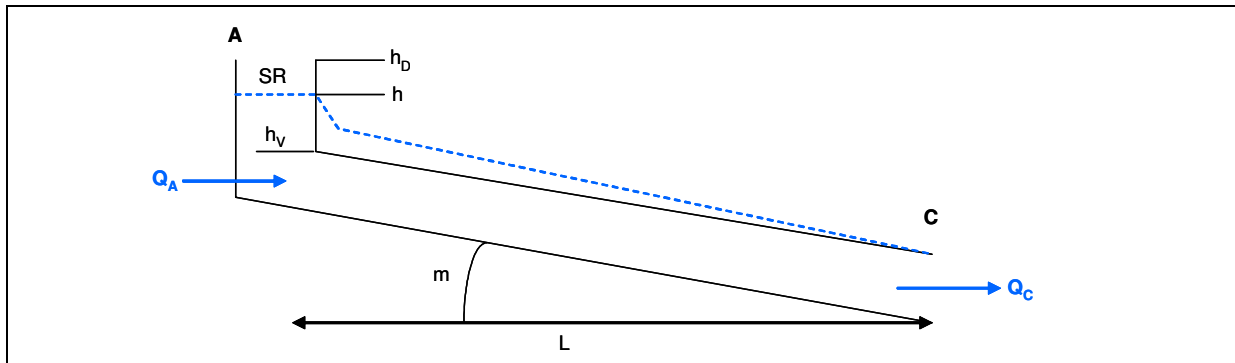
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + C \cdot \frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \quad \text{avec } C : \text{célérité} = \frac{\partial Q}{\partial S} \quad \text{et } D : \text{diffusivité} = \frac{Q}{2.m.B}$$



C et D sont recalculés à chaque pas de temps en fonction du débit.

- Dans le second cas, on utilise une formulation couplée réservoir – écoulement en charge, permettant dans une certaine mesure, de reproduire les limitations de débits

suite à une mise en charge et même les pertes par débordement sur chaussée. Le réservoir fictif SR du collecteur permet de simuler les capacités de stockage offertes par les regards au-dessus de la voûte ou par les collecteurs amont.



Equations mises en œuvre :

$$(1) \quad Q_A(t) - Q_C(t) = SR \cdot \frac{dh}{dt} + Q_D$$

$$(2) \quad h - h_v = \left(\frac{Q}{Q_{cap}} - 1 \right)^2 * \left[m \cdot L + \left(\frac{Q_{cap}}{m \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^2 \right]$$

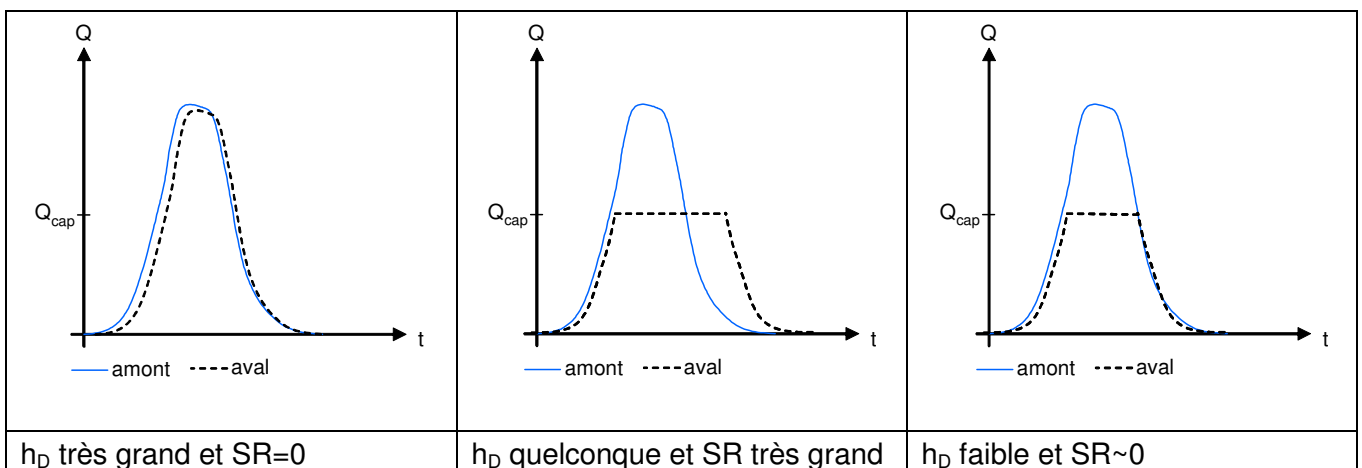
le terme Q_D représente le débit de perte sur chaussée, il est défini par :

- $Q_D = 0$ si $h < h_D$ avec h_D : hauteur (TN->radier collecteur)
- $Q_D = \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot L_D \cdot (h - h_D)^{3/2}$ si $h > h_D$ avec $\mu = 0.6$ et $L_D = 10$ m (largeur de déversement fictive)

NB : Lorsque la hauteur de couverture du collecteur est rentrée comme égale à zéro on considère que la hauteur de couverture est infinie et qu'il n'y a pas de débordements possibles.

Le choix par l'utilisateur du couple de valeurs (h_D , SR) permet de simuler de façons très diverses l'effet de mise en charge sur la déformation de l'hydrogramme entre A et C :

- h_D très grand et SR=0 : pas de laminage
- h_D quelconque et SR très grand : laminage maximum sans perte de volume
- h_D faible et SR~0 : laminage maximum avec pertes



SR peut être quelconque, en pratique si l'on veut simuler l'effet capacitif du réseau amont on peut sélectionner les critères suivants : $SR \sim S_{am}/m_{am}$ avec S_{am} section caractéristique des collecteurs amont et m_{am} pente caractéristique des collecteurs amont.

▪ Cas d'un canal avec lit majeur latéral

Le débit capable d'un tronçon est donnée par :

$$Q_{cap} = k_m \cdot m \cdot S \cdot R^{2/3}$$

k_m : coefficient de Strickler du lit mineur

m : pente du tronçon

S, R : section et rayon hydraulique correspondant au débit de débordement.

- Lorsque le débit $Q(t)$ est inférieur au débit capable, l'équation de transport est régie par l'équation de l'onde diffusive pour le lit mineur seul. C'est la même procédure que pour le calcul de routage dans les collecteurs fermées.
- Dans le cas contraire, l'équation de l'onde diffusive est appliquée au couple lit mineur – lit majeur, cette méthode permettant de bien reproduire la déformation de l'onde de crue par le lit majeur.

On suppose que le régime est proche du régime uniforme à tout instant et les équations mises en œuvre sont :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + C_M \cdot \frac{\partial Q}{\partial x} = D_M \cdot \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2}$$

$$\text{avec } C_M = \frac{\partial Q}{\partial S_M} = C_M(Q)$$

$$\text{et } D_M = \frac{Q}{2 \cdot m \cdot B} = D_M(Q)$$

C_M et D_M sont évalués en supposant que le débit est à tout instant donné par l'expression :

$$\frac{Q}{\sqrt{m}} = k_m \cdot R_m^{2/3} \cdot S_m + k_M \cdot R_M^{2/3} \cdot S_M$$

m : pente du collecteur

k_m : coefficient de Strickler du lit mineur

S_m, R_m : section mouillée et rayon hydraulique du lit mineur

$R_m \sim S_m/P_o$ avec P_o le périmètre mouillé à plein bord pour le lit mineur

k_M : coefficient de Strickler du lit majeur

S_M, R_M : section mouillée et rayon hydraulique du lit majeur

$R_M \sim$ hauteur d'eau dans le lit majeur

4.4.3 Dérivations

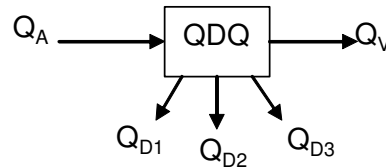
Deux modules sont disponibles :

- la loi de partage débit – débit,
- la loi de partage cote – débit.

▪ Loi de partage débit – débit

La singularité se compose :

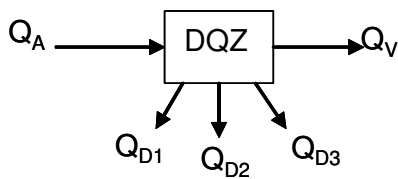
- D'une branche amont A,
- D'une branche aval V,
- De une à trois branches dérivées D_i .



La loi de partage pour chaque dérivation est définie par l'utilisateur sous forme paramétrique $Q_{Di}(Q_A)$.

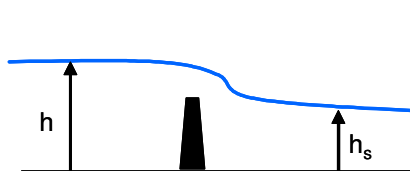
▪ Loi de partage cote – débit

A chaque branche aval ou dérivée, est associée une loi de la forme : $Q_D = f(z)$, où z est le niveau au droit du module défluence.



