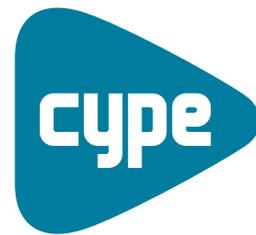


Manuel de l'utilisateur
Infrastructures
urbaines

Infrastructures urbaines

Manuel de l'utilisateur



Software pour
l'Architecture,
l'Ingénierie de
la **Construction**

CYPE Ingenieros, S.A.
Avda. Eusebio Sempere, 5
03003 **Alicante**
Tel. (+34) 965 92 25 50
Fax (+34) 965 12 49 50
cype@cype.com

www.cype.fr

L'information contenue dans ce document est la propriété de CYPE Ingenieros, S.A. La reproduction partielle ou totale ainsi que la diffusion sous quelque forme que ce soit est interdite sans l'autorisation expresse et préalable de CYPE Ingenieros, S.A. L'infraction des droits de propriété intellectuelle est un délit (Art. L.122-4 du Code de la Propriété Intellectuelle).

Ce document et l'information qu'il contient sont partie intégrante et indissociable de la documentation qui accompagne la Licence d'Utilisation des programmes informatiques de CYPE Ingenieros, S.A. Par conséquent, elle est soumise aux mêmes devoirs et conditions.

Vous devrez lire, comprendre et accepter le Contrat de Licence d'Utilisation du software associé à cette documentation avant toute utilisation d'un des composants du produit. Si vous N'ACCEPTÉZ PAS les termes du Contrat de Licence d'utilisation, rendez immédiatement le software et tous les éléments qui l'accompagnent au lieu d'achat afin d'en obtenir le remboursement intégral.

Ce manuel correspond à la version du software dénommée Infrastructures urbaines par CYPE Ingenieros, S.A. L'information contenue dans ce document décrit substantiellement les caractéristiques et méthodes d'utilisation du ou des programmes qu'elle accompagne.

L'information contenue dans ce document peut avoir été modifiée postérieurement à l'édition mécanique de ce livre sans avis préalable. Le software associé à ce document peut être soumis à des modifications sans avis préalable.

CYPE Ingenieros, S.A. dispose d'autres services parmi lesquels vous trouverez les Mises à Jour, grâce auxquelles vous pourrez acquérir les dernières versions du software et la documentation qui les accompagne. Si vous avez des doutes sur les présentes conditions, par rapport au Contrat de Licence d'Utilisation du software, ou si vous souhaitez simplement rentrer en contact avec CYPE Ingenieros, S.A., adressez-vous à votre Distributeur Local Autorisé ou au Service Après-Vente de CYPE Ingenieros, S.A. à l'adresse suivante :

Avda. Eusebio Sempere, 5 · 03003 Alicante (Espagne) · Tel: +34 965 92 25 50 · Fax: +34 965 12 49 50 · www.cype.com

© CYPE Ingenieros, S.A.

1ère Edition (juin, 2008)

Edité et imprimé à Alicante (Espagne)

Windows ® est une marque enregistrée de Microsoft Corporation ®

Présentation	5	2.2.2.2. Conductions	23
1. Aides à l'écran	7	2.2.2.3. Excavations	27
1.1. Touche F1	7	2.2.3. Calcul (Option Calculer)	28
1.2. Icône avec le signe d'interrogation	7	2.2.3.1. Formulation	28
1.3. Icône en forme de livre	7	2.2.3.2. Conductions avec apports fournis	31
1.4. Guide rapide	7	2.2.3.3. Conception (Option Dimensionner)	31
2. Mémoires de calcul	8	2.2.3.4. Unités	32
2.1. Approvisionnement en eau	8	3. Concepts de base	33
2.1.1. Introduction	8	3.1. Récapitulatifs	33
2.1.2. Données préalables	8	3.2. Plans	34
2.1.2.1. Conditions de distribution	8	4. Exemples pratiques	35
2.1.2.2. Conductions	11	4.1. Approvisionnement en eau	35
2.1.2.3. Excavations	14	4.1.1. Données générales	37
2.1.3. Calcul (Option Calculer)	15	4.1.1.1. Dossier général	37
2.1.3.1. Formulation tuyaux	15	4.1.1.2. Dossier Paramètres	38
2.1.3.2. Tuyaux avec consommations distribuées	16	4.1.1.3. Dossier Limites	38
2.1.3.3. Formulation valves	17	4.1.1.4. Dossier Coefficients	38
2.1.3.4. Formulation pompes	18	4.1.1.5. Dossier Excavations	38
2.1.3.5. Résolution du système maillé	18	4.1.2. Hypothèses	38
2.1.3.6. Conception (Option Dimensionner)	19	4.1.3. Combinaisons	38
2.1.3.7. Unités	19	4.1.4. Introduction de la géométrie	38
2.2. Réseaux d'assainissement	20	4.1.5. Edition des nœuds	40
2.2.1. Introduction	20	4.1.6. Edition des tronçons	41
2.2.2. Données préalables	20	4.1.7. Calcul	41
2.2.2.1. Conditions de collecte	20	4.2. Réseaux d'assainissement	42
		4.2.1. Données générales	44

4.2.1.1. Dossier général	.44
4.2.1.2. Dossier Paramètres	.45
4.2.1.3. Dossier Limites	.45
4.2.1.4. Dossier Coefficients	.45
4.2.1.5. Dossier Excavations	.45
4.2.2. Hypothèses	.45
4.2.3. Combinaisons	.46
4.2.4. Introduction de la géométrie	.46
4.2.5. Edition des nœuds	.47
4.2.6. Edition des tronçons	.48
4.2.7. Calcul	.48

Présentation

Infrastructures urbaines est un ensemble de programmes offrant les outils nécessaires à la résolution de tous les aspects relatifs au calcul des installations pour les urbanisations. Ces programmes sont conçus de façon similaire et équivalente, de sorte que les options et les outils généraux coïncident dans leur mode d'utilisation.

Le programme **Approvisionnement en eau** a été développé pour le calcul, la conception, la vérification et le dimensionnement automatique des réseaux de distribution d'eau.

Le programme **Réseaux d'assainissement** a été pensé pour le calcul, la conception, la vérification et le dimensionnement automatique des réseaux d'assainissement, dont l'objectif est l'évacuation de l'eau depuis des puits de collecte jusqu'au point de déversement.

1. Aides à l'écran

Les programmes de CYPE Ingenieros disposent d'aides à l'écran permettant à l'utilisateur d'obtenir directement du programme les informations nécessaires sur le fonctionnement des menus des dialogues et de leurs options.

Il existe quatre façons différentes d'accéder à ces aides :

1.1. Touche F1

Pour obtenir de l'aide sur une option d'un menu, il suffit de dérouler le menu, de placer le curseur sur l'option pour laquelle vous désirez de l'aide sans l'activer (c'est-à-dire sans cliquer dessus) et d'appuyer sur la touche F1.

1.2. Icône avec le signe d'interrogation

Dans la barre des titres de la fenêtre principale de chaque programme, il y a une icône représentant un point d'interrogation . Vous pouvez obtenir l'aide spécifique d'une option du programme de la façon suivante : cliquez sur cette icône, déroulez le menu contenant l'option pour laquelle vous voulez de l'aide et cliquez sur cette option. Vous verrez apparaître une fenêtre contenant l'information sollicitée. Cette information est la même que celle qui s'obtient avec la touche **F1**.

Vous pouvez désactiver cette aide de trois manières différentes : en cliquant sur le bouton droit de la souris, en cliquant sur le bouton du point d'interrogation ou en appuyant sur la touche **Esc**.

Vous pouvez également obtenir de l'aide sur les icônes de la barre d'outils. Pour cela, cliquez sur l'icône représentant un point d'interrogation . En faisant cela, les icônes disposant d'une information s'entourent en bleu. Cliquez ensuite sur l'icône pour laquelle vous voulez consulter l'aide.

Dans la barre des titres des fenêtres qui s'ouvrent lors de l'exécution de certaines options du programme, apparaît également l'icône représentant le signe d'interrogation . En cliquant dessus, les options ou parties disposant d'une aide s'entoureront de bleu. Cliquez sur celle pour laquelle vous désirez consulter l'aide.

1.3. Icône en forme de livre

Dans la barre des titres de certaines fenêtres, vous trouverez une icône représentant un livre ouvert  permettant d'accéder à l'information générale de la fenêtre dans laquelle elle apparaît.

1.4. Guide rapide

L'information accessible par la touche F1 et relative aux options des menus peut être consultée et imprimée avec l'option **Aide > Guide rapide**.

2. Mémoires de calcul

2.1. Approvisionnement en eau

2.1.1. Introduction

L'objectif fondamental dans la conception d'un réseau de distribution consiste à mener l'eau à chaque point de consommation. Le problème peut être abordé de deux points de vue différents :

- **Conception.** C'est le cas le plus courant dans lequel on désire obtenir les diamètres adéquats des conductions d'eau à partir de la typologie et d'une série de données de consommation.
- **Vérification.** On désire savoir si une installation déjà conçue convient pour les limitations de conception imposées ou considérées.

Qu'il s'agisse de concevoir ou bien de vérifier, les règles suivantes doivent être prises en compte :

- **Conditions d'arrivée de l'eau aux points de consommation.** Il est nécessaire de respecter une série de conditions, telles que les pressions aux points de consommation ou la qualité de l'eau distribuée.
- **Facilité de construction.** Utilisation de matériaux, diamètres et autres éléments facilement disponibles sur le marché, qui sont adaptés aux normes de par leurs dimensions et leur comportement.
- **Maintenance.** Il est fondamental d'obtenir un bon fonctionnement de l'installation en réalisant une maintenance préventive de l'installation afin d'éviter une maintenance excessive et coûteuse.
- **Économie.** Il n'est pas suffisant que l'installation fonctionne. Elle doit également répondre à un coût raison-

nable, c'est pourquoi le surdimensionnement doit être évité.

Une fois les données nécessaires remplies, le calcul est effectué en utilisant la formulation adéquate pour chaque cas.

2.1.2. Données préalables

2.1.2.1. Conditions de distribution

Plusieurs données sont nécessaires pour le calcul d'une installation. Ces données sont en définitive celles qui indiquent le comportement de cette dernière.

2.1.2.1.1. Consommations

C'est en général la donnée la plus importante dans le fonctionnement de l'installation.

Le débit à fournir dans chacun des nœuds de l'installation est généralement estimé selon le type de distribution (urbain, industriel, rural,...).

Dans le cas d'une consommation urbaine, cette consommation est généralement ajustée au nombre d'habitants et au type de consommation (logements, hôtels,...).

Les valeurs habituellement utilisées pour les projets sont indiquées à titre indicatif dans la table 2.1.

D'autre part, il ne suffit pas de prendre en compte les habitants actuels ; il faut également considérer la croissance possible de la population qu'il faudra ravitailler à partir du réseau calculé.

A titre indicatif, la population future peut être estimée à partir de l'équation suivante :

$$P = P_a \cdot (1 + \alpha)^t$$

Avec :

P : population future.

P_a : population lors du dernier recensement.

Lieu de consommation	Type	Consommation journalière
Logements	Petite ville	200 l/habitant
	Ville moyenne	250 l/habitant
	Grande ville	300 l/habitant
	Village	150 l/habitant
	Village isolé	500 l/habitant
École	-	60 l/élève
Hôpital	-	500 l/lit
Caserne	-	250 l/habitant
Camping	-	100 l/habitant
Bureaux	-	50 l/habitant
Hôtels	Selon nombre d'étoiles	150 – 300 l/lit
Gymnase	-	200 l/habitant

Table 2.1

α : taux de croissance de la population

t : temps écoulé depuis le dernier recensement

Pour des appareils isolés, le débit est celui apparaissant dans la table 2.2. Les débits calculés aux nœuds d'approvisionnement du réseau d'eau sont les mêmes que ceux qui devraient apparaître dans les débits apportés au réseau d'assainissement, dans l'hypothèse des eaux noires (fécales) dans les réseaux généraux d'assainissement ou comme unique apport dans les réseaux séparés. Il est à noter que les réseaux d'eau potable doivent toujours se trouver au-dessus des réseaux d'assainissement afin d'évi-

ter la contamination de l'eau potable en cas de rupture ou de fuite dans les installations d'assainissement.

Une fois le débit de consommation déterminé en chaque nœud, il est nécessaire d'introduire une considération de la consommation maximale. Généralement, on considère que le débit de pointe s'obtient sur une période de 10 heures comme étant 2,4 fois le débit considéré lors de l'estimation.

Dans certains cas, il peut être intéressant d'utiliser un coefficient permettant d'augmenter ou de réduire les consommations générales d'un réseau. De cette façon, il est possible de simuler des fonctionnements saisonniers ou de plus petites occupations. Ce coefficient est uniquement applicable pour le calcul des débits consommés dans les nœuds.

Type d'appareil	Débit en l/s
Baignoire	0,30
Bidet	0,10
Bouche à incendie équipée :	
Diamètre 25 mm	1,67
Diamètre 45 mm	3,00
Hydrante 100 mm	10,00
Douche	0,20
Évier :	
Logement particulier	0,20
Restaurant / Hôtel	0,30
Machine à laver	0,20
Lavabo	0,10
Urinoir :	
Avec contrôle	0,10
Fluide continu	0,05
Bouche d'eau (ø 25mm)	1,00
W.C. :	
Avec réservoir	0,10
Avec robinet de chasse	2,00

Table 2.2

2.1.2.1.2. Consommations distribuées

Dans certains cas spéciaux, il peut être très utile de simuler, pour la conception, des consommations de l'installation distribuées linéairement le long d'un tronçon du tuyau. Pour cela, l'apport doit être indiqué en l/s par mètre linéaire de conduction.