Les lois $f(z)$ peuvent être de 4 types :

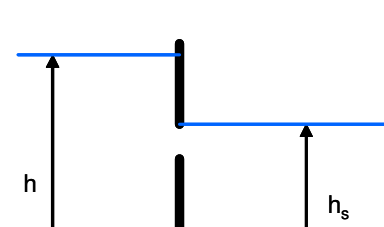
- 1) Seuil : supposé fonctionner en régime dénoyé (pas d'influence aval)



$$Q_D = \frac{2}{3} \cdot \mu_s \cdot \sqrt{2g} \cdot L \cdot (h - h_s)^{3/2}$$

avec μ_s = coefficient de seuil
 L = largeur du seuil

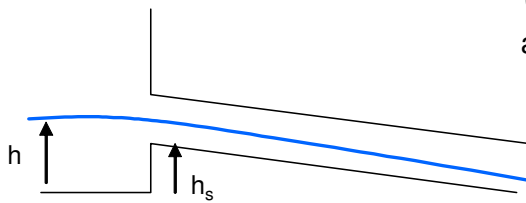
- 2) Orifice : supposé fonctionner en régime dénoyé (pas d'influence aval)



$$Q_D = S \cdot \mu_o \cdot \sqrt{2g} \cdot (h - h_s)^{2/3}$$

avec μ_o = coefficient d'orifice
 S = section de passage

3) Strickler :



$$Q_D = K.S.R^{2/3}.\sqrt{m}$$

avec K= coefficient de Strickler de la collecteur aval

S = section mouillée

R = rayon hydraulique

m = pente de la collecteur aval

4) Loi Q(z) définie paramétriquement : $Q_D = f(z)$ déterminée par l'utilisateur.

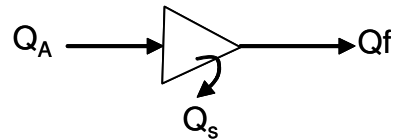
A chaque pas de temps, la cote z est calculée de façon à satisfaire : $Q_A = Q_V + \sum_i Q_{D_i}$

Les débits dérivés sont déduits de la valeur de z ainsi calculée.

4.4.4 Bassins de retenue

Le bassin de retenue est équipé d'une surverse S et d'un ouvrage de vidange F. Il est défini par :

- une courbe de remplissage S(h),
- une cote de surverse,
- un débit de vidange Qf.



La variation du niveau d'eau h dans le bassin est calculée au moyen de l'équation de continuité liant la surface au miroir et les débits entrants (Q_A) et sortants (Q_S et Qf).

Deux types de bassins sont disponibles :

1) avec débit de fuite constant :

$$S.\frac{dh}{dt} = Q_A - Q_C - Q_S$$

$$Q_C = \begin{cases} 0 & \text{si bassin vide} \\ Q_f & \text{si bassin non vide} \end{cases}$$

$$Q_S = \begin{cases} 0 & \text{si bassin vide} \\ \mu.L.\sqrt{2.g.(h-h_D)}^{3/4} & \text{si bassin rempli} \end{cases}$$

avec S = surface au miroir correspondant au niveau d'eau h dans le bassin, h_D = niveau d'eau dans le bassin correspondant à la cote de surverse et L=10 m (valeur par défaut)

2) avec débit de fuite variable selon la hauteur de remplissage :

$$S \cdot \frac{dh}{dt} = Q_A - Q_C - Q_S$$

$$Q_C = Q_C(h)$$

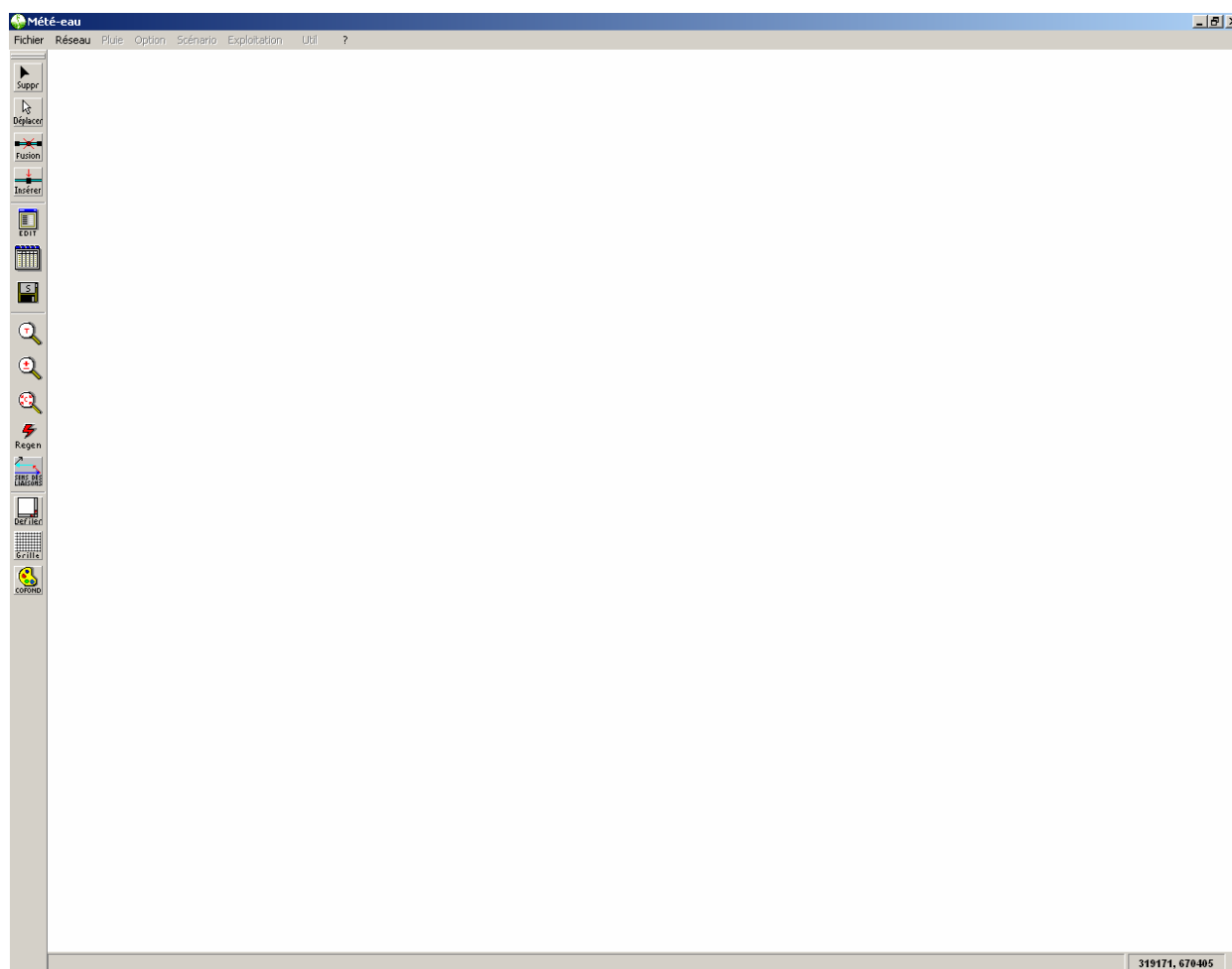
$$Q_S = Q_S(h)$$

avec S = surface au miroir correspondant au niveau d'eau h dans le bassin et $Q_C(h)$ et $Q_S(h)$ lois paramétriques définies par l'utilisateur.

5 EXEMPLE 1 : DIAGNOSTIC ET DIMENSIONNEMENT D'UN RESEAU D'EAUX PLUVIALES

Ce chapitre permet de réaliser le diagnostic et le dimensionnement d'un réseau d'eaux pluviales. Cet exemple correspond à celui fourni en démonstration avec le CD ROM d'installation.

Pour lancer le logiciel, double cliquer sur l'icône METE-EAU qui a été mise sur le bureau lors de l'installation. La fenêtre ci-dessous apparaît. Si le logiciel est utilisé en mode démonstration, un message indique que les droits sont limités.



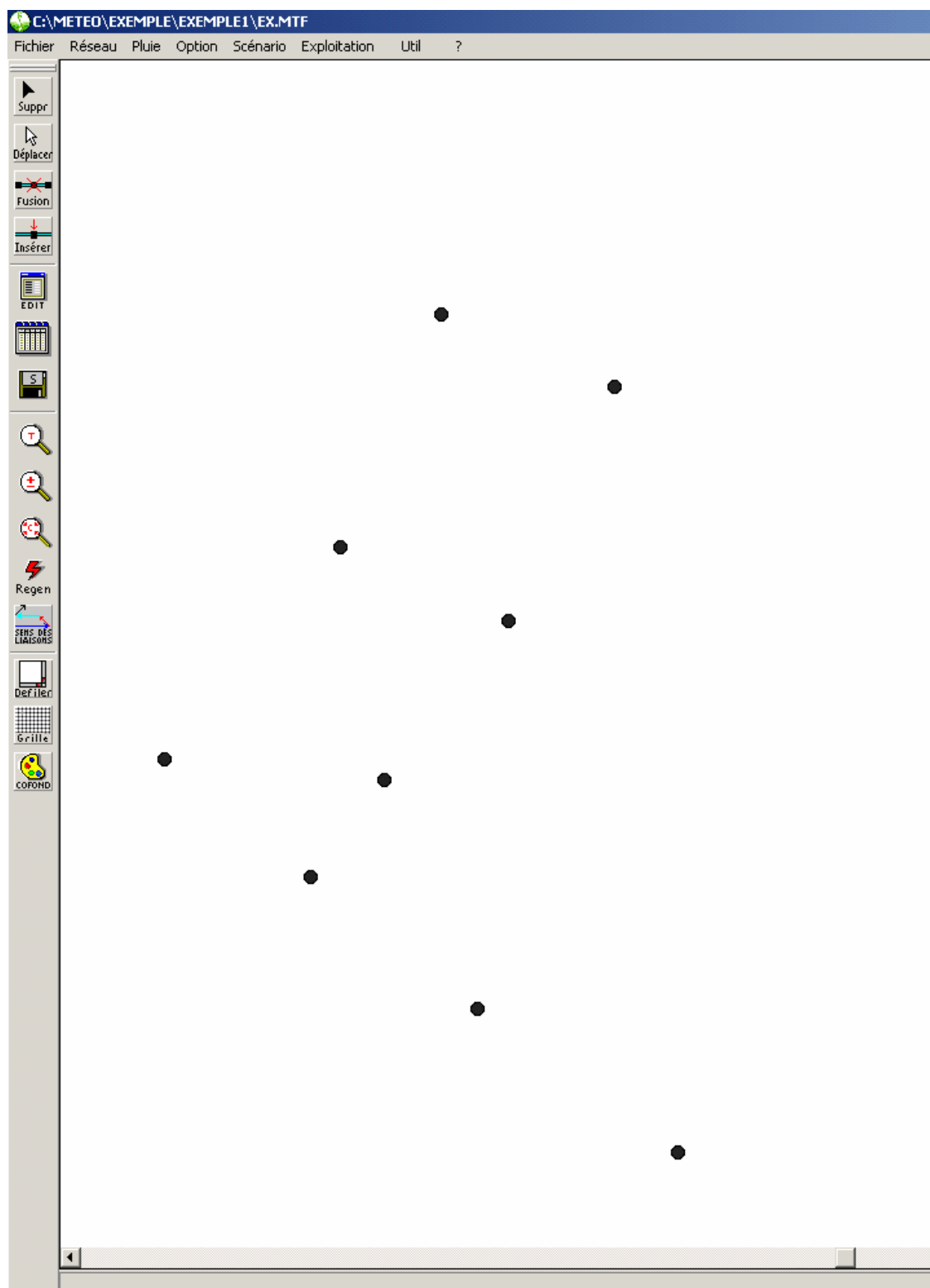
Lorsque le logiciel est utilisé en mode démonstration, il ne permet ni de sauvegarder le travail, ni de calculer. Cependant, le modèle peut être créé afin de tester la convivialité de l'interface. Le réseau de l'exemple 1 peut être directement affiché en ouvrant le fichier situé sur C:\Program Files\Hydratec\Mete-Eau\Exemples\Exemple1\EX.mtf et les résultats qui lui sont associés peuvent être consultés en utilisant le menu **Exploitation**.

Lorsque que le logiciel est utilisé en mode normal (avec la clé de protection) le réseau de l'exemple peut être créé et sauvegardé par l'utilisateur. Pour ne pas écraser le modèle fourni sur le CD ROM il est conseillé de sauvegarder l'exemple créé dans un répertoire différent de C:\Program Files\Hydratec\Mete-Eau\Exemples\Exemple1.

5.1 CREATION DU RESEAU

5.1.1 Positionner les nœuds

Pour créer des nœuds, sélectionner l'outil **Nœud** dans le menu **Réseau** / **Nœud** et positionner les nœuds (dans un ordre indifférent) dans l'espace de travail comme indiqué sur la figure ci-dessous.



5.1.2 Enregistrer le projet

Une fois les nœuds positionnés, enregistrer le projet en cliquant sur le menu **Fichier / Sauvegarder Sous....** Attention, le nom du fichier ne doit pas comprendre plus de 7 caractères et ne doit contenir ni espace ni underscore « _ ».

A chaque étape de la construction du modèle, penser à enregistrer le modèle en utilisant le bouton :



5.1.3 Tracer les collecteurs

Pour tracer les collecteurs, sélectionner l'outil **Collecteur circulaire** dans le menu **Réseau / Collecteur circulaire**.

Le traçage d'un collecteur se fait toujours en partant du point amont vers le point aval. Par contre, l'enchaînement de plusieurs collecteurs est possible (Cac_1, Cac_2, Cac_3, Cac_4, Cac_5).

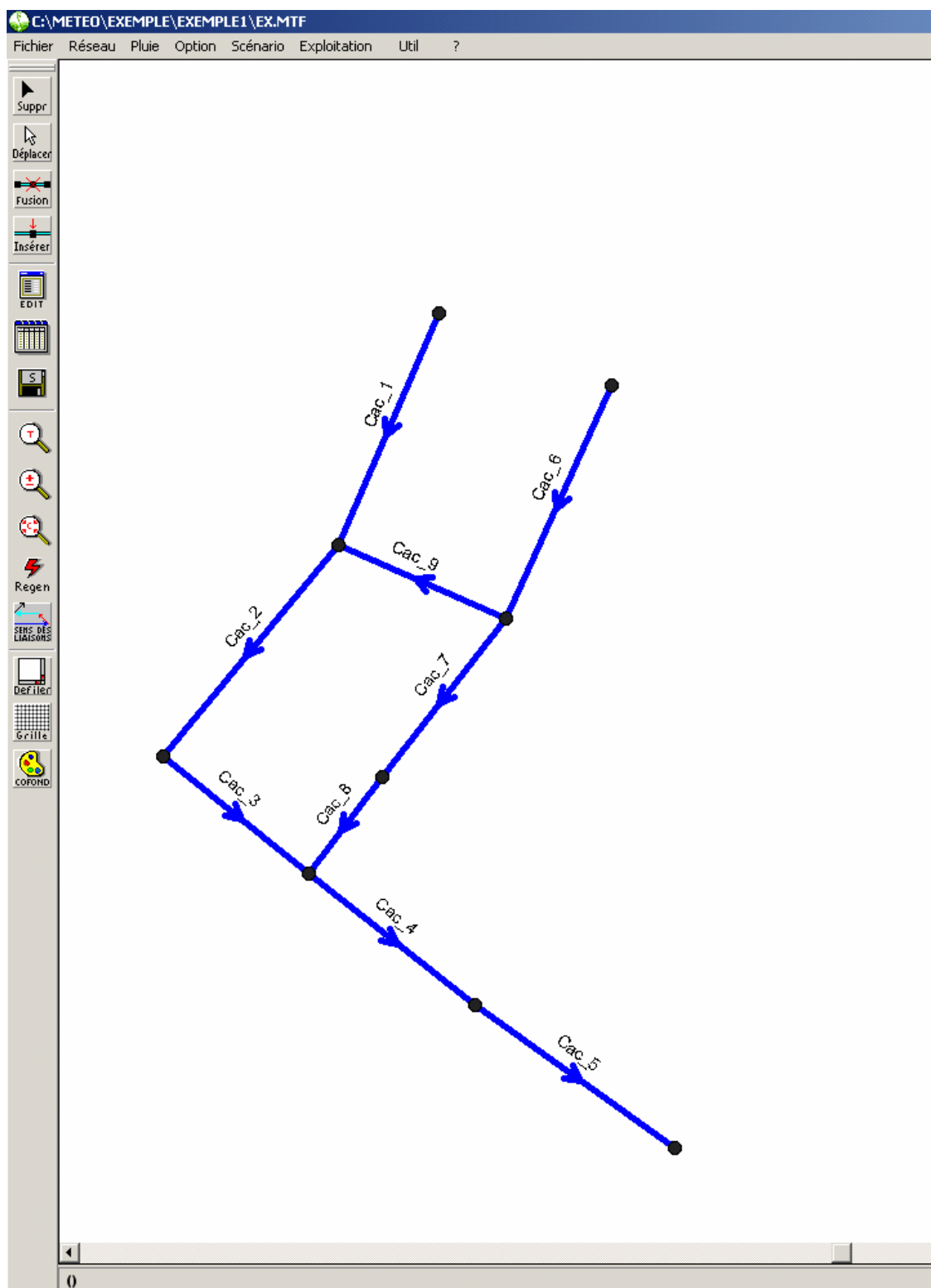
La numérotation des collecteurs est automatique et se fait selon l'ordre dans lequel ils ont été dessinés (voir figure page suivante). Pour désactiver l'outil, taper sur la touche **Echap** du clavier.