Cela donne une première estimation pour la résolution des installations avec des consommations similaires distribuées le long d'un tronçon de grande longueur. Il est possible de vérifier, à partir des résultats graphiques, le point à partir duquel les réquisitions établies pour l'ouvrage ne sont plus vérifiées, ce qui permet de diviser le tronçon en deux parties de diamètres plus adaptés.

Pour résoudre des cas tels que les risques de gouttement, il est possible d'ajuster les résultats avec cette option, en n'introduisant presque aucun nœud de consommation.

2.1.2.1.3. Réservoirs et distributeurs du réseau

Un réseau d'eau reçoit une alimentation par un ou plusieurs points. Ces points peuvent être :

- **Réservoirs.** Lorsqu'ils se trouvent à une cote élevée, ils génèrent la hauteur piézométrique qui déplace l'eau à travers les conduits. On considère leur capacité à produire une pression ainsi que leur hauteur piézométrique, c'est-à-dire leur cote plus leur niveau.
- **Distributeurs du réseau.** Ce sont les points d'entrée provenant de la compagnie fournisseur ou bien d'autres réseaux capables de fournir de l'eau à l'installation. Tous comme les réservoirs, ce sont des points qui génèrent un mouvement de l'eau dans le réseau. Leur hauteur piézométrique est donnée par leur cote plus la pression assurée par la compagnie fournisseur en ce point.

Lors du calcul, les deux nœuds sont considérés du même type, c'est-à-dire comme des points de hauteur piézométrique fixe et égale à leur cote plus la pression disponible (le niveau dans le cas des réservoirs et la pression disponible dans le cas des points de distribution de la compagnie).

Les valeurs des pressions de distribution d'eau varient entre 20 et 40 mCE mais vous devez vous renseigner auprès de la compagnie fournisseur pour connaître la pression que celle-ci est capable de fournir en chaque point d'alimentation du réseau que l'on a prévu d'inclure dans le calcul.

En effet, du fait de la hauteur piézométrique, des circulations peuvent se produire entre deux distributions ayant des pressions similaires mais des hauteurs géométriques différentes. S'il n'existe pas entre elles une charge suffisamment grande pour pallier la différence de hauteurs piézométriques, il peut se produire un transfert d'eau de l'une à l'autre.

Pour éviter les circulations d'eau, les mesures suivantes peuvent être prises :

- Éviter autant que possible un grand nombre de nœuds de distribution et, dans le cas où il serait nécessaire d'en placer plusieurs, ils devront être le plus éloignés possibles.
- Éviter les grandes différences de hauteur piézométriques entre les nœuds de distribution. On peut supposer que le réseau de la compagnie fournisseur est suffisamment long et qu'il est conçu pour fournir des hauteurs similaires en tous les points.
- Placer des valves anti-retour qui permettent uniquement la circulation dans le sens désiré.

- Dans une installation, l'introduction de plusieurs points de distribution étant possible, il peut se produire des circulations entre les points d'alimentation du réseau.
- Si vous désirez réaliser le calcul avec des circulations d'eau entre les réservoirs ou les distributeurs. Ayez à l'esprit que ce type de comportement peut fausser le dimensionnement des conductions.

2.1.2.1.4. Vitesse dans les conductions

La vitesse du fluide dans les conduits est l'une des principales limitations lors du dimensionnement d'un réseau.

Il est habituel d'utiliser une limite de vitesse inférieure de 0,5m/s, à moins qu'il n'existe une limitation de diamètre minimum empêchant l'accomplissement de cette vitesse dans certains tronçons. En dessous de 0,5 m/s, apparaissent des phénomènes de sédimentation et de stagnation.

La vitesse maximale doit être comprise entre 1,5 et 2 m/s, pour éviter des phénomènes d'arrachement et des bruits ainsi que des pertes de charges importantes.

2.1.2.1.5. Pressions aux points de consommation

Lorsqu'on conçoit un réseau hydraulique de distribution d'eau potable, il est nécessaire d'assurer une pression disponible minimale de distribution de l'eau aux points de consommation.

Dans certains cas, il est possible de limiter la conception afin d'éviter des ruptures par excès de pression.

L'intervalle normal des pressions disponibles aux nœuds de consommation oscille entre 10 et 50 mCE, y compris lorsque ces valeurs sont déterminées par les nécessités et les types propres de chaque point de consommation, ajoutés à une augmentation des fuites dans le réseau et à la nécessité de placer des valves réductrices à l'arrivée des

points de consommation qui ne peuvent pas supporter des pressions aussi élevées.

2.1.2.2. Conductions

Le fonctionnement d'une installation de distribution d'eau dépend généralement du type et de la taille des conductions utilisées.

2.1.2.2.1. Matériaux

Ils déterminent la rugosité superficielle du tuyau qui sera en contact avec l'eau. Plus la rugosité du matériau est grande, plus les pertes de charges sont importantes. Elle est habituellement donnée en millimètres. Les valeurs suivantes sont les valeurs habituelles de la rugosité absolue dans un projet.

Valeurs habituelles de rugosité absolue	
PVC	0.0025 mm
Fibrociment	0.0250 mm
Fonte recouverte	0.0300 mm
Fonte non recouverte	0.1500 mm
Fer galvanisé	0.1500 mm
Béton armé	0.1000 mm
Béton lisse	0.0250 mm

Table 2.3

2.1.2.2.2. Diamètres

Les matériaux à utiliser sont disponibles dans les bibliothèques. Chaque matériau est donné avec sa caractéristique de rugosité absolue et une série de diamètres. Ces bibliothèques sont définissables par l'utilisateur. Ce dernier peut modifier les coefficients de rugosité ainsi que supprimer ou ajouter des diamètres aux séries.

Pour chaque matériau, il existe des séries de diamètres normalisés prédéfinis. En général, ceux-ci possèdent la mention 'DN' jointe à la dimension du diamètre en millimètres.

Un 'DNx' ne signifie pas que le diamètre intérieur de la conduction soit de x millimètres. Elle sera probablement inférieure, mais cela doit être consulté pour chaque cas. Les matériaux prédéfinis provenant des bibliothèques prennent en compte cette différence et elle peut être consultée directement dans ladite bibliothèque ou lors de l'attribution du diamètre de chaque tronçon. Pour les matériaux créés ou édités, c'est l'utilisateur lui-même qui devra désigner le diamètre intérieur de la conduction.

Les conductions et les valves de grands diamètres engendrent des pertes de charges inférieures et diminuent la vitesse de circulation, mais augmentent le coût de l'installation et accroissent le risque d'avoir des vitesses excessivement basses ou des pressions trop élevées dans les nœuds.

2.1.2.2.3. Considération des éléments spéciaux

Du fait de nécessités constructives ou de contrôle, les installations d'approvisionnement en eau requièrent l'utilisation d'éléments spéciaux différents des tuyaux tels que des valves (dans leurs différentes variantes), des coudes, des réductions,...

Il est possible d'introduire différents types de valves selon leur fonction dans le système. Elles peuvent être classées comme suit :

- **Valve de régulation.** Ses positions intermédiaires produisent des pertes de charges dans l'installation, le but étant de varier la distribution des pressions dans cette dernière. Elle peut également être utilisée comme valve tout ou rien. Différents degrés d'ouverture peuvent être définis pour chaque combinaison.

Du point de vue constructif, il existe plusieurs valves remplissant cette fonction : vanne, valve papillon, valve plate, ... Cependant, il faut fournir les données du fabricant relatives au coefficient adimensionnel de pertes à valve ouverte et la table de relation des pertes avec le degré d'ouverture de la valve en question.

- **Valve anti-retour ou de rétention.** Elle permet le passage de l'eau seulement dans un sens. Ses applications sont diverses : éviter les re-circulations en by-pass, rendre indépendantes les zones de l'installation avec des points de distribution distincts, etc. Le type de valve réalisant ces fonctions est constructivement très différent des précédents. Selon la conception, cette valve possèdera des pertes de charges dans son sens de passage et une fermeture rapide lors d'une circulation d'eau en sens contraire. Les données requises sont le coefficient de pertes à valve ouverte et son sens par rapport au tuyau (de l'origine à l'extrémité).
- **Valve de contrôle de pression.** C'est une valve de régulation contrôlée par la pression. Sa position de fermeture fera que l'eau à la sortie de la valve atteigne la consigne de pression établie, chaque fois que l'eau arrive à celle-ci avec une pression trop élevée. Différentes pressions peuvent être définies pour chaque combinaison. Si l'installation possède une pression inférieure à celle consignée, seules les pertes à valve ouverte seront introduites.
- **Valve de contrôle de débit.** Cette valve de régulation a un fonctionnement semblable à la précédente, excepté que la consigne est le débit. De même que précédemment, il est possible de définir différents débits pour chaque combinaison. Si le flux est inférieur ou égal à celui consigné, seules les pertes à valve ouverte seront introduites.

Le reste des éléments spéciaux de l'installation (réductions, coudes, ...) peuvent être regroupés en un même type qui requière uniquement le coefficient adimensionnel de pertes donné dans les catalogues des fabricants.

• Pompes

Les installations de distribution d'eau peuvent être intercalées avec des éléments d'apport d'énergie tels que des turbopompes pour franchir des obstacles géographiques.

On distingue trois grands groupes en fonction de la trajectoire du fluide le long du rotor :

Centrifuges. Ce sont les plus utilisées. Elles sont spécialement indiquées pour des débits moyens et des hauteurs notables.

Hélicentrifuges. Leur champ d'utilisation est intermédiaire entre les pompes centrifuges et les pompes axiales. Les éléments la constituant (turbine, diffuseur,...) peuvent être communs aux premières ou aux secondes selon les cas.

Axiales. Elles sont utilisées pour l'élévation de grands débits à une hauteur plutôt réduite. Leur installation se fait presque toujours suivant l'axe vertical et en submersion dans le réservoir d'aspiration.

Une turbopompe est définie par la courbe caractéristique obtenue à partir des essais réalisés par le fabricant. Elle doit être détaillée dans les catalogues.

L'équation suivante représente la pompe à une vitesse de rotation donnée, où H_b est la hauteur manométrique de la pompe et Q le débit traversant.

$$H_b = H_b(Q)$$

Autrement dit, en fonction du débit développé par la pompe, il se produira une augmentation de l'énergie dans le fluide qui correspondra à la différence de pression manométrique (hauteur manométrique H_b) qui existe entre l'entrée et la sortie de la pompe. Ceci en supposant que les tuyaux d'aspiration et d'impulsion soient de même diamètre.

L'angle de sortie du fluide du rotor β est généralement petit (entre 15° et 35°) afin de réduire les pertes par friction dans les éléments venant à la suite du rotor. La

courbe sera donc de pente décroissante lorsque $\beta < 90^\circ$.

Le programme permet uniquement de définir la courbe de la pompe avec une pente décroissante, étant donné que c'est une condition de conception habituelle dans les pompes centrifuges.

Les courbes de puissance et de rendement en fonction du débit présentent également un intérêt et sont normalement fournies dans les catalogues des pompes. Elles caractérisent les prestations et la qualité de conception de la turbomachine mais ne sont cependant pas nécessaires et donc non requises dans ce programme.

$$P_b = P_b(Q)$$

$$\eta_b = \eta_b(Q)$$

A défaut des données du fabricant, il est possible d'utiliser la table suivante de valeurs du coefficient adimensionnel de pertes pour les valves en position ouverte :

Valves (ouvertes)	Coef. Pertes
A bille	$K = 0,1$
Vanne	$K = 0,1 - 0,3$
Anti-retour	$K = 1,0$
Clapet standard. Clapet en fonte	$K = 4,0 - 10,0$
Clapet standard. Clapet forgé (petit)	$K = 5,0 - 13,0$
Clapet à 45° . Clapet en fonte	$K = 1,0 - 3,0$
Clapet en angle. Clapet en fonte	$K = 2,0 - 5,0$
Clapet en angle. Clapet forgé (petit)	$K = 1,5 - 3,0$
Papillon	$K = 0,2 - 1,5$
Diaphragme	$K = 2,0 - 3,5$
Mâle ou à bouchon. Rectangulaire.	$K = 0,3 - 0,5$
Mâle ou à bouchon. Circulaire.	$K = 0,2 - 0,3$

Table 2.4

Dans les valves partiellement ouvertes, pour l'augmentation des pertes par rapport à la valeur du coefficient en ouverture totale, on peut prendre :

Coefficient K/K (ouverte)			
Condition	Vanne	Sphère	Papillon
Ouverte	1,0	1,0	1,0
Fermée à 25%	3,0 – 5,0	1,5 – 2,0	2,0 – 15,0
Fermée à 50%	12 – 22	2,0 – 3,0	8 – 60
Fermée à 75%	70 – 120	6,0 – 8,0	45 – 340

Table 2.5

Dans certains cas, les pertes de charge ayant lieu dans ces éléments peuvent être prises en compte en multipliant la longueur physique des tronçons par un pourcentage, de manière à obtenir une longueur résistante qui inclut ces pertes de charge localisées.

Cette augmentation de longueur s'appliquera seulement au moment du calcul, et non sur la mesure de la tuyauterie.

2.1.2.3. Excavations

Les conductions de distribution d'eau potable sont généralement enterrées. Il est donc habituel d'excaver des tranchées pour recevoir les conductions.

La forme de la tranchée, le volume d'excavation, et une série d'autres facteurs peuvent se révéler intéressants lors du calcul de l'installation.