Une fois les collecteurs dessinés et identifiés, saisir leurs caractéristiques. Pour cela, cliquer sur l'icône :



Saisir les données du tableau ci-dessous dans l'onglet collecteur.

Identifiant	Z radier amont (ngf)	Z radier aval (ngf)	Diamètre (m)	Longueur (m)	Coef. de Strickler (-)	Hmoy sous chaussée (m)	Surface du réservoir fictif (m2)
Cac_1	53.00	52.07	0.3	120.88	60.0	2.0	20.0
Cac_2	52.07	50.75	0.3	128.75	60.0	2.0	20.0
Cac_3	50.75	50.03	0.4	86.82	60.0	2.0	20.0
Cac_4	50.03	49.50	0.4	102.68	60.0	2.0	20.0
Cac_5	49.50	49.07	0.4	113.22	60.0	2.0	20.0
Cac_6	50.34	50.03	0.3	57.92	60.0	2.0	20.0
Cac_7	55.10	54.75	0.3	120.45	60.0	2.0	20.0
Cac_8	54.75	50.34	0.3	92.24	60.0	2.0	20.0
Cac_9	54.75	52.07	0.3	84.84	60.0	2.0	20.0



Pour afficher les étiquettes correspondant aux collecteurs, cliquer dans le menu **Util** / **Etiquetter les elm selon leur type...** puis choisir dans la liste déroulante CAC et cliquer sur Go.

Si besoin est, sélectionner chacune des étiquettes et modifier sa police, sa taille, sa couleur en cliquant avec le bouton droit de la souris. Pour déplacer les étiquettes, utiliser le bouton :



5.1.4 Positionner les bassins versants

Pour positionner les bassins versants, sélectionner l'outil **Bassin versant** dans le menu **Réseau / Bassin versant**.

La numérotation des bassins versants est automatique et se fait selon l'ordre dans lequel ils ont été dessinés (voir figure page suivante).

Pour désactiver l'outil, taper sur la touche **Echap** du clavier.

Une fois les bassins versants dessinés et identifiés, saisir leurs caractéristiques en cliquant sur l'icône :



Saisir les données du tableau ci-dessous dans l'onglet Bassin Versant.

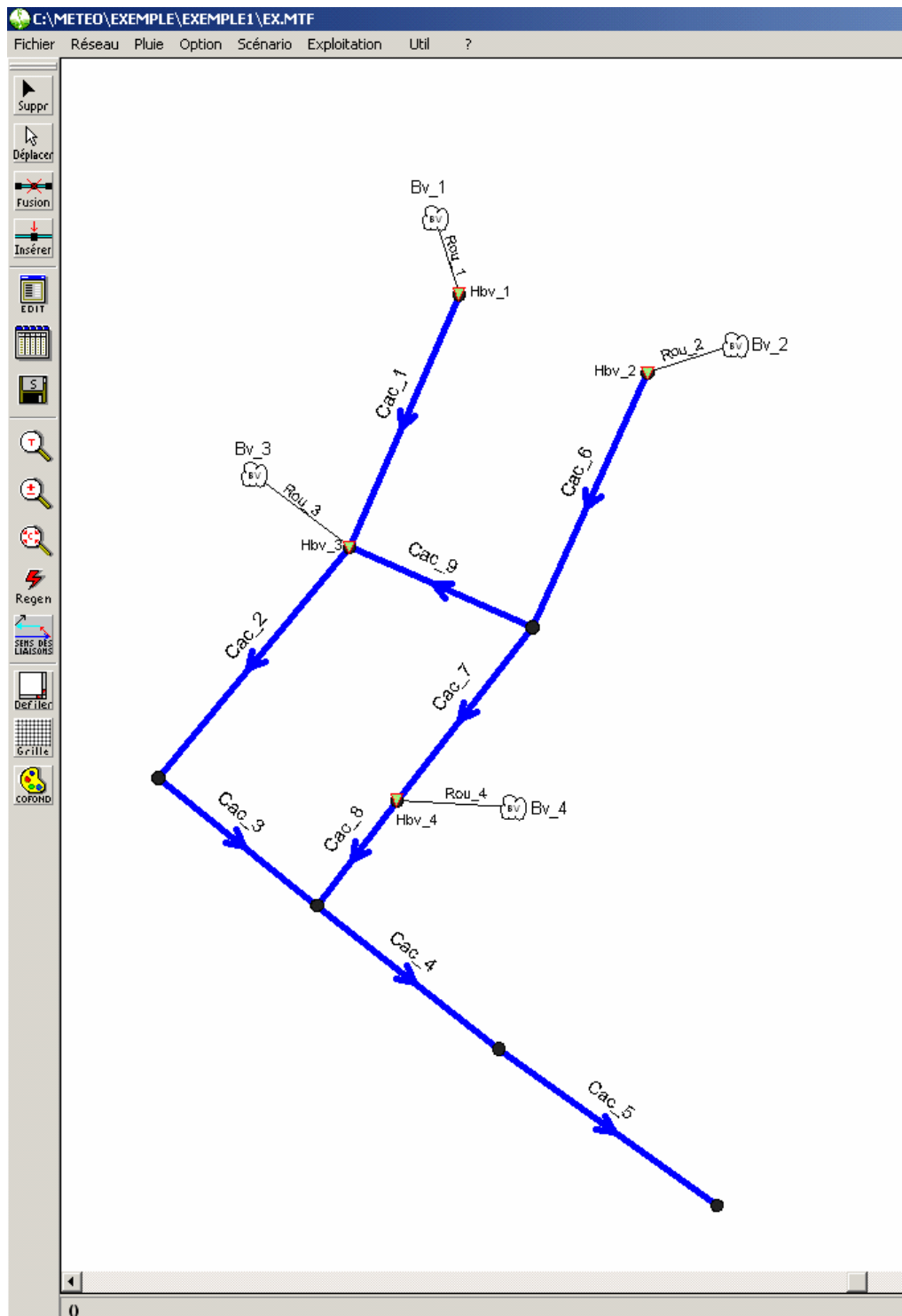
<i>Id. (16 car maxi)</i>	<i>Surface (ha)</i>	<i>Longueur de cheminement (m)</i>	<i>Pente moyenne (-)</i>	<i>Coeff. imperméabilisation (-)</i>	<i>Fonction de production Pluie nette</i>	<i>CR</i>	<i>Fonction de production Ruissellement</i>
Bv_1	1.03	78	0.019	0.35	1. CR constant	0.35	1. K Desbordes
Bv_2	1.98	56	0.023	0.35	1. CR constant	0.35	1. K Desbordes
Bv_3	2.03	42	0.020	0.35	1. CR constant	0.35	1. K Desbordes
Bv_4	1.17	89	0.010	0.35	1. CR constant	0.35	1. K Desbordes

- Saisir les données ci-dessous dans l'onglet Routage :
section : 5 m², longueur : 1 m, pente : 0.005.
- Saisir les données ci-dessous dans l'onglet Exutoire BV :
débit de temps sec : 0 m³/s, surface équivalente du réservoir amont : 0 m².

Pour afficher les étiquettes correspondant aux bassins versants, routages ou exutoires, cliquer dans le menu **Uti / Etiquetter les elm selon leur type...** puis choisir dans la liste déroulante BV, ROUT ou HYBV et cliquer sur Go.

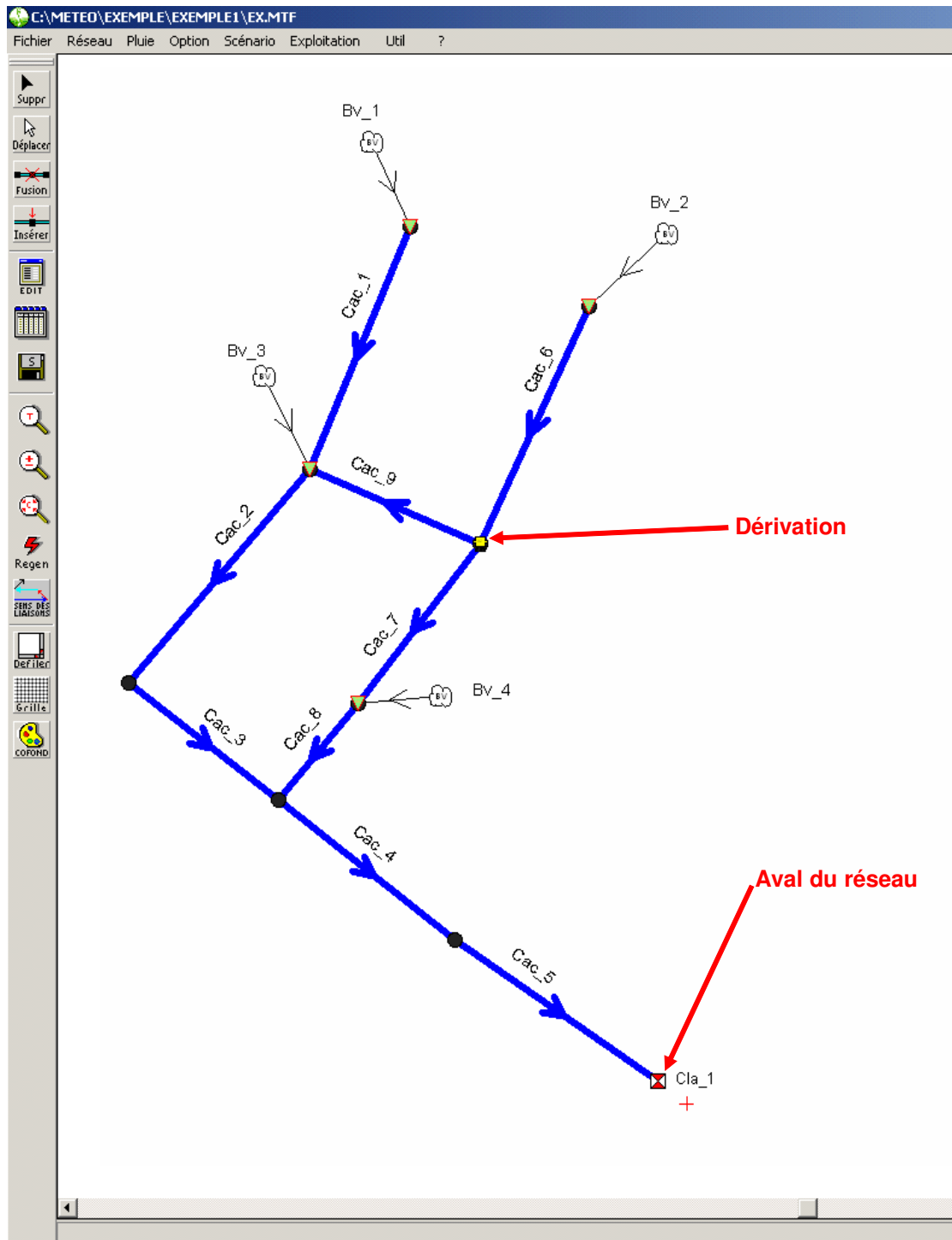
Si besoin est, sélectionner chacune des étiquettes et modifier sa police, sa taille, sa couleur en cliquant avec le bouton droit de la souris. Pour déplacer les étiquettes, utiliser le bouton :





5.1.5 Positionner les singularités

Le réseau va comporter une dérivation et une condition limite à l'aval du réseau comme ci-dessous.

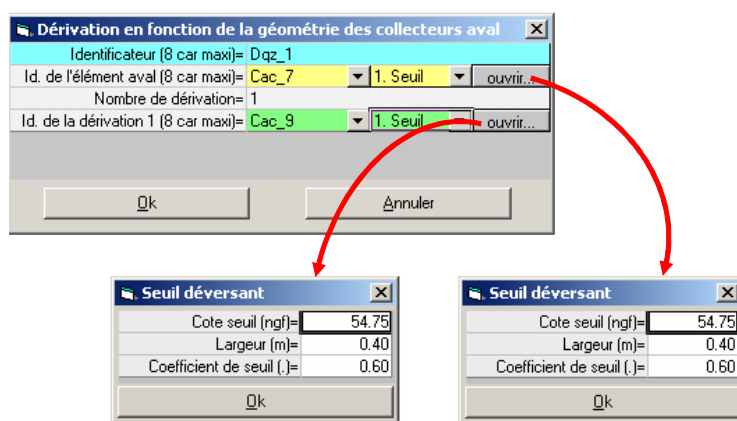


Pour la dérivation, sélectionner l'outil **Déversoir type QZ** dans le menu **Réseau / Déversoir type QZ**.

Une fois le déversoir dessiné, saisir ses caractéristiques en cliquant sur l'icône :



Saisir les valeurs ci-dessous dans les fenêtres correspondantes.

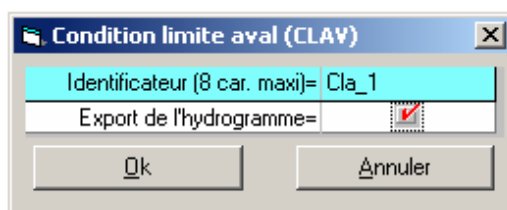


Pour positionner une condition limite à l'aval du réseau, sélectionner l'outil **CLAV de réseau** dans le menu **Réseau / CLAV de réseau**.

Une fois la condition limite à l'aval dessinée, saisir ses caractéristiques en cliquant sur l'icône :



Cocher « export de l'hydrogramme » dans la fenêtre qui s'affiche puis cliquer sur Ok.



Enregistrer le réseau ainsi créé.

5.2 GENERATION DU MODELE ET EXECUTION DES CALCULS

5.2.1 Paramétrage de la pluie

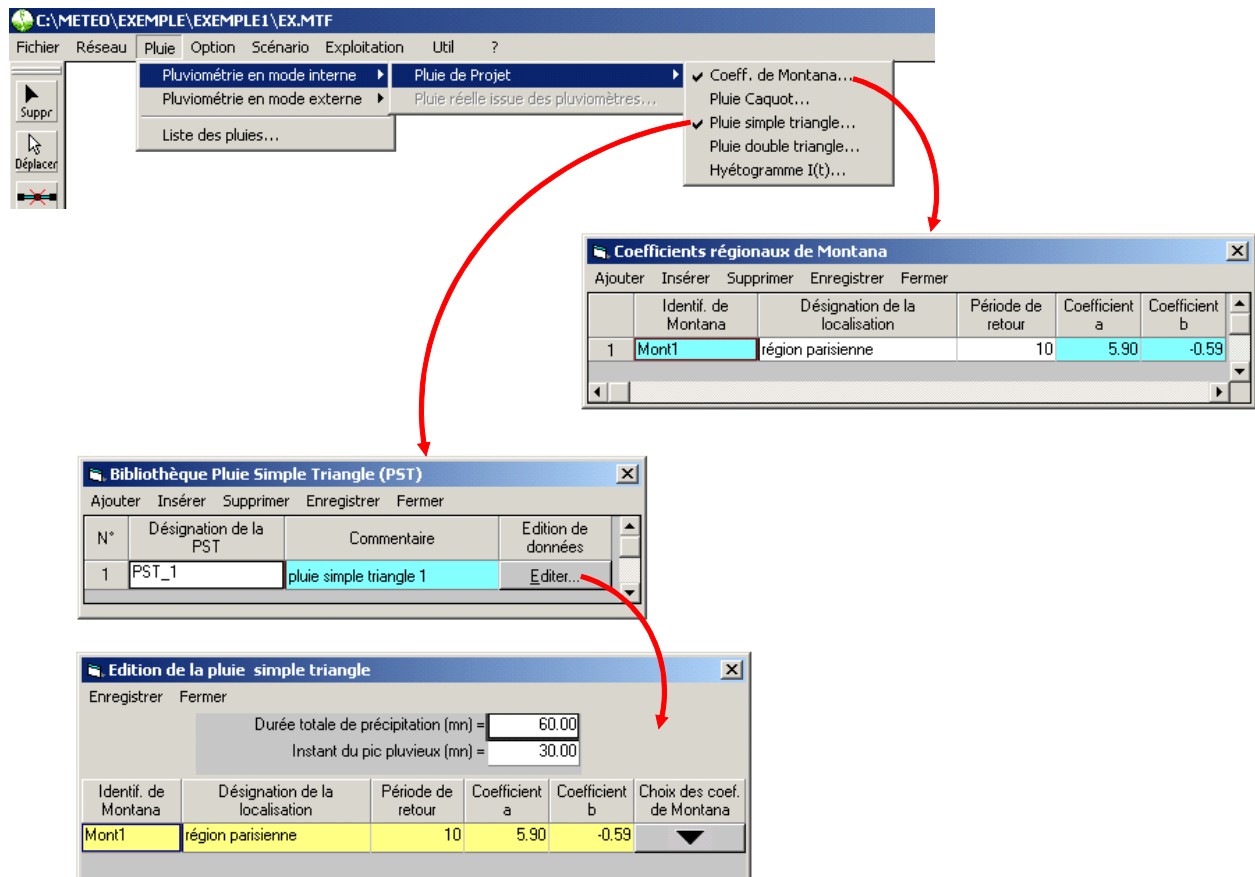
Pour paramétrer la pluie, sélectionner d'abord le menu **Pluie / Pluviométrie en mode interne / Pluie de projet / Coeff. de Montana...**

Définir les coefficients de Montana correspondant à la région I (voir paragraphe 3.6.1) comme dans la figure ci-dessous en faisant ajouter puis enregistrer avant de fermer la fenêtre.