2.1.2.3.1. Caractéristiques du terrain

La forme de la tranchée dépend principalement des caractéristiques du terrain où sera enterrée la conduction.

Il est donc nécessaire de connaître les sols dans lesquels sera réalisée l'excavation ainsi que quelques caractéristiques propres au processus d'installation de la conduction :

- **Talus.** Représente l'inclinaison maximale d'une paroi excavée dans un terrain sans qu'il ne s'écroule. Il est en général exprimé en mètres d'ouverture horizontale par mètre excavé verticalement.
- **Distance latérale.** Distance minimale à laquelle la conduction devra se trouver des parois de la tranchée.
- **Largeur minimale.** Pour des raisons de limitations mécaniques, on ne peut pas construire des tranchées excessivement étroites. Dans le cas où la conduction possède un petit diamètre, et qu'en appliquant les distances latérales requises, cette largeur minimale n'est pas atteinte, c'est cette dernière qui sera prise comme largeur de calcul.
- **Lit.** Distance entre le fond de la tranchée et la base de la conduction. Elle est généralement remblayée avec du sable, bien que, dans certains cas, il soit possible de trouver des couches en béton.
- **Remblai.** Une fois la conduction déposée sur le lit, la tranchée est remblayée avec du sable jusqu'à recouvrir la conduction. L'épaisseur de sable au-dessus de la conduction sera appelée distance de remblai.

2.1.2.3.2. Dimensions

Pour calculer l'excavation, il est nécessaire de connaître les profondeurs de celle-ci :

- **Cote du nœud.** Indique la cote de la partie inférieure de la conduction en chacun des nœuds de l'installation. Ces cotes sont également nécessaires pour le calcul hydraulique des conductions.

- **Cote du terrain.** C'est la cote à laquelle se trouve le terrain modifié, c'est-à-dire la cote du terrain une fois aplani sur lequel sera réalisée l'excavation.
- **Cote du terrain naturel.** C'est la cote à laquelle se trouvera la surface après avoir refermé les tranchées et posé le revêtement sur le terrain.

L'épaisseur du revêtement est généralement constante sur tout l'ouvrage. Donc seules les cotes du terrain naturel seront nécessaires, le terrain en étant déduit en soustrayant l'épaisseur du revêtement. S'il n'y a pas de revêtement (épaisseur 0), le terrain naturel et le terrain coïncideront.

Tout ce qui précède est applicable aux nouveaux ouvrages. S'il s'agit de réparations ou de modifications, il est possible de rencontrer des dimensions différentes puisqu'il existe deux couches de caractéristiques différentes aux effets de l'excavation.

2.1.2.3.3. Limitations

Du fait de la situation sous terre des différents types d'installations (électricité, eau, gaz, téléphone, ...), une limitation de **profondeur minimum** est généralement établie afin d'éviter les collisions avec d'autres installations.

Cette profondeur minimum est mesurée depuis la cote du terrain naturel jusqu'à la face supérieure de la conduction.

Le respect de ces profondeurs minimums permet d'éviter la rupture accidentelle de la conduction lors de futures excavations.

2.1.3. Calcul (Option Calculer)

Une fois les données de départ recueillies, on procède au calcul de l'installation, en accord avec les types de conductions, de diamètres, d'éléments intercalés, de dé-

bits demandés et de pressions de distribution. Pour cela, on utilise la formulation et la méthode de résolution expliquées ci-après.

2.1.3.1. Formulation tuyaux

Dans les installations hydrauliques, pour la résolution du système d'équations maillé, ramifié ou mixte, on utilise la méthode des éléments finis de forme discrète.

Pour résoudre les segments de l'installation, on calcule les chutes de hauteurs piézométriques, entre deux nœuds connectés par un tronçon, avec la formule de Darcy-Weisbach :

$$h_p = f \cdot \frac{8 \cdot L \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5}$$

Avec :

h_p : Perte de charge (m.c.e.)

L: Longueur résistante de la conduction (m)

Q: Débit circulant dans la conduction (m³/s)

g: Accélération de la gravité (m/s²)

D: Diamètre intérieur de la conduction (m)

Le facteur de friction f est fonction :

- **Du nombre de Reynolds (Re).** Il représente la relation entre les forces d'inertie et les forces visqueuses dans le tuyau.
 - Lorsque les forces visqueuses sont prédominantes (Re faible), l'écoulement du fluide dans le tuyau est laminaire.
 - Lorsque les forces d'inertie prédominent sur les forces visqueuses (Re élevé), le fluide cesse de se déplacer de manière ordonnée (laminaire) et passe à un régime turbulent, dont l'étude exacte est pratiquement impossible.

Lorsque le régime est laminaire, l'importance de la rugosité par rapport aux pertes dues au propre comportement visqueux du fluide est moins importante qu'en régime turbulent.

Au contraire, en régime turbulent, l'influence de la rugosité est plus manifeste.

- De la rugosité relative (ϵ/D). Elle traduit mathématiquement les imperfections du tuyau.

Dans le cas de l'eau, les valeurs de transition entre les régimes laminaires et turbulents pour le nombre de Reynolds se trouvent comprises entre 2000 et 4000. Elles se calculent de la manière suivante :

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

Avec :

v: Vitesse du fluide dans la conduction (m/s)

D: Diamètre intérieur de la conduction (m)

ν : Viscosité cinématique du fluide (m^2/s)

Pour les valeurs de Re se trouvant sous la valeur limite de turbulence, il est conseillé d'utiliser la formule de Poiseuille pour obtenir le facteur de friction :

$$f = \frac{64}{Re}$$

En régime turbulent, il est conseillé d'utiliser l'équation de Colebrook-White :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left(\frac{\epsilon}{3,7 \cdot D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

La valeur de f est obtenue par itération.

f: Facteur de friction

ϵ : Rugosité absolue du matériau

D: Diamètre intérieur de la conduction (m)

Re: Nombre de Reynolds

On suppose les paramètres suivants :

- Viscosité cinématique du fluide : $1,15e-6 m^2/s$.
- Nombre de Reynolds de transition entre régime turbulent et régime laminaire : 2500.

On ne peut malheureusement pas s'assurer que, pour la valeur seuil de Reynolds choisie comme point de transition entre régime laminaire et régime turbulent ($Re = 2500$), le facteur de friction calculé par Poiseuille soit égal à celui calculé par Colebrook-White.

Pour cela, lors du calcul du facteur de pertes, il est nécessaire de réaliser une première itération avec Colebrook-White.

Si cette itération fournit une valeur de débit dans la zone laminaire, le calcul est réalisé à l'aide de Poiseuille.

Si Poiseuille donne un résultat se trouvant dans la zone turbulente, la valeur définitive prise est celle obtenue par la formule de Colebrook-White.

2.1.3.2. Tuyaux avec consommations distribuées

Pour la résolution d'un tronçon avec consommation uniforme, on réalise une discrétisation des débits demandés par mètre linéaire en petites consommations ponctuelles.

L'introduction de cette discrétisation augmente le nombre de nœuds de l'installation, et de ce fait, augmente le nombre d'équations du système. Ceci implique une augmentation du temps de calcul similaire à celui engendré par l'introduction manuelle de chacun des nœuds générés par cette discrétisation.

Une fois la solution du système d'équation obtenue pour les sous tronçons, on obtient un débit et une vitesse variant linéairement avec la longueur du tronçon et la courbe correspondante des pressions qui pourra varier selon si la tuyauterie possède une valve intercalée, un apport de débit aux deux extrémités, etc.

Ce dernier cas engendre un parcours du fluide dans le tronçon dans les deux sens, leur rencontre le long d'un même point de débit et de vitesse nulle correspondant à une pression minimum (chute maximale dans le tronçon).

2.1.3.3. Formulation valves

Les pertes locales dans les valves ou autres éléments intercalés se calculent au moyen de la formule suivante qui, après substitution des termes pour faire apparaître une forme équivalente à la formule de Darcy-Weisbach, s'exprime de la manière suivante :

$$h_p = K \cdot \frac{V^2}{2g} \rightarrow h_p = K \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^4}$$

Avec :

h_p : Perte de charge (m.c.e.)

Q: Débit circulant par la valve (m³/s)

g: Accélération de la gravité (m/s²)

D: Diamètre intérieur de la valve (m)

Le coefficient adimensionnel K pour les pertes locales dépend du type d'élément dont il s'agit : courbes, coudes, téés ou autres accessoires, valves ouvertes ou partiellement fermées. Généralement, ce terme de chute de pression se mesure expérimentalement et, surtout dans le cas des valves, dépend de la conception du fabricant. Dans les tables précédentes, vous avez pu observer quelques valeurs usuelles. Généralement, K diminue avec l'augmentation du diamètre.

Certains types de valves influent de manière spéciale le calcul de l'installation :

- **Valve anti-retour.** Selon le sens dans lequel le débit tente de circuler dans le tronçon où elle est installée (toujours de la plus grande hauteur piézométrique à la plus petite), on considère que la valve affecte l'installation avec le K de la valve ouverte ou comme valve complètement fermée avec un coefficient K des pertes infini. Dans ce dernier cas, c'est-à-dire lorsque la valve empêche la circulation de l'eau, un apport de débit sera nécessaire depuis un autre point de l'installation ; si ce n'est pas le cas, un problème de calcul apparaîtra.
- **Valve de contrôle de pression.** La résolution d'un système avec ce type de valve se fait par une première itération en considérant les chutes de pression pour les valves initialement ouvertes. Les pressions dans les nœuds sont obtenues et il est vérifié que les pressions des eaux en aval sont supérieures à celles sélectionnées dans la valve.

Si la valeur de consigne n'est pas atteinte, les pertes sont introduites en utilisant la formule générale des pertes locales avec la constante K pour valve ouverte. Si la valeur de la pression d'un point d'eau sous la valve atteint ou dépasse la pression sélectionnée dans la valve, cette dernière se ferme jusqu'à la position engendrant les pertes de charges nécessaires pour atteindre la pression de consigne.

Cette modification change les conditions du réseau et modifie la distribution des pressions de façon à ce qu'à l'itération suivante, cette régulation soit ajustée jusqu'à ce que les différences soient minimales.

- **Valves de contrôle de débit.** Le contrôle du débit se fait de manière similaire en vérifiant les débits circulant par le tronçon de la valve avec le débit sélectionné.

Les pertes dans la valve augmentent tant que le débit dans ce tronçon ne dépasse pas celui sélectionné en faisant que les consommations soient atteintes via l'apport d'eau provenant des autres tronçons de l'installation. S'il n'y a pas d'apport pour toutes les consommations de l'installation, le programme avisera qu'il existe un problème de calcul.

Si la valve se trouve dans un tuyau situé dans un terrain incliné, avec des cotes différentes pour ses nœuds, la hauteur piézométrique de la valve est calculée avec la pression arrivant ou à partir de celle sélectionnée au départ plus la cote réelle du terrain. Il est donc recommandé de placer les valves de contrôle de pression proches du point de consommation que vous souhaitez contrôler afin d'avoir des hauteurs piézométriques similaires.

2.1.3.4. Formulation pompes

Pour calculer une installation dans laquelle il existe une pompe d'impulsion d'eau, une expression mathématique modélisant la courbe obtenue expérimentalement lors d'essais pour la pompe est nécessaire.

Généralement, les fabricants fournissent, dans leurs catalogues, des graphiques permettant d'obtenir les points de fonctionnement à partir desquels la pompe sera ajustée analytiquement en utilisant la méthode des minimums carrés.

La forme analytique de la courbe caractéristique de la pompe correspond à une parabole de second degré de la forme suivante :

$$h_p = C - B \cdot Q - A \cdot Q^2$$

Avec :

h_p : Incrément de hauteur manométrique (m.c.e)

Q : Débit circulant par la pompe (m^3/s)

C, B, A : Coefficients calculés

Le terme Q est habituellement supprimé car il représente la partie ascendante du graphique loin des points de fonctionnement recommandés pour la pompe. De l'équation, il reste donc :

$$h_p = C - A \cdot Q^2$$

Le coefficient C sera toujours positif car il représente la hauteur de la pompe pour un débit nul. Le terme AQ^2 est négatif car la courbe doit être concave vers le bas. Le programme permet l'introduction directe des coefficients de modélisation de la pompe à vérifier dans l'installation ou bien l'introduction de points débit-hauteur obtenus dans les graphiques des catalogues.

Sous la liste où doivent être introduits les points, le dialogue montre la courbe d'ajustement réalisée par la méthode des minimums carrés. Les points doivent être introduits par ordre de débits croissants et de hauteurs décroissantes. Si les paramètres obtenus en ajustant les points se trouvent être en dehors des limites normales, la courbe de la pompe ne sera pas représentée sur le graphique.

ATTENTION : Pour situer une pompe dans un tuyau se trouvant dans un terrain incliné, avec des cotes différentes à ses nœuds, il faut prendre en compte que la hauteur piézométrique de la pompe se calcule avec la pression qui y arrive, plus la cote du terrain réel. Les pompes sont généralement installées au point le plus bas de l'installation pour éviter les problèmes d'alimentation.

2.1.3.5. Résolution du système maillé

Pour résoudre le système maillé, on utilise une variante de la méthode discrétisée des éléments finis.

Le modèle de la conduction est considéré comme une matrice de raideur $[K]$ pour chacun des éléments du réseau :

$$[K] = G^{(e)} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

Avec $G^{(e)}$ le facteur de raideur de l'élément e.

Est ensuite réalisé le regroupement des matrices de raideur de l'installation en une seule matrice dont l'inversion est abordée par des méthodes frontales.

Grâce à cette méthode, il est possible de résoudre indifféremment des systèmes maillés, ramifiés ou mixtes, avec un ou plusieurs points de distribution à pression fixe.

2.1.3.6. Conception (Option Dimensionner)

Si, après le calcul, il existe des tronçons ou des nœuds qui ne vérifient pas toutes les limitations imposées, il est possible de recourir à un prédimensionnement automatique optimal.

Du fait de la complexité du comportement des systèmes maillés, de la non linéarité et de la nécessité d'itération que présentent les installations hydrauliques, le dimensionnement doit être réalisé par une méthode d'essai et de rectification.

Lors du prédimensionnement, le programme se chargera d'optimiser et de sélectionner le diamètre minimum vérifiant toutes les restrictions (vitesse, pression).

Pour initier le dimensionnement, on attribue à chacun des tronçons le plus petit diamètre de la série de matériau sélectionné.

Le matériau du tronçon ne sera en aucun cas modifié lors du dimensionnement car les variations dans le matériau utilisé pour un ouvrage sont habituellement des limitations imposées à la conception par des facteurs externes ou des normes.

Le calcul de cette première itération fournit une série de déviations sur les limites établies en vitesses et pressions. Le tronçon qui se situe dans les pires conditions, c'est-à-dire dont la déviation sur les limites de vitesse est la plus importante, est modifié comme suit :

- Si la vitesse du fluide est supérieure à la limite maximale, on augmente le diamètre.
- Si la vitesse du fluide est inférieure à la limite minimale, on diminue le diamètre.

Dans le cas où apparaissent des oscillations, c'est-à-dire qu'il existe une solution qui considère les deux limites, on choisit la condition la moins restrictive au niveau technique, c'est-à-dire que la vitesse minimale sera automatiquement retirée.

Une fois les tronçons vérifiant toutes les conditions, on vérifie que tous les nœuds respectent les conditions de pression maximale et minimale. Si ce n'est pas le cas, le diamètre des conductions les plus chargées, c'est-à-dire de celles qui ont une perte de charge unitaire majeure, sera modifié. Autrement, si aucune solution n'est applicable, le système éliminera automatiquement la condition de pression maximale.

Vous devez prendre en compte que le dimensionnement des installations avec valves de contrôle de débit ou de pression, se fait de la même façon. De ce fait, lors de l'obtention du diamètre optimal pour les tuyaux, il est possible que les pressions et les débits de l'installation soient inférieurs à ceux sélectionnés, et les valves ne sont donc plus nécessaires.

2.1.3.7. Unités

Le programme sollicite les données dans une série d'unités. Internement ce sont les unités requises pour la formu-

lation qui sont utilisées. Les unités utilisées sont les suivantes :

Grandeur	Demandes et résultats	Opération
L (Longueur)	mètres (m)	mètres (m)
D (Diamètre)	millimètres (mm)	mètres (m)
R (Rugosité)	millimètres (mm)	mètres (m)
Q (Débit)	litres par seconde (l/s) ou (m ³ /h)	mètres cubes par seconde (m ³ /s)
H (Hauteur piézométrique)	mètres colonne d'eau (m.c.e.)	mètres colonne d'eau (m.c.e.)
v (Vitesse)	mètres par seconde	mètres par

Table 1.6

2.2. Réseaux d'assainissement

2.2.1. Introduction

L'objectif fondamental dans la conception d'un réseau d'assainissement est d'évacuer l'eau depuis les puits de collecte jusqu'au point de déversement.

Le problème peut être abordé de deux façons différentes, à savoir :

- **Conception.** C'est le cas le plus courant. Il consiste à obtenir les dimensions adéquates des conductions à partir de l'eau collectée et de la topographie.
- **Vérification.** Ce cas consiste à contrôler une installation déjà conçue avec les limitations imposées ou considérées par le technicien.

Que vous souhaitiez concevoir ou que vous souhaitiez vérifier une installation, vous devez prendre en compte les règles suivantes :

- **Exigences sur le débit à évaluer.** Qu'il s'agisse des eaux noires (fécales) ou des eaux pluviales, il est nécessaire de respecter une série de conditions.
- **Facilité de construction.** Utilisation de matériaux, diamètres et autres éléments facilement disponibles sur le marché, et qui s'ajustent aux normes en ce qui concernent les dimensions et les comportements.
- **Entretien.** Obtenir un bon fonctionnement de l'installation afin d'éviter un entretien excessif et coûteux. Réaliser un entretien préventif.
- **Economie.** Il n'est pas suffisant que l'installation fonctionne, elle doit également être réalisée à un coût raisonnable en évitant tout surdimensionnement.

Une fois les données nécessaires collectées, on effectue le calcul en suivant la formulation adaptée à chaque cas.

2.2.2. Données préalables

2.2.2.1. Conditions de collecte

Plusieurs données sont nécessaires pour le calcul d'une installation. Ces données sont, en définitive, celles qui marquent le comportement de cette dernière.

2.2.2.1.1. Débits collectés par le réseau

C'est généralement la condition principale au fonctionnement de l'installation. Pour le calcul des débits récoltés dans chaque puits, on divise en deux sources :

- **Eaux noires (fécales).** Ce sont celles provenant du développement des activités urbaines, industrielles, etc. Cet apport peut être estimé relativement facilement car sa valeur est étroitement liée à la consommation d'eau potable.
- **Eaux pluviales.** Elles proviennent de la récolte des eaux de pluie. L'estimation de cette valeur est plus

compliquée. En général, les volumes d'eau récoltés sont plus importants.

De plus, le calcul des débits apportés dépend également du type de réseau d'assainissement :

- **Réseaux mixtes.** Ils récoltent les eaux noires et les eaux pluviales. Le calcul réalisé est basé sur deux conditions : vitesse minimale pour le seul apport des eaux fécales, et vitesse maximale en additionnant les apports d'eaux pluviales et fécales.
- **Réseaux séparés.** Ils sont établis comme des réseaux indépendants, et se calculent donc indépendamment avec les débits soit des eaux fécales soit des eaux pluviales.

Dans tous les cas, les réseaux d'assainissement doivent être **ramifiés**, avec **un seul point de déversement**. Son fonctionnement doit être, sauf pour les cas qui requièrent un calcul spécial, en **lame libre**. Il existe des méthodes de calcul pour résoudre des réseaux maillés d'assainissement, mais leur utilisation requière une modélisation et leur valeur est limitée.

Le débit devant être obtenu à chaque nœud de l'installation doit être estimé selon la base du type de distribution (urbain, industriel, rural,...).

Dans le cas d'une consommation urbaine, le débit est généralement ajusté au nombre d'habitants de la ville et du type de consommation (logement, hôtel,...).

Les tableaux 1.7 et 1.8 présentent, à titre indicatif, les valeurs habituelles pour les projets.

Lieu de consommation	Type	Consommation journalière
Logements	De petite ville	200 l/habitant
	De ville moyenne	250 l/habitant
	De grande ville	300 l/habitant
	De village	150 l/habitant
	De campagne isolés	500 l/habitant
Ecole	-	60 l/élève
Hôpital	-	500 l/lit
Caserne	-	250 l/habitant
Camping	-	100 l/habitant
Bureaux	-	50 l/habitant
Hôtel	Selon nombre d'étoiles	150 – 300 l/lit
Gymnase	-	200 l/habitant

Table 1.7

Type d'appareil	Débit en l/s
Baignoire	0,30
Bidet	0,10
Bouche à incendie équipée :	
Diamètre 25 mm	1,67
Diamètre 45 mm	3,00
Hydrant 100 mm	10,00
Douche	0,20
Evier	
Logement particulier	0,20
Restaurant / Hôtel	0,30
Machine à laver	0,20
Lavabo	0,10
Urinoir :	
Avec contrôle	0,10
Fluide continu	0,05
Bouche d'arrosage (ø25mm)	1,00
W.C. :	
Avec réservoir	0,10
À pression continue	2,00

Table 1.8

D'autre part, il faut prendre en compte non seulement les habitants actuels des zones à urbaniser mais également prévoir la possible croissance de la population qu'il faudra approvisionner avec le réseau calculé.

A titre indicatif, la population future peut être calculée de la façon suivante :

$$P = P_a \cdot (1 + \alpha)^t$$

Avec :

P : population future.

P_a : population lors du dernier recensement.

α : taux de croissance de la population

t : temps écoulé depuis le dernier recensement

Les débits calculés dans les puits de collecte pour le réseau d'assainissement sont les mêmes que ceux qui devront apparaître pour les débits de consommation dans le réseau d'eau.

Il faut prendre en compte que les réseaux d'eau potable doivent toujours être conçus et installés au-dessus des réseaux d'assainissement afin d'éviter la contamination de l'eau potable dans le cas d'une rupture ou d'une fissuration des installations d'assainissement.

Une fois le débit de consommation déterminé en chaque nœud, vous devez introduire une considération des pointes de consommation, qui se répercutera sur le débit à évacuer.

Généralement, et comme recommandation du M.O.P.U. dans ses instructions concernant la rédaction des projets de distribution et d'assainissement, on considère le débit de pointe obtenu durant 10 heures comme 2,4 fois le débit considéré dans l'estimation.

Dans certains cas, il peut être intéressant d'utiliser un coefficient qui augmente ou réduit les apports d'un réseau. Il

est ainsi possible de simuler des fonctionnements saisonniers ou ralentis.

Lors du calcul ce coefficient s'applique uniquement sur les débits apportés aux nœuds.

2.2.2.1.2. Apports distribués

Dans certains cas, il peut être utile de simuler les apports au réseau comme distribués linéairement le long d'un tronçon de conduction au lieu d'ajouter un grand nombre de puits de collecte.

Cela donne une première estimation de l'installation avec une introduction rapide des débits apportés le long d'un tronçon de conduction de grande longueur.

Il est possible de vérifier, à partir des résultats graphiques, le point à partir duquel la conduction entre en charge et de diviser le tronçon en deux avec les diamètres ou les pentes les mieux adaptés.

L'apport de débit uniforme doit être indiqué en mètre linéaire de conduction.

2.2.2.1.3. Infiltration

Le facteur d'infiltration définit les apports linéaires dans les conductions du fait de la porosité (qu'elle soit naturelle, due à une mauvaise conservation, à de la fissuration ou intentionnée).

Elle peut être définie au niveau général et appliquée à tous les tronçons de l'ouvrage, ou bien elle peut être définie à un niveau particulier pour un tronçon déterminé pour lequel on veut appliquer un taux d'infiltration différent.

Les niveaux d'infiltration de calcul dans les réseaux peuvent être estimés entre 0,0058 l/s (0,5 m³/jour) par cm de diamètre et km linéaire de conduction pour des conduc-

tions neuves et 0,0463 l/s (4 m³/jour) par cm de diamètre et km linéaire de conduction pour les conductions mal conservées.

2.2.2.1.4. Déversoirs

Le déversoir est le point final auquel arrive toute l'eau évacuée par le réseau d'assainissement. Ces points peuvent être :

- **Pompage.** Borne où l'eau récoltée est envoyée à pression, généralement jusqu'à un étage de traitement des eaux résiduelles.
- **Émissaire.** Tronçons de tuyau entrant dans la mer et qui mènent l'eau jusqu'à des points éloignés de la cote. L'émissaire calcule un calcul spécial qui n'est pas l'objet de ce programme, le point de déversement doit donc se trouver au niveau du raccordement et non à l'extrémité de l'émissaire.
- **Réseaux d'assainissement existants.** C'est la situation la plus habituelle dans laquelle notre réseau d'urbanisation se jette dans le réseau général d'assainissement urbain.

Les installations d'assainissement ne doivent avoir qu'un seul point de déversement.

2.2.2.1.5. Vitesse dans les conductions

Lors du dimensionnement d'un réseau d'assainissement, les principales limitations sont les suivantes :

- **Tirant d'eau.** L'eau doit circuler par la conduction dans la lame libre. Si le travail en charge de la conduction est nécessaire, le tronçon affecté doit être calculé comme un tronçon d'eau sous pression.
Un tronçon dont le tirant d'eau excède la dimension verticale maximale de la conduction entre en charge et les calculs de vitesse ne sont donc pas valides pour celui-ci.

- **Vitesse minimale.** Comme limite inférieure de vitesse, on peut utiliser la valeur 0,5 m/s, à moins qu'il existe une limitation de diamètre minimum empêchant le respect de cette vitesse dans certains tronçons, étant donné qu'en dessous de 0,5 m/s, apparaissent des processus de sédimentation et de stagnation.
- **Vitesse maximale.** La vitesse maximale est généralement comprise entre 2 et 5 m/s pour éviter les phénomènes d'érosion et de bruits.

2.2.2.2. Conductions

Le fonctionnement d'une installation d'assainissement dépend en grande partie du type, de la géométrie et de la taille des conductions employées.

2.2.2.2.1. Matériaux

Une plus petite rugosité du matériau engendre une plus grande vitesse dans le tronçon.

Ils déterminent la rugosité superficielle du tuyau qui sera en contact avec l'eau.

La manière d'exprimer la rugosité dépend majoritairement du type de formulation employée.

Dans le cas général de la formule de Manning-Strickler, les valeurs recommandées sont données dans le table 1.9.

Dans le cas de la formule de Prandtl-Colebrook, on utilise les valeurs de rugosité absolue, en mètres (table 1.10).

Si la formule utilisée est celle de Tadini, aucune valeur spécifique du matériau n'est requise.

Pour la formule de Bazin, les valeurs sont indiquées dans le table 1.11.

Si vous utilisez la formule de Sonier, voyez le table 1.12.

Pour la formule de Kutter, les valeurs du coefficient de rugosité sont celles du table 1.13.