Définir ensuite une pluie simple triangle de durée 60 minutes avec un pic à 30 minutes.

Pour cela, sélectionner le menu **Pluie / Pluviométrie en mode interne / Pluie de projet / Pluie simple triangle...**

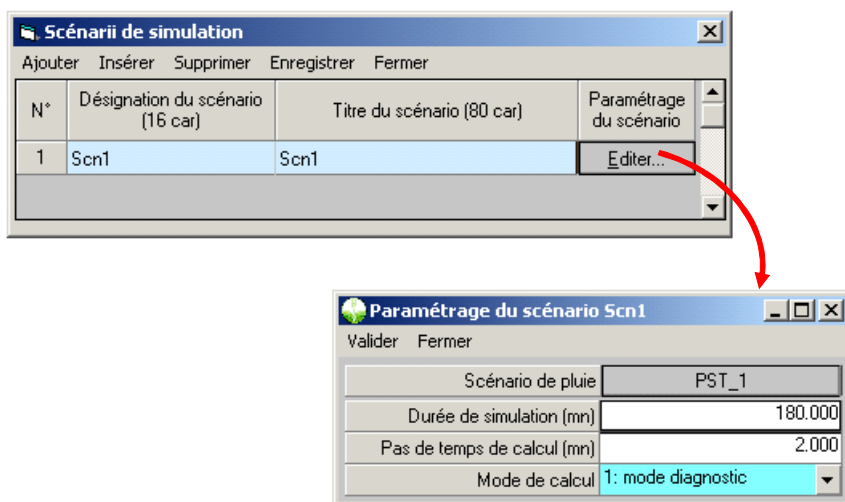
- Dans la bibliothèque de pluie simple triangle, cliquer sur Ajouter et saisir les informations comme sur la figure ci-dessous.
- Cliquer sur le bouton éditer pour faire apparaître la deuxième fenêtre de définition de la pluie.
- Cliquer sur le bouton choix du coef de Montana et choisir celui qui convient et double-cliquant sur l'identifiant.
- Saisir la durée de la précipitation et le pic pluvieux.
- Cliquer sur enregistrer pour fermer les deux fenêtres.



5.2.2 Paramétrage du scénario

Pour paramétrer un scénario, cliquer sur le menu **Scénario / Paramétrage d'un scénario de simulation**.

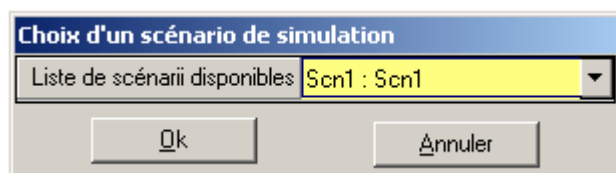
- Cliquer sur ajouter et saisir les données comme ci-dessous.



- Cliquer sur éditer puis double cliquer sur parcourir pour choisir le scénario de pluie (PST_1).
- Saisir la durée (180 min), le pas de temps (2 min) et le mode de calcul (1 : mode diagnostic).
- Cliquer sur valider puis sur enregistrer pour fermer les deux fenêtres.

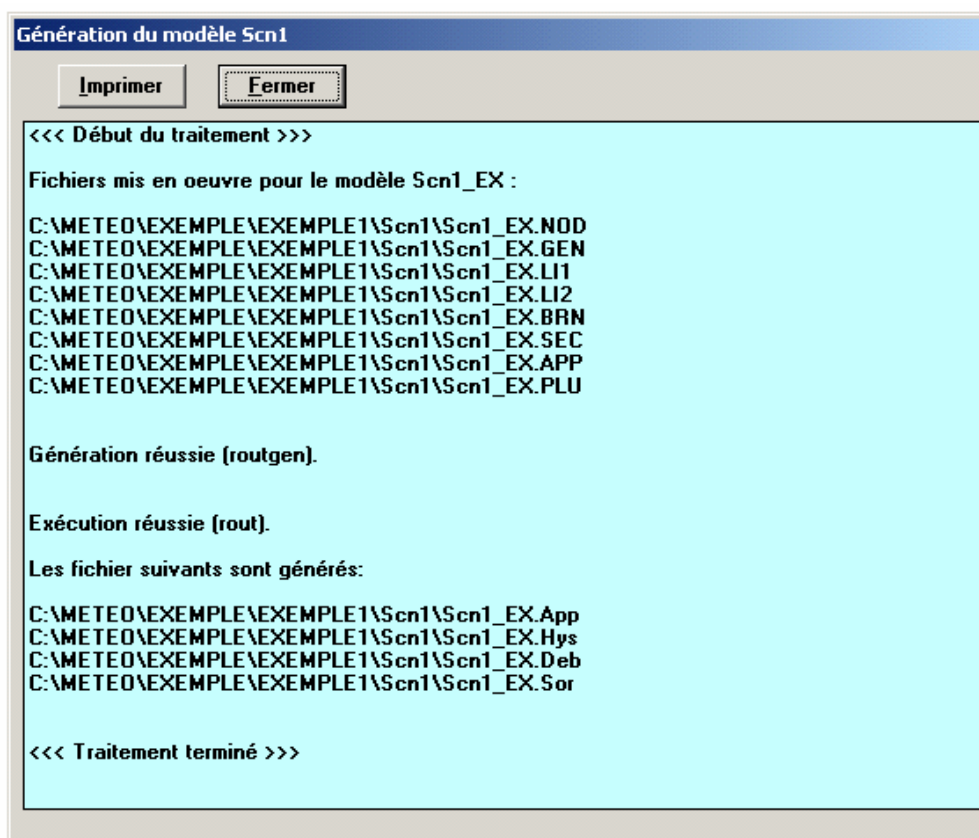
5.2.3 Génération du modèle et exécution des calculs

Choisir le scénario Scn1 créé au paragraphe précédent en cliquant sur le menu **Scénario / Choix d'un scénario de simulation**.



Pour générer le modèle, cliquer sur le menu **Scénario / Génération du modèle Scn1**. Une fenêtre s'affiche lorsque le traitement est terminé. Cliquer sur le bouton Fermer.