La formule de Ganguillet-Kutter utilise le même facteur que la formule de Manning-Strickler (table 1.9).

Surface	Optimal	Bon	Moyen	Mauvais
Tuyau				
Fer fondu non revêtu	0.012	0.013	0.014	0.015
Fer fondu revêtu	0.011	0.012	0.013	0.014
Fer forgé commercial, noir	0.012	0.013	0.014	0.015
Fer forgé commercial, galvanisé	0.013	0.014	0.015	0.017
Béton	0.012	0.013	0.015	0.016
Verre et laiton, lisses	0.009	0.010	0.011	0.013
Soudés et de barre, lisses	0.010	0.011	0.013	0.014
Acier en spirale et avec rivets	0.013	0.015	0.017	0.018
Vitrifié pour réseau d'assainissement	0.010	0.013	0.015	0.017
Drainages argile commune, joints ouverts	0.011	0.012	0.014	0.017
Construction in situ				
Maçonnerie de brique vitrifiée	0.011	0.012	0.013	0.015
Brique et mortier, réseaux en brique	0.012	0.013	0.015	0.017
Surfaces de ciment lissé	0.010	0.011	0.012	0.013
Surface de mortier de ciment	0.011	0.012	0.013	0.015
Tuyau en planche de bois	0.010	0.011	0.012	0.013
Aqueducs en bois raboté	0.010	0.012	0.013	0.014
Aqueducs en bois non raboté	0.011	0.013	0.014	0.015
Gouttières avec baguettes	0.012	0.015	0.016	0.018
Canaux revêtus de béton	0.012	0.014	0.016	0.018
Surface de moëllons bruts	0.017	0.020	0.025	0.030
Surface de pierres sèches	0.025	0.030	0.033	0.035
Surface de moëllons dressés	0.013	0.014	0.015	0.017

Surface	Optimal	Bon	Moyen	Mauvais
Aqueducs et canaux				
Canaux semi-circulaires métal, lisses	0.011	0.012	0.013	0.015
Canaux semi-circulaires métal, plissés	0.023	0.025	0.028	0.030
Canaux en terre droits et uniformes	0.017	0.020	0.023	0.025
Canaux avec pierres, lisses et uniformes	0.025	0.030	0.033	0.035
Canaux avec pierres, rugueux et irréguliers	0.035	0.040	0.045	0.050
Canaux en terre à larges méandres	0.023	0.025	0.028	0.030
Canaux en terre dragués	0.025	0.028	0.030	0.033
Canaux d'irrigation couche rocailleuse, broussailles	0.025	0.030	0.035	0.040
Fond en terre, côtés avec pierres	0.028	0.030	0.033	0.035
Cours naturels				
Propres, rives en ligne droite	0.025	0.028	0.030	0.033
Rives droites, quelques herbes et pierres	0.030	0.033	0.035	0.040
Propres avec méandres	0.033	0.035	0.040	0.045
Profonds avec méandres	0.040	0.045	0.050	0.055
Méandres, avec étangs et pierres	0.035	0.040	0.045	0.050
Profonds avec méandres et pierres	0.045	0.050	0.055	0.060
Zones à écoulement lent avec herbes	0.050	0.060	0.070	0.080
Zones à écoulement lent avec beaucoup de mauvaises herbes	0.075	0.100	0.125	0.150

Table 1.9

Matériau	Rugosité absolue ε (m)
Grès	0.00010 – 0.00025 m
PVC	0.00010 – 0.00025 m
PRV	0.00020 – 0.00050 m
Fibrociment	0.00025 – 0.00040 m
Fonte revêtue	0.00040 – 0.00080 m
Béton normal	0.00080 – 0.00150 m
Béton rugueux	0.00120 – 0.00400 m

Table 1.10

Type de paroi de conduction	Coef. Bazin γ
Parois très lisses (bois raboté, enduit de ciment, fibrociment)	0.06
Parois lisses (pierre taillée, brique, béton)	0.16
Parois peu lisses (maçonnerie, pavés)	0.46
Parois de nature mixte (talus isolés)	0.85
Canaux normaux en terre (fonds et talus sans irrégularités)	1.30
Canaux en terre avec irrégularités (fonds roulés, paroi avec végétation ou pierres)	1.75

Table 1.11

Tuyaux	Facteur de friction de Sonier f_s
Enduits de ciment	0.00103
En béton	0.00214

Table 1.12

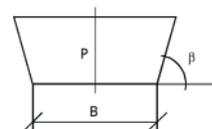
Section	Nature des parois	Coef. Kutter (m)
Circulaire	Plastique, fibrociment	0.10 – 0.15
	Ciment lisse, planches rabotées	0.15 – 0.20
	Béton lisse de haute qualité	0.20 – 0.25
	Béton lisse de qualité moyenne	0.30 – 0.35
Rectangulaire	Planches rabotées et bien assemblées	0.15 – 0.20
	Planches non rabotées, pierre de taille, enduits ordinaires	0.25 – 0.30
	Maçonnerie en pierre ou brique, entretenue	0.30 – 0.35
	Maçonnerie en pierre ou brique, normale	0.40 – 0.45
	Maçonnerie en pierre ou brique, ajustée	0.50 – 0.55
	Maçonnerie rugueuse avec joints boueux	0.60 – 0.75
Trapézoïdale	Maçonnerie détériorée avec joints boueux	0.90 – 1.00
	Petits canaux en roche ou en terre, rectangulaires sans végétation	1.25 – 1.50
	Canaux en terre, mal entretenus, avec végétation et cours réguliers	1.75 – 2.00
	Canaux en terre non entretenus, cours naturels avec boue et plantes	2.00 – 2.50

Table 1.13

2.2.2.2. Géométrie

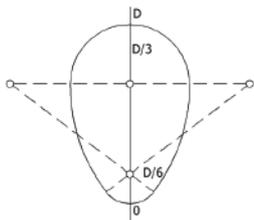
Dans certains cas, il peut être pratique d'utiliser un type de géométrie non circulaire qui peut être :

Section trapézoïdale

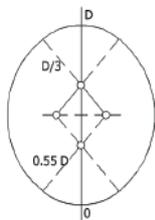


Avec B la base du trapèze, β l'angle de la paroi et P le tirant d'eau maximum.

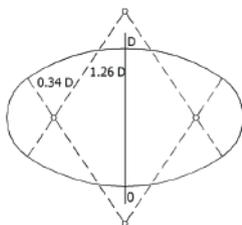
Section ovoïde



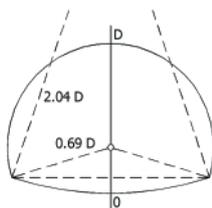
Section ovale verticale



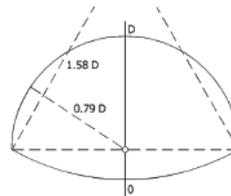
Section ovale horizontale



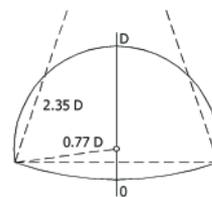
Section fer à cheval 1



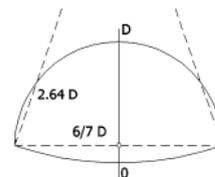
Section fer à cheval 2



Section fer à cheval 3



Section fer à cheval 4



Avec D la dimension considérée comme diamètre de base.

2.2.2.2.3. Diamètres

Les matériaux à utiliser dans l'ouvrage sont obtenus en utilisant les bibliothèques. Chaque matériau vient avec son coefficient et une série de dimensions de canalisations. Ces bibliothèques sont définissables par l'utilisateur, qui peut modifier les coefficients et ajouter ou retirer des diamètres à la série.

Pour chaque matériau, il existe des séries prédéfinies de diamètres normalisés. Ceux-ci possèdent généralement la notation 'DN' à côté de la dimension approchée de son diamètre en millimètres.

Un 'DNx' ne signifie pas que le diamètre intérieur de la conduction soit de x millimètres. Il sera sûrement inférieur, mais doit être consulté pour chaque cas. Les matériaux prédéfinis provenant des bibliothèques prennent cette différence en compte et elle peut être consultée directement dans la bibliothèque elle-même ou lors de l'attribution du diamètre à chaque tronçon. Pour les matériaux créés ou édités, c'est l'utilisateur lui-même qui désigne le diamètre intérieur de la conduction.

Plus les diamètres sont grands et plus la vitesse de circulation et la possibilité d'entrée en charge diminuent mais plus le coût de l'installation est élevé, et plus le risque d'obtenir des vitesses excessivement basses augmente.

2.2.2.3. Excavations

Les conductions d'assainissement dans les urbanisations sont généralement enterrées. Pour cela, il faut réaliser des tranchées pour recevoir les conductions.

La forme de la tranchée, le volume d'excavation et une série d'autres facteurs peuvent s'avérer intéressants lors du calcul d'une installation.

2.2.2.3.1. Caractéristiques du terrain

La forme qu'aura la tranchée dépend majoritairement des caractéristiques du terrain où se trouve la conduction. Pour cela, vous devez connaître les terrains qui seront excavés et certaines caractéristiques propres au processus d'installation de la conduction :

- **Talus.** Représente l'inclinaison maximale d'une paroi excavée dans un terrain sans qu'il ne s'écroule. Il est en général exprimé en mètres d'ouverture horizontale par mètre excavé verticalement.
- **Distance latérale.** Distance minimale à laquelle la conduction devra se trouver des parois de la tranchée.
- **Largeur minimale.** Pour des raisons de limitations mécaniques, on ne peut pas construire des tranchées excessivement étroites. Dans le cas où la conduction possède un petit diamètre, et qu'en appliquant les distances latérales requises, cette largeur minimale n'est pas atteinte, c'est cette dernière qui sera prise comme largeur de calcul.
- **Lit.** Distance entre le fond de la tranchée et la base de la conduction. Elle est généralement remblayée avec du sable, bien que, dans certains cas, il soit possible de trouver des couches en béton.
- **Remblai.** Une fois la conduction déposée sur le lit, la tranchée est remblayée avec du sable jusqu'à recouvrir la conduction. L'épaisseur de sable au-dessus de la conduction sera appelée distance de remblai.

2.2.2.3.2. Dimensions

Pour calculer l'excavation, il est nécessaire de connaître les profondeurs de celle-ci :

- **Cote du terrain.** C'est la cote à laquelle se trouve le terrain modifié, c'est-à-dire la cote du terrain une fois aplani sur lequel sera réalisée l'excavation.
- **Cote du terrain naturel.** C'est la cote à laquelle se trouvera la surface après avoir refermé les tranchées et posé le revêtement sur le terrain.
- **Profondeur de la conduction.** Elle peut changer le long de la conduction. Les profondeurs des extrémités doivent être indiquées.

- **Profondeur du puits.** Le fond du puits est mesuré depuis le terrain naturel. Cette distance doit toujours être supérieure ou égale à la profondeur des tronçons confluents. Si vous laissez cette valeur à 0, le programme la calculera automatiquement.

L'épaisseur du revêtement est généralement constante sur tout l'ouvrage. Donc seules les cotes du terrain naturel seront nécessaires, le terrain en étant déduit en soustrayant l'épaisseur du revêtement. S'il n'y a pas de revêtement (épaisseur = 0), le terrain naturel et le terrain coïncideront.

Tout ce qui précède est applicable aux nouveaux ouvrages. S'il s'agit de réparations ou de modifications, il est possible de rencontrer des dimensions différentes puisqu'il existe deux couches de caractéristiques différentes aux effets de l'excavation.

2.2.2.3.3. Limitations

Du fait de la situation sous terre des différents types d'installations (électricité, eau, gaz, téléphone,...), il est généralement établie une limitation de **profondeur minimum** devant être respectée afin d'éviter les collisions avec d'autres installations.

Cette profondeur minimum est mesurée depuis la cote du terrain naturel jusqu'à la face supérieure de la conduction.

Le respect de ces profondeurs minimums permet d'éviter la rupture accidentelle de la conduction lors de futures excavations.

2.2.3. Calcul (Option Calculer)

Une fois les données de départ recueillies, on procède au calcul de l'installation, en accord avec les types de conductions, de diamètres, d'éléments intercalés, de dé-

bits demandés et de pressions de distribution. Pour cela, on utilise la formulation et la méthode de résolution expliquées ci-après.

2.2.3.1. Formulation

Dans le cas d'installations d'assainissement, on utilise la méthode de dénombrement des débits des apports jusqu'au déversoir.

Pour cela, le réseau devra être **ramifié** et n'avoir qu'**un seul point de distribution**.

Du fait de la diversité des formules utilisées dans le calcul des conductions d'assainissement et des coutumes locales pour l'utilisation de celles-ci, il est possible d'utiliser n'importe quelle formule indiquée.

Ces formules fournissent un calcul approché car elles supposent un régime de circulation uniforme sur tout le trajet, lequel est pratiquement impossible dans les conductions réelles.

2.2.3.1.1. Formule de Prandtl-Colebrook

Partie de la formule de Darcy-Weisbach pour les conductions à pression :

$$I = f \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g \cdot D}$$

Avec :

I : Perte de charge (m.c.e.) par mètre de conduction. Si la conduction travaille en lame libre, il n'existe pas de pression dans la conduction et la perte de charge est uniquement due à la perte de cote géométrique. La perte de cote géométrique par unité de longueur de conduction correspond à la pente du sol de la conduction.

f: Facteur de friction de Darcy – Weisbach.

v: Vitesse du fluide circulant dans la conduction (m/s).

g: Accélération de la gravité (m/s²).

D: Diamètre intérieur de la conduction (m).