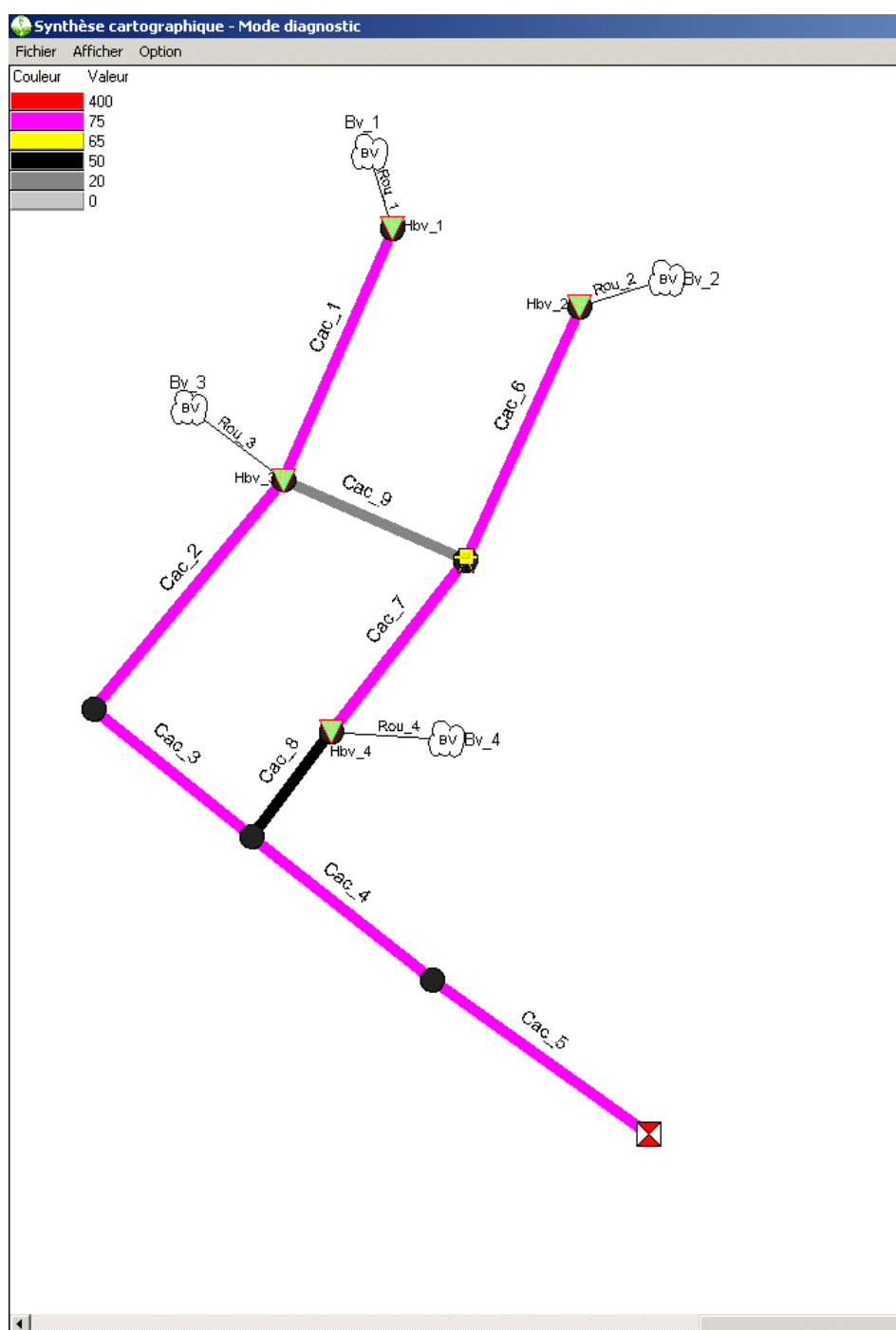
Pour générer et exécuter les calculs, cliquer sur le menu **Scénario / Génération du modèle + Exécution**. Une fenêtre s'affiche lorsque le traitement est terminé (voir figure page suivante). Cliquer sur le bouton Fermer.



5.3 EXPLOITATION DES RESULTATS (DIAGNOSTIC)

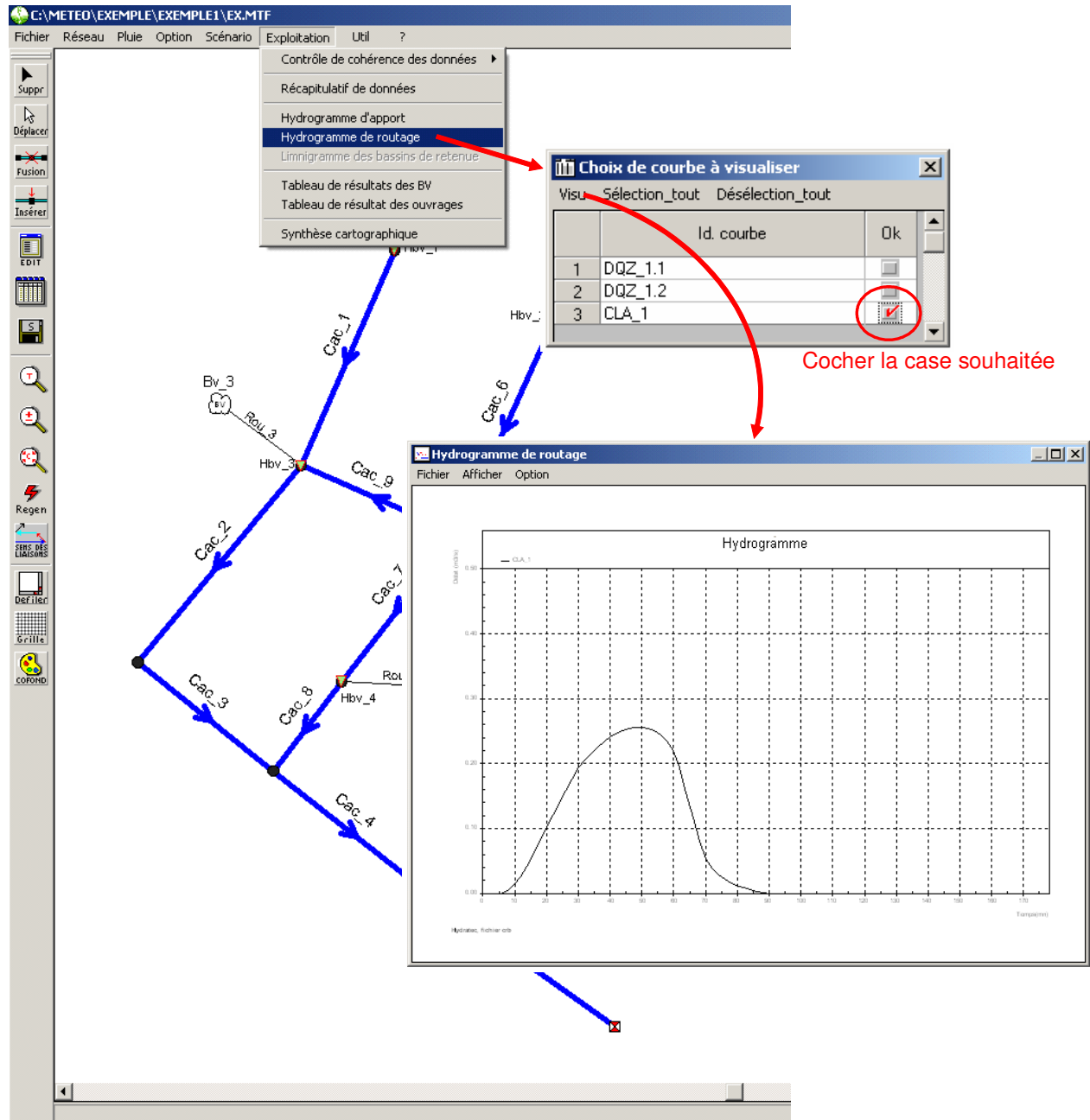
Pour éditer la carte des taux de remplissage des collecteurs, sélectionner le menu **Exploitation / Synthèse cartographique**.

Le résultat est présenté dans une fenêtre de visualisation qui permet de zoomer, de dézoomer, de changer la légende, d'ajouter du texte et d'enregistrer cette carte.



Pour visualiser l'hydrogramme aval, sélectionner le menu **Exploitation / Hydrogrammes de routage**.

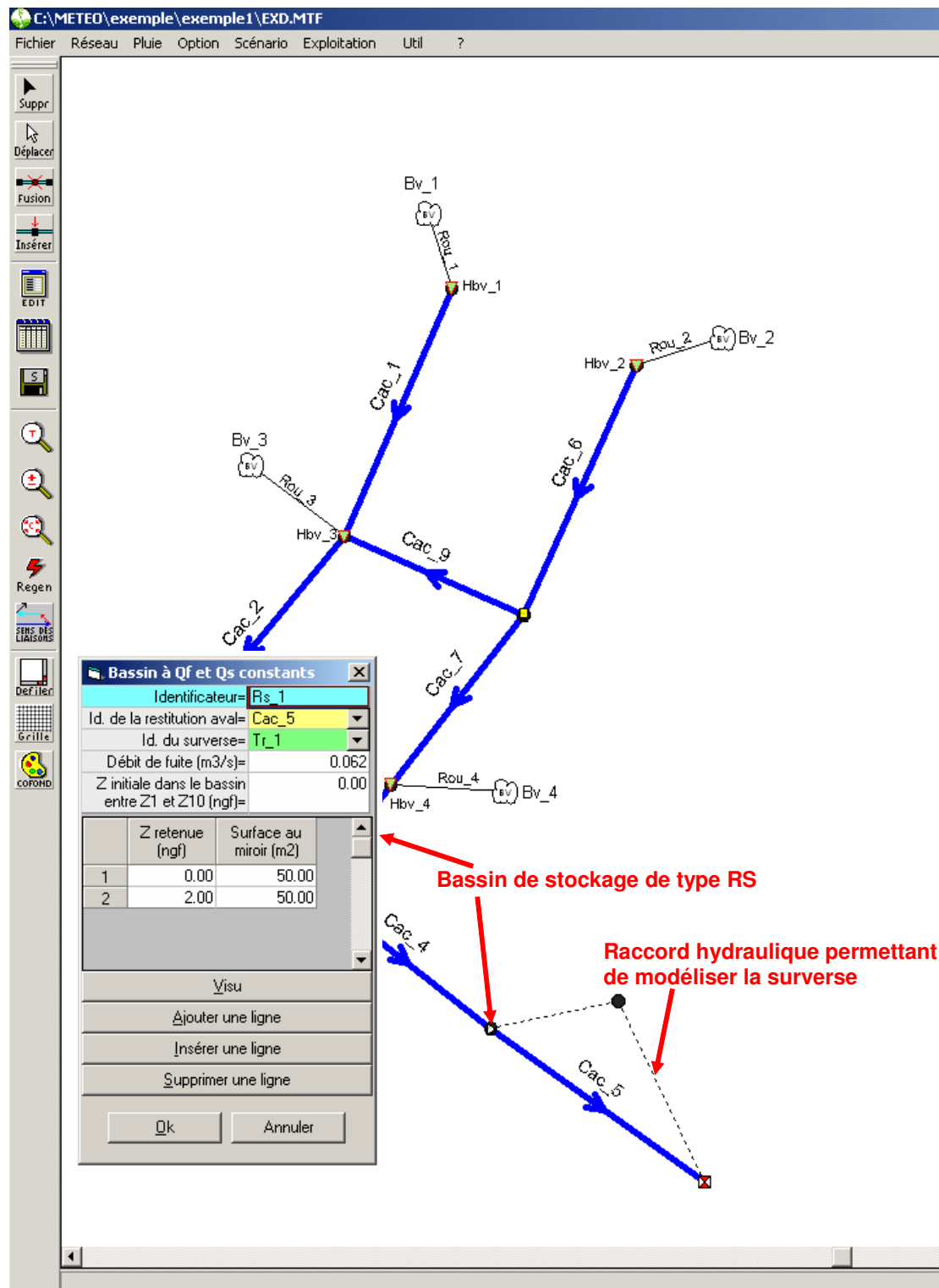
Cocher la ou les courbes à visualiser puis cliquer sur Visu. Le résultat est présenté dans une fenêtre de visualisation qui permet de zoomer, de dézoomer, de changer l'échelle, d'ajouter du texte et d'enregistrer cette courbe.