Le facteur de friction f est fonction :

- **Du nombre de Reynolds (Re).** Il représente la relation entre les forces d'inertie et les forces visqueuses dans le tuyau.
 - Lorsque les forces visqueuses sont prédominantes (Re faible), l'écoulement du fluide dans le tuyau est laminaire.
 - Lorsque les forces d'inertie prédominent sur les forces visqueuses (Re élevé), le fluide cesse de se déplacer de manière ordonnée (laminaire) et passe à un régime turbulent, dont l'étude exacte est pratiquement impossible.
Lorsque le régime est laminaire, l'importance de la rugosité par rapport aux pertes dues au propre comportement visqueux du fluide est moins importante qu'en régime turbulent.

Au contraire, en régime turbulent, l'influence de la rugosité est plus manifeste.

- **De la rugosité relative (ϵ/D).** Elle traduit mathématiquement les imperfections du tuyau.

Dans le cas de l'eau, les valeurs de transition entre les régimes laminaires et turbulents pour le nombre de Reynolds se trouvent comprises entre 2000 et 4000. Elles se calculent de la manière suivante :

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

Avec :

v : Vitesse du fluide dans la conduction (m/s)

D : Diamètre intérieur de la conduction (m)

ν : Viscosité cinématique du fluide (m²/s)

Il est conseillé d'utiliser l'équation de Colebrook-White pour le calcul du facteur de friction :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left(\frac{\epsilon}{3,7 \cdot D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

La valeur de f est obtenue par itération.

f : Facteur de friction

ϵ : Rugosité absolue du matériau

D : Diamètre intérieur de la conduction (m)

Re : Nombre de Reynolds

On suppose les paramètres suivants :

- Viscosité cinématique du fluide : 1,31e-6 m²/s.

En éliminant f dans les deux formules, on obtient :

$$v = -2 \cdot \sqrt{2 \cdot gDI} \cdot \log_{10} \left(\frac{\epsilon}{3,7 \cdot D} + \frac{2,51 \cdot v}{D \cdot \sqrt{2 \cdot gDI}} \right)$$

Cette formule est valable pour les conductions à section pleine.

Pour les sections circulaires, on utilise le coefficient correcteur de Thormann-Franke qui se base sur l'angle de remplissage :

$$W = \frac{V_p}{V} = \left[\frac{2\beta - \sin 2\beta}{2(\beta + \gamma \sin \beta)} \right]^{0,625}$$

Avec :

V : Vitesse à section pleine.

V_p : Vitesse à section partiellement pleine.

2β : Arc de la section majorée.

γ : Coefficient de Thormann qui représente le frottement entre le liquide et l'aire de l'intérieur de la conduction et qui se calcule de la façon suivante :

$$\eta = \frac{y}{D} \leq 0,5 \Rightarrow y = 0$$

$$\eta = \frac{y}{D} > 0,5 \Rightarrow y = \frac{\eta - 0,5}{20} + \frac{20 \cdot (\eta - 0,5)^3}{3}$$

y: Tirant d'eau du liquide.

D: Diamètre intérieur de la conduction.

L'unique inconvénient dans la formule de Pandtl-Colebrook est qu'elle se limite à des conduits circulaires, vu que l'obtention des coefficients correcteurs n'est pas habituelle pour d'autres sections.

2.2.3.1.2. Formule générale de Chezy

L'expression de Chezy regroupe une grande partie des formules approchées de calcul des conductions de toute section partiellement pleine :

$$v = C \cdot R_h^a \cdot I^b$$

Avec :

v: Vitesse du fluide dans la conduction (m/s).

C,a,b: Valeurs spécifiques suivant les différentes formulations.

R_h: Rayon hydraulique, obtenu comme section d'eau divisée par le périmètre majoré (m).

I: Pente du sol de la conduction (m/m).

2.2.3.1.3. Formule de Manning-Strickler

La formule la plus utilisée pour le calcul d'assainissement peut s'exprimer de la façon suivante :

$$v = \frac{1}{n} \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \quad ; \quad Q = \frac{1}{n} \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \cdot A_h$$

Avec :

A_h: Section du fluide (m²).

n: Coefficient de Manning. Cette valeur dépend du matériau (voir le paragraphe **Matériaux**) et de la géométrie de la canalisation, bien que cette dernière soit généralement négligée.

2.2.3.1.4. Formule de Tadini

C'est une des plus anciennes. Sa simplicité est telle qu'elle ne requière aucun paramètre du matériau utilisé :

$$v = 50 \cdot \sqrt{R_h \cdot I}$$

2.2.3.1.5. Formule de Bazin

Elle est particulièrement utilisée en France et son expression est la suivante :

$$v = \frac{87 \cdot R_h \cdot \sqrt{I}}{\gamma + \sqrt{R_h}}$$

Où γ est le coefficient de rugosité de Bazin. Il dépend de la nature des parois (voir le paragraphe **Matériaux**).

2.2.3.1.6. Formule de Sonier

Elle s'exprime de la façon suivante :

$$v = \frac{3,135}{\sqrt{f_s}} \cdot R_h^{0,65} \cdot \sqrt{I}$$

Où f_s est le facteur de friction de Sonier (voir le paragraphe **Matériaux**).

2.2.3.1.7. Formule de Kutter

Elle est notamment utilisée en Allemagne et en Belgique :

$$v = \frac{100 \cdot R_h \cdot \sqrt{I}}{m + \sqrt{R_h}}$$

Où m est le coefficient de rugosité de Kutter (voir le paragraphe **Matériaux**).

2.2.3.1.8. Formule de Ganguillet-Kutter

Elle était anciennement utilisée en Allemagne et aux Etats-Unis :

$$v = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0,00155}{I}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{I}\right) \cdot \frac{n}{R_h}}$$

Où n est le coefficient de Ganguillet-Kutter. Il coïncide avec le coefficient de Manning (voir le paragraphe **Matériaux**).

2.2.3.2. Conductions avec apports fournis

Pour la résolution d'un tronçon avec un apport uniforme, on réalise une discrétisation des débits apportés par mètre linéaire en petites consommations ponctuelles.

L'introduction de cette discrétisation augmente le nombre de nœuds que possède l'installation et par conséquent le nombre d'équations du système.

Cela implique une augmentation du temps de calcul similaire à celui nécessaire à l'introduction manuelle de chacun des nœuds des puits générés par cette discrétisation.

Une fois la solution du système d'équations pour les sous-tronçons obtenue, on obtient un débit linéaire variant avec la longueur du tronçon ainsi que les courbes correspon-

dant au tirant d'eau et à la vitesse, qui peuvent changer de trajectoire si la conduction entre en charge.

2.2.3.3. Conception (Option Dimensionner)

Si, après le calcul, il y a des tronçons et/ou des nœuds qui ne respectent pas toutes les limitations imposées, il est possible de réaliser un prédimensionnement optimal automatique.

Lors de l'utilisation d'une série de diamètres normalisés, s'il y a plusieurs géométries pour la section, on utilise la méthode d'essai et de rectification pour le prédimensionnement.

Au cours du prédimensionnement, le programme se charge d'optimiser et de sélectionner le diamètre minimum respectant toutes les restrictions (vitesse, tirant d'eau).

Pour initier le prédimensionnement, on commence par fixer le diamètre de chacun des tronçons au plus petit de la série du matériau assigné.

Le matériau du tronçon ne sera pas altéré lors du prédimensionnement étant donné que les variations du matériau utilisé pour un ouvrage sont généralement des limitations imposées par la conception par des facteurs externes ou par les normes.

Le calcul de la première itération fournit des écarts avec les limites établies pour les vitesses et les tirants d'eau.

Un tronçon qui ne respecte pas les conditions de tirant d'eau est augmenté et recalculé jusqu'à ce que, si les séries et les débits le permettent, aucun tronçon n'entre en charge.

A ce point, les vitesses de l'installation sont vérifiées.

Le tronçon se trouvant dans les pires conditions, c'est-à-dire celui dont la déviation avec les limites de vitesse est la plus importante, est modifiée de la façon suivante :

- Si la vitesse du fluide est supérieure à la limite maximale, le diamètre est augmenté.
- Si la vitesse du fluide est inférieure à la limite minimale, le diamètre est réduit.

Dans le cas où il y a des oscillations, c'est-à-dire s'il n'existe pas de solution qui prend en compte les trois limites, la condition la moins restrictive au niveau technique, c'est-à-dire la vitesse minimale, sera automatiquement supprimée.

2.2.3.4. Unités

Le programme requière les données en une série d'unités, et utilise internement les unités requises pour la formule. Les unités utilisées sont les suivantes :

Grandeur	Demandes et résultats	Opération
L (Longueur)	mètres (m)	mètres (m)
D (Diamètre)	millimètres (mm)	mètres (m)
R (Rugosité)	mètres (mm)	mètres (m)
Q (Débit)	litres par seconde (l/s) ou (m ³ /h)	mètres cubes par seconde (m ³ /s)
v (Vitesse)	mètres par seconde (m/s)	mètres par seconde (m/s)
I (Pente)	pourcent (%)	pour un (m/m)
v (Vitesse cinématique)	mètres carrés par seconde (m ² /s)	mètres carrés par seconde (m ² /s)

3. Concepts de base

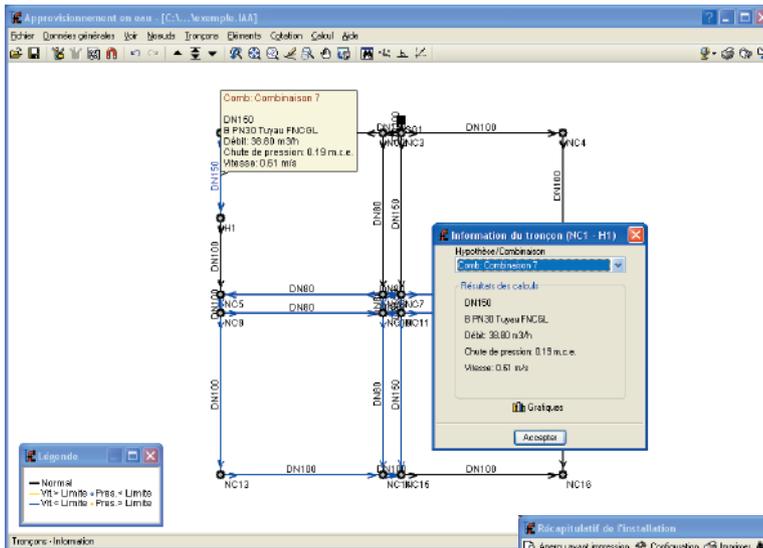


Fig. 3.1

3.1. Récapitulatifs

Les récapitulatifs de l'ouvrage s'obtiennent à travers l'option **Fichier > Imprimer > Récapitulatifs de l'ouvrage**.

Les récapitulatifs peuvent être envoyés vers une imprimante (avec vue préliminaire optionnelle, ajustage de la page, etc.) ou être générés en fichiers HTML, PDF, RTF et TXT.

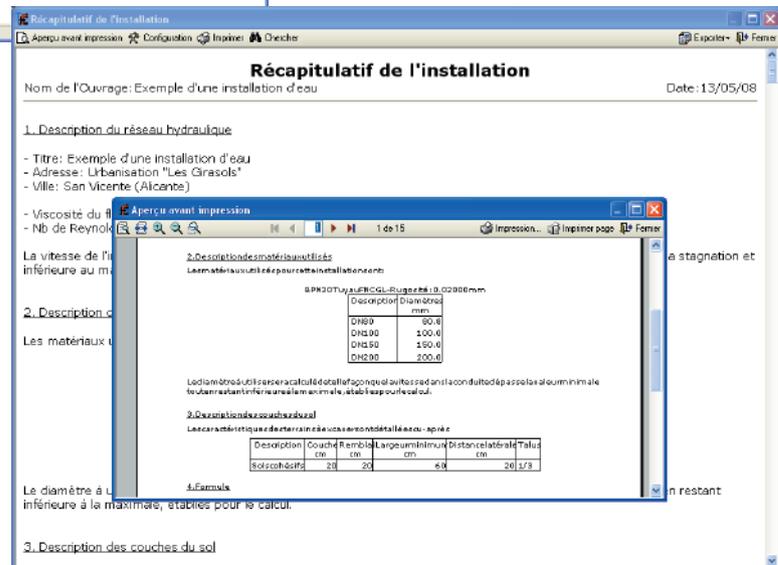


Fig. 3.1

3.2. Plans

Pour obtenir les plans, vous devez utiliser l'option **Fichier > Imprimer > Plans de l'ouvrage**.

Pour le dessin des plans, il est possible de réaliser les opérations suivantes :

- La fenêtre **Sélection des plans** permet d'ajouter un ou plusieurs plans pour les imprimer simultanément et spécifier le périphérique de sortie : imprimante, plotter, DXF ou DWG, de sélectionner un cadre (de CYPE ou défini par l'utilisateur) et de configurer les calques.

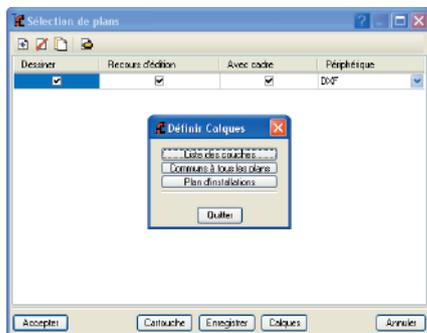


Fig. 3.3

- Dans chaque plan, configurez les éléments à imprimer, avec possibilité d'inclure des détails préalablement importés par l'utilisateur.



Fig. 3.4

- Modifier la position des textes.

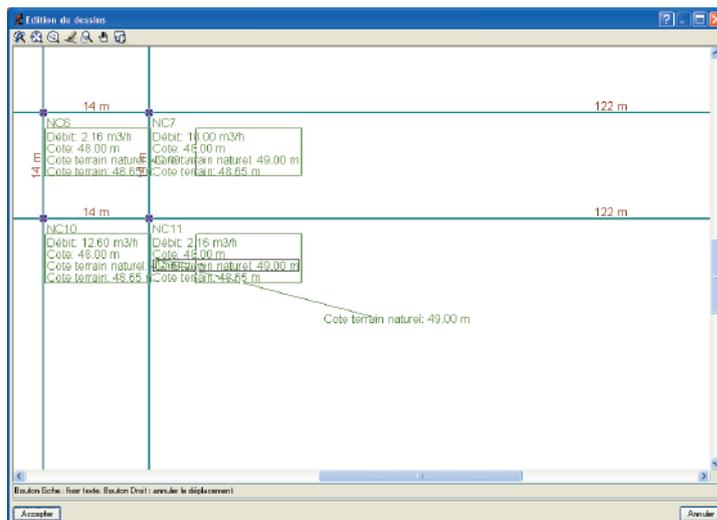


Fig. 3.5

- Resituer les objets à l'intérieur d'un même plan ou vers un autre plan.

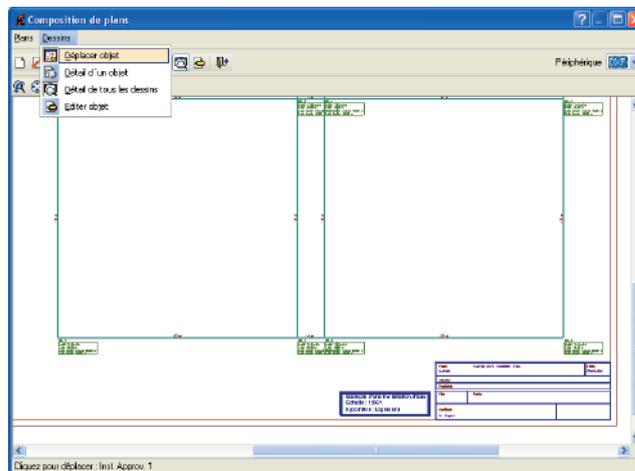


Fig. 3.6

4. Exemples pratiques

4.1. Approvisionnement en eau

Ci-après, vous trouverez un exemple pratique qu'il est conseillé de suivre pas à pas pour apprendre à manier le programme. L'exemple choisi consiste en la réalisation d'un réseau de distribution d'eau potable.

Cet ouvrage de l'exemple est fourni avec le programme, pour y accéder, suivez les étapes suivantes :

- Entrez dans le programme.
- Cliquez sur **Fichier > Gestion des fichiers**. La fenêtre **Sélection de fichiers** s'ouvrira.
- Cliquez sur le bouton **Exemples**.

Vous pourrez ensuite ouvrir le fichier de l'ouvrage disponible dans \CYPE Ingenieros\Exemples\Approvisionnement en eau. Le réseau est de type maillé et les consommations de calcul considérées sont celles spécifiées ci-après.

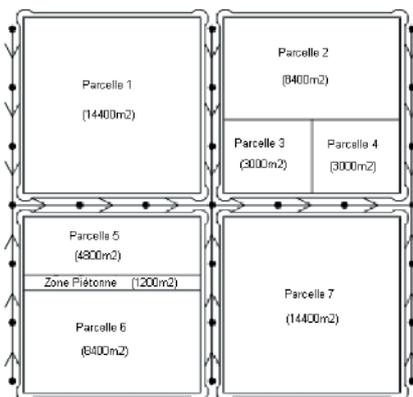


Fig. 4.1

La population est estimée d'après le Plan Partiel de la zone considérée. On considérera 4 personnes par logement.

La dotation par logement sera :

D (Dotation) :

300 litres par habitant et par jour avec un débit moyen.

Cjour (Coefficient de majoration journalière) :

1,25 (par pointes de consommation des fins de semaine).

Cheure (Coefficient horaire) :

2,4 (par pointes de consommation durant quelques heures par jour).

Q (Débit) :

$$Q = \frac{D}{24} \cdot C_{\text{jour}} \cdot \frac{C_{\text{heure}}}{3600} = \frac{300}{24} \cdot 1,25 \cdot \frac{2,4}{3600} = 0,011 \text{ l/s} \cdot \text{hab}$$

Dotation/log. :

$$4 \text{ hab/log} \cdot \text{débit l/s} \cdot \text{hab} = 4 \cdot 0,011 = 0,044 \text{ l/s} \cdot \text{hab}$$

Le débit pour les bouches d'arrosage dans les zones vertes sera de 1,5 l/s avec 2 bouches prévues. Le débit de chaque hydrante sera de 16,66 l/s. La dotation pour la zone commerciale sera de 7 l/s et de 5 l/s pour la zone d'enseignement. On calculera le réseau dans sa totalité, en commençant par un diamètre de 80 mm, qui est le minimum établi pour la population, pour l'ensemble de l'installation. Les hypothèses simples de calcul sont les suivantes :

- Logements
- Zone verte
- Hydrante 1
- Hydrante 2
- Hydrante 3
- Hydrante 4
- Hydrante 5

Les combinaisons de calcul suivantes sont établies :

1. (Logements). Avec la dotation correspondante à tous les logements (commercial + enseignement + logements).
2. (Log. + Z. verte). Avec la dotation correspondante à tous les logements et la mise en fonctionnement de deux bouches d'arrosage pour la zone verte avec un débit pour chacune d'elles de 1,5 l/s.
3. (Log. + Hydr1 + Hydr2). Avec la dotation correspondant à tous les logements et la mise en fonction de deux hydrantes simultanément (Hydrante1 + Hydrante2).
4. (Log. + Hydr1 + Hydr4). Avec la dotation correspondant à tous les logements et la mise en fonction de deux hydrantes simultanément (Hydrante1 + Hydrante4).
5. (Log. + Hydr2 + Hydr3). Avec la dotation correspondant à tous les logements et la mise en fonction de deux hydrantes simultanément (Hydrante2 + Hydrante3).
6. (Log. + Hydr2 + Hydr4). Avec la dotation correspondant à tous les logements et la mise en fonction de deux hydrantes simultanément (Hydrante2 + Hydrante4).
7. (Log. + Hydr2 + Hydr5). Avec la dotation correspondant à tous les logements et la mise en fonction de deux hydrantes simultanément (Hydrante2 + Hydrante5).
8. (Log. + Hydr3 + Hydr5). Avec la dotation correspondant à tous les logements et la mise en fonction de deux hydrantes simultanément (Hydrante3 + Hydrante5).
9. (Log. + Hydr4 + Hydr5). Avec la dotation correspondant à tous les logements et la mise en fonction de deux hydrantes simultanément (Hydrante4 + Hydrante5).

Les coefficients des combinaisons pour les hypothèses simples apparaissent dans le table 4.1.

Combinaison	Logements	Zone verte	Hydr1	Hydr2	Hydr3	Hydr4	Hydr5
1	1	0	0	0	0	0	0
2	0.8	1	0	0	0	0	0
3	0.5	0	1	1	0	0	0
4	0.5	0	1	0	0	1	0
5	0.5	0	0	1	1	0	0
6	0.5	0	0	1	0	1	0
7	0.5	0	0	1	0	0	1
8	0.5	0	0	0	1	0	1
9	0.5	0	0	0	0	1	1

Table 4.1

Le réseau de distribution d'eau qui sera introduit peut être observé sur la Fig. 4.2.

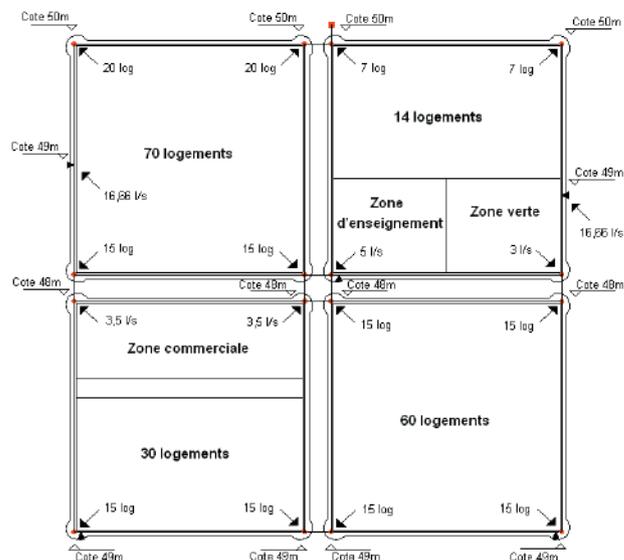


Fig. 4.2

4.1.1. Données générales

Activez l'option **Fichier > Nouveau**. Vous verrez apparaître la fenêtre **Nouvel Ouvrage**.

Donnez un nom à l'ouvrage.

Lorsque vous acceptez, le dialogue **Données générales de l'installation** s'ouvre.

4.1.1.1. Dossier général

Commencez par introduire les données générales de l'installation : titre, direction, lieu, date et notes.

Ces données générales apparaîtront dans les récapitulatifs de calcul de l'installation.



Fig. 4.3

Cliquez sur le bouton **Matériaux** pour sélectionner ceux qui seront utilisés dans l'ouvrage. Sélectionnez le matériau de la **Bibliothèque de CYPE** qui apparaît dans la figure suivante et cliquez sur le bouton  pour l'utiliser comme matériau de l'ouvrage.

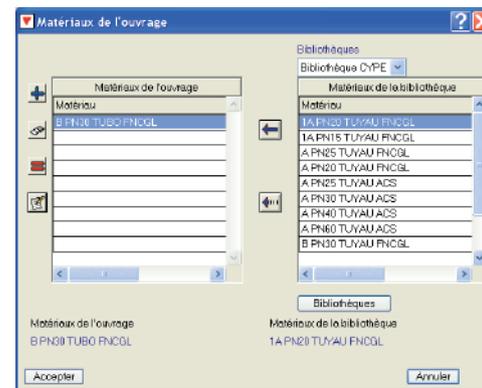


Fig. 4.4

Cliquez sur le bouton **Sols** pour sélectionner ceux qui interviendront dans l'ouvrage. Sélectionnez le sol de la **Bibliothèque de CYPE** qui apparaît dans la figure suivante et ajoutez-le comme terrain de l'ouvrage en procédant de la même façon que pour le matériau.

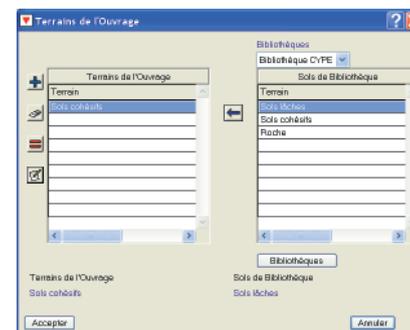


Fig. 4.5

4.1.1.2. Dossier Paramètres

La viscosité du fluide doit être de $1,15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Le nombre de Reynolds de transition est 2500.

4.1.1.3. Dossier Limites

Quelle que soit la combinaison, la vitesse maximale dans les tronçons sera de 2 m/s et la vitesse minimale sera de 0,5 m/s. La pression maximale dans les nœuds sera de 50 m.c.e et la pression minimale sera de 10 m.c.e.

4.1.1.4. Dossier Coefficients

Le coefficient de simultanéité sera de 1 et le coefficient de majoration des longueurs de 20%. La charge sera introduite par dotation et sera égale à 0,04 l/s (par logement).

Le préfixe pour les nœuds de consommation sera NC, celui de distribution SG et celui des nœuds de transition N.

4.1.1.5. Dossier Excavations

La profondeur minimale de cote du terrain naturel jusqu'à l'arête supérieure de la face intérieure de la conduction sera de 0,70 m, et l'épaisseur du revêtement sera de 0,35 m.

Activez la case **Montrer paramètres d'excavation**.

4.1.2. Hypothèses

Dans les premières pages de ce chapitre, on a spécifié les combinaisons et coefficients qui interviendront dans le calcul du réseau.

Cliquez sur **Données générales > Editer hypothèses** et configurez les hypothèses simples qui apparaissent ci-après.

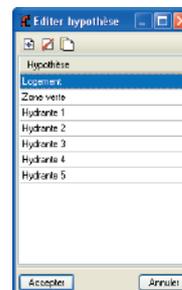


Fig. 4.6

4.1.3. Combinaisons

Cliquez sur **Données générales > Editer combinaisons**. Vous verrez apparaître une fenêtre contenant le nom des combinaisons et des coefficients de combinaison qui seront établis pour chaque hypothèse. Introduisez les valeurs indiquées dans le tableau des coefficients de combinaison pour les hypothèses simples au début de ce chapitre.

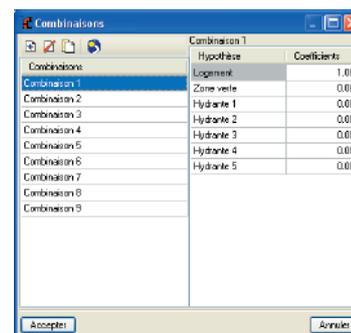


Fig. 4.7

4.1.4. Introduction de la géométrie

Le plus pratique est d'utiliser un DXF ou un DWG comme fond de plan pour introduire la géométrie. Pour installer le DXF de cet exemple dans votre disque dur, exécutez l'option **Fichier > Importer > Exemples d'installation**.

Ensuite, pour importer le fichier DXF au format propre du programme, suivez les étapes suivantes :

- Sélectionnez l'icône **Editer Fonds de Plan** de la barre d'outils. La fenêtre **Gestion des vues de DXF-DWG** s'ouvrira.