5.4 DIMENSIONNEMENT D'UN BASSIN DE STOCKAGE

Un bassin de stockage va être ajouté à l'aval pour limiter le débit à l'exutoire à 10l/s/ha, soit 61.2 l/s pour la zone d'étude.

Pour modéliser ce bassin de stockage, l'objet réservoir type RS est utilisé. Or cet objet a besoin de 2 collecteurs à l'aval. Le nœud amont du collecteur Cac_5 où il doit être mis, n'a qu'un seul collecteur. Il va falloir en créer un deuxième.



- Créer un nœud supplémentaire (**Réseau / nœud**) et le positionner comme ci-dessus.
- Créer 2 raccords d'ouvrage (**Réseau / Raccord d'ouvrage**) pour relier le nœud au réseau existant.

Pour positionner le réservoir, sélectionner l'objet réservoir type RS dans le menu **Réseau / réservoir type RS**.

Une fois le réservoir dessiné, saisir ses caractéristiques en cliquant sur l'icône :



Saisir les données selon la figure située à la page précédente. Positionner au départ un bassin de 2 m de hauteur et 50 m² de surface soit un volume de 100m³ que METE-EAU va redimensionner si besoin est. Les valeurs de 2m et 50 m² sont à ajouter en cliquant sur le bouton ajouter une ligne. Valider les données saisies en cliquant sur Ok.

Créer un nouveau scénario Scn2 en cliquant sur le menu **Scénario / Paramétrage d'un scénario de simulation**. Cliquer sur ajouter et saisir les données comme ci-dessous.

Paramétrage du scénario Scn1	
Scénario de pluie	PST_1
Durée de simulation (mn)	180.000
Pas de temps de calcul (mn)	2.000
Mode de calcul	2: mode dimensionnement

Cliquer sur valider puis sur enregistrer pour fermer les deux fenêtres.

Enregistrer le modèle sous un autre nom, en cliquant sur le menu **Fichier / Sauvegarder Sous....**

Choisir le scénario Scn2 en cliquant sur le menu **Scénario / Choix d'un scénario de simulation**.

Générer le modèle en cliquant sur le menu **Scénario / Génération du modèle Scn2**. Une fenêtre s'affiche lorsque le traitement est terminé. Cliquer sur le bouton Fermer.

Générer et exécuter les calculs en cliquant sur le menu **Scénario / Génération du modèle + Exécution**. Une fenêtre s'affiche lorsque le traitement est terminé. Cliquer sur le bouton Fermer.

5.5 EXPLOITATION DES RESULTATS (DIMENSIONNEMENT)

Cliquer sur le menu **Exploitation / Tableau de résultats des ouvrages** pour que le tableau suivant s'affiche.

*** TABLEAUX DE SYNTHESE DES RESULTATS DU PROGRAMME DE ROUTAGE ***

mode de calcul (diag. ou dimens.) : DIMENSIONNEMENT

duree de la simulation (mn) : 180.

pas de temps de calcul (mn) : 2.00

**** TRONCONS DE COLLECTEURS FERMES ****

designation	debit maximum amont	volume ruissele amont	debit capable reference	diametre cana. circ. equivalente	extension taille collecteur?	nouv. diametre cana. circ. equivalente
	(m3/s)	(m3)	(m3/s)	(m)	(o/n)	(m)
" CAC_1	0.054	114.	0.067	0.300	NON	
" CAC_6	0.103	219.	0.056	0.300	OUI	0.378
" CAC_7	0.052	109.	0.041	0.300	OUI	0.327
" CAC_9	0.052	109.	0.136	0.300	NON	
" CAC_2	0.211	447.	0.078	0.300	OUI	0.437
" CAC_3	0.210	447.	0.150	0.400	OUI	0.454
" CAC_8	0.108	239.	0.168	0.300	NON	
" CAC_4	0.318	686.	0.118	0.400	OUI	0.581
" CAC_5	0.062	625.	0.102	0.400	NON	

**** ORGANES DE DERIVATION ****

designation	debit amont	debit amont	debit aval	debit aval	volume deriv.1	debit deriv.1	volume deriv.2	debit deriv.2
	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m3)	(m3/s)	(m3)	(m3/s)
" DQZ_1	0.000	0.103	0.052	0.052	109.	0.052	109.	

**** RESERVOIR DE STOCKAGE EN SERIE ****

designation	debit maximum amont	volume ruissele amont	debit de fuite	capacite de reference du bassin	extension capacite bassin?	nouvelle capacite bassin
	(m3/s)	(m3)	(m3/s)	(m3)	(O/N)	(m3)
" RS_1	0.318	685.	0.062	100.	OUI	452.

Cliquer sur le menu **Exploitation / Tableau de résultats des bassins versants** pour que le tableau suivant s'affiche.

*** bilan des apports hydrologiques ***

exutoire	hbrut	hnet	cr	qmax apport (m3/s)	lag time apport (mn)	vrui apport (mm3)	qmax aval (m3/s)	tmax aval (mn)	vrui aval (mm3)
	(mm)	(mm)							
BV_1	31.6	11.1	0.35	0.054	6.7	0.11	0.054	34.0	0.11
HBV_1							0.054	34.0	0.11
BV_2	31.6	11.1	0.35	0.103	6.7	0.22	0.103	34.0	0.22
HBV_2							0.103	34.0	0.22
BV_3	31.6	11.1	0.35	0.105	6.8	0.22	0.105	34.0	0.22
HBV_3							0.105	34.0	0.22
BV_5	31.6	11.1	0.35	0.058	8.8	0.13	0.058	36.0	0.13
HBV_5							0.058	36.0	0.13

↑

Hauteur de pluie brute

↑

Hauteur de pluie nette

↑

Coefficient de ruissellement

↑

Débit maximum

↑

Temps de réponse du BV

↑

Volume ruisselé en 10³.m³

↑

Débit maximum aval

↑

Instant du maximum

↑

Volume ruisselé aval en 10³.m³

6 EXEMPLE 2 : PARAMETRAGE DE 3 PLUIES DE PROJET

Le réseau de l'exemple 2 peut être directement affiché en ouvrant le fichier situé sur C:\Program Files\Hydratec\Mete-Eau\Exemples\Exemple2\EX2.mtf et les résultats qui lui sont associés peuvent être consultés en utilisant le menu **Exploitation**.

Le fichier contient 3 pluies de projet dont les caractéristiques peuvent être consultées avec le menu **Pluie / Pluviométrie en mode interne / Pluie de projet** :

- Pluie simple triangle,
- Pluie double triangle,
- Pluie calculée par un hyétogramme.

Les 3 pluies sont utilisées dans 3 scénarios : Scn-1, Scn-2 et Scn-3, dont les résultats peuvent être consultés.