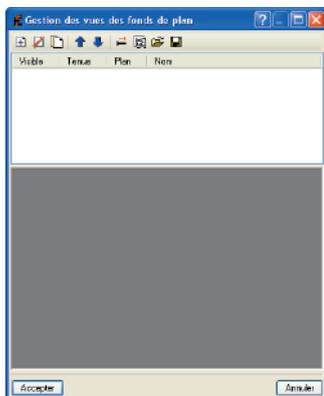


Fig. 4.8

- Cliquez sur l'icône **Ajouter**. La fenêtre **Sélection de fichiers DXF-DWG à lire** s'ouvrira. Chercher le fichier : \CYPE Ingenieros\Exemples\Approvisionnement en eau\eau.dxf.

Sélectionnez-le et ouvrez-le.

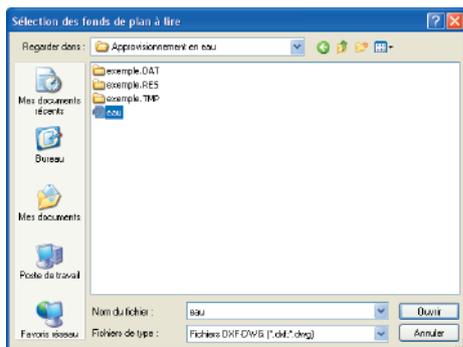


Fig. 4.9

- Cliquez sur **Accepter** pour revenir à la fenêtre **Gestion des vues de DXF-DWG** et cliquez de nouveau sur **Accepter** pour visualiser le DXF à l'écran.

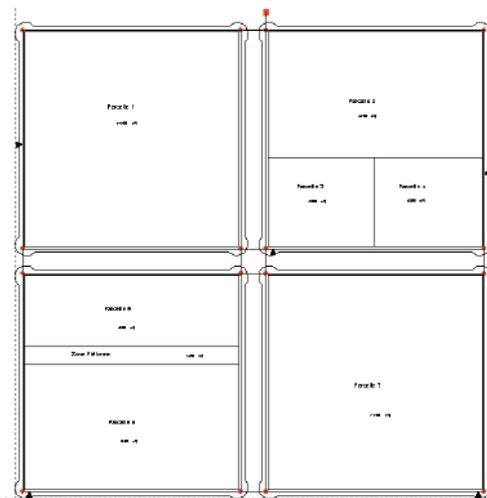


Fig. 4.10

Pour utiliser les captures, cliquez sur **Captures de fonds de plan** dans la barre d'outil et activez par exemple **Intersection** ou **Extrémité**.



Fig. 4.11

Introduisez les tronçons en utilisant l'option **Tronçons > Nouveau** en s'appuyant sur le fond de plan. Lors de l'introduction des tronçons, les références apparaissant au niveau des nœuds ne sont pas celles de la figure suivante car nous avons préféré afficher les références définitives afin qu'elles servent de guide à l'utilisateur pour l'édition postérieure des nœuds.

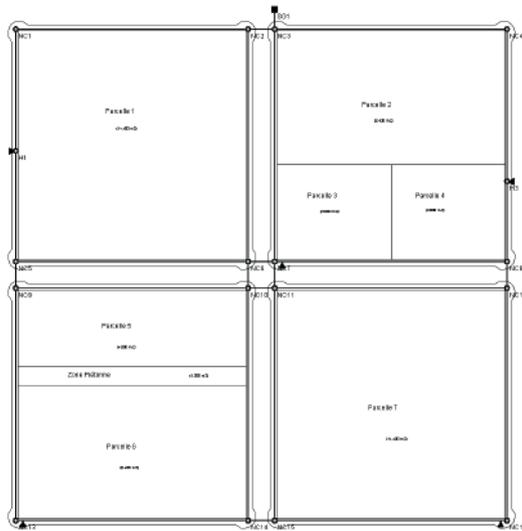


Fig. 4.12

Par défaut, les nœuds créés sont des nœuds de transition, c'est-à-dire des nœuds sans consommation qui permettent de réaliser des changements de direction en conservant l'unité du tronçon dans le dimensionnement.

4.1.5. Edition des nœuds

Cliquez sur **Nœuds > Editer données de calcul**. Introduisez les données de la figure suivante dans le nœud de distribution générale (SG1).

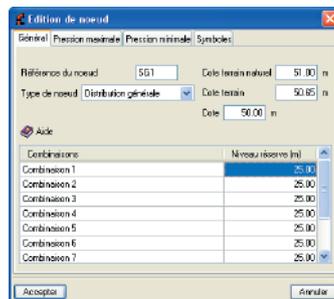


Fig. 4.13

Editer le nœud de consommation NC1 et assignez-lui une charge **Par dotation**. Cliquez sur le bouton **Editer** pour l'hypothèse 'Logements' et introduisez le nombre d'unités.

La dotation doit être indiquée dans **Données générales > Coefficients**. Elle est de 0,04 l/s/log. Le nombre d'unités est le nombre de logements à approvisionner par nœud ; ici 20. Cliquez donc sur **Editer** et introduisez les données suivantes :

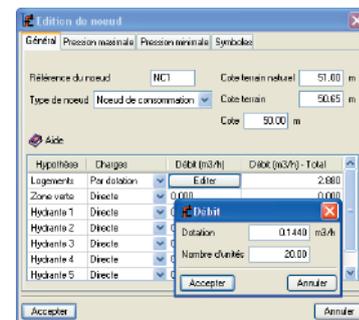


Fig. 4.14

Dans le nœud H1 (hydrante), introduisez une charge directe de 16,66 l/s.

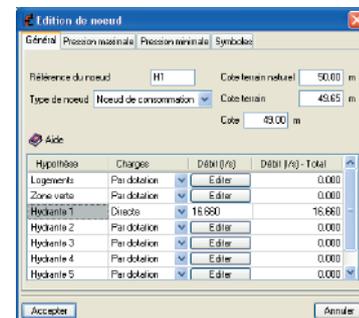


Fig. 4.15

Il peut arriver que, dans un même nœud de consommation, vous ayez à définir la charge par dotation et de façon directe, et y compris pour la même hypothèse.

Par exemple, dans le nœud NC16, la consommation pour l'hypothèse de logement est **Par dotation** avec 15 logements et la consommation pour l'hypothèse de l'hydrante 4 est **Directe** avec 16,66 l/s.

Introduisez les données du reste des nœuds tel que montré sur la figure 4.2.

Il est très pratique d'introduire les données des nœuds avec la commande **Nœuds > Assigner données de calcul**.

4.1.6. Edition des tronçons

Bien que dans cet exemple, nous laisserons les données par défaut, sachez que pour modifier un tronçon, vous pouvez utiliser l'option **Tronçons > Editer données de calcul** et en cliquant dessus, la figure suivante apparaîtra.

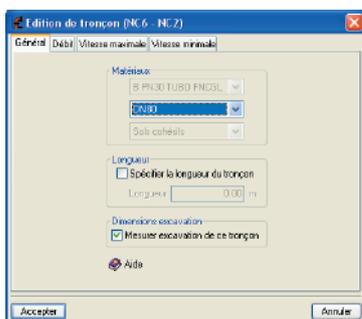


Fig. 4.16

Dans cette fenêtre, vous devez introduire les données particulières du tronçon, de sorte qu'elles puissent différer des données générales.

Cliquez sur le bouton d'aide à l'écran pour obtenir plus d'information.

Pour introduire les données des nœuds, il est pratique d'utiliser la commande **Tronçon > Assigner données de calcul**.

4.1.7. Calcul

Pour calculer l'installation, activez le menu **Calcul > Calculer**. Le programme vérifiera le réseau avec les dimensions indiquées.

Une fois le calcul réalisé, une fiche d'information apparaîtra. Si des erreurs ont été détectées, cette fiche vous en informera.

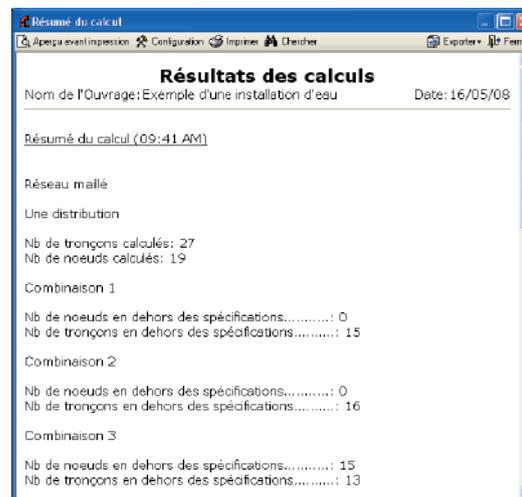


Fig. 4.17

Si la résolution de l'installation est possible, le calcul ne s'arrêtera en aucun cas.

Après le calcul, le programme affichera la courbe enveloppe des maximums. Les nœuds ou tronçons qui ne conviennent pas s'afficheront en rouge.

Avec les boutons , il est possible de visualiser les données et résultats des différentes hypothèses, combinaisons et enveloppes. Les enveloppes indiquent uniquement si le tronçon convient ou non.

Pour connaître le motif pour lequel un nœud ou un tronçon ne convient pas, vous devez activer une combinaison. Vous verrez une légende de couleurs qui identifie les nœuds et les tronçons ainsi que leurs limites.

Dans la partie inférieure, vous pourrez lire le nom de l'ouvrage suivi de l'hypothèse, de l'enveloppe ou de la combinaison visualisée.

Pour consulter les données résultantes du calcul de chaque nœud ou tronçon pour la combinaison, cliquez sur le bouton **Information** du menu **Nœuds** ou du menu **Tronçons**.

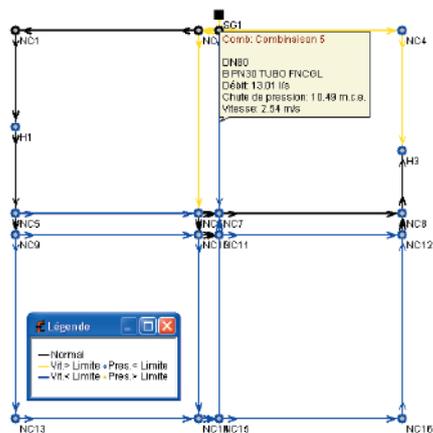


Fig. 4.18

Une fois tous les résultats du calcul vérifiés pour les tronçons et pour les nœuds, il conviendra d'effectuer, manuellement ou automatiquement, les modifications nécessaires pour ajuster le réseau.

Si, après le calcul, il existe des tronçons ou des nœuds ne respectant pas toutes les limitations imposées, il est possible de recourir à un dimensionnement optimal automatique. Pour plus d'information sur cet aspect, consultez le **Mémoire de calcul**.

Cliquez sur **Calcul > Dimensionner**. Le programme vous demandera si vous désirez attribuer les résultats du prédimensionnement à l'ouvrage actuel. Si vous cliquez sur **Oui**, l'installation sera calculée à partir de ce dimensionnement.

4.2. Réseaux d'assainissement

Ci-après, vous trouverez un exemple pratique qu'il est conseillé de suivre pas à pas pour apprendre à manier le programme. L'exemple choisi consiste en la réalisation d'un réseau d'assainissement.

Cet ouvrage de l'exemple est fourni avec le programme, pour y accéder, suivez les étapes suivantes :

- Entrez dans le programme.
- Cliquez sur **Fichier > Gestions des fichiers**. La fenêtre **Sélection de fichier** s'ouvre.
- Cliquez sur le bouton **Exemples**.

Vous pouvez ensuite ouvrir le fichier d'ouvrage disponible dans \CYPE Ingenieros\Exemples\Réseaux d'assainissement.

La figure suivante montre le plan de distribution des parcelles qui sera calculé.

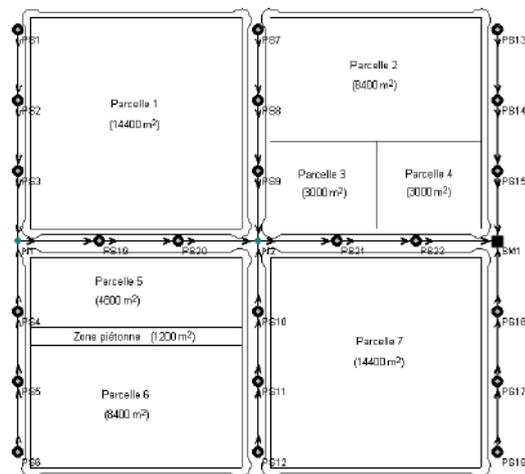


Fig. 4.19

La structure du réseau est ramifiée et mixte pour eaux pluviales et eaux usées. Le système d'évacuation se fait par gravité et les consommations de calcul suivantes sont réalisées : le calcul pour les eaux usées est analogue au dimensionnement du réseau d'eau potable.

La population sera estimée d'après le Plan Partiel de la zone considérée. On considérera 4 habitants par logement. Dans ce cas, la dotation par logement sera :

D (Dotation) :

300 litres par habitant et par jour avec un débit moyen.

C_{jour} (Coefficient de majoration journalière) :

1,25 (par pointes de consommation des fins de semaine).

C_{heure} (Coefficient horaire) :

2,4 (par pointes de consommation durant quelques heures par jour).

Q (Débit) :

$$Q = \frac{D}{24} \cdot C_{\text{jour}} \cdot \frac{C_{\text{heure}}}{3600} = \frac{300}{24} \cdot 1,25 \cdot \frac{2,4}{3600} = 0,011 \text{ l/s} \cdot \text{hab}$$

Dotation/log. :

$$4 \text{ hab/log} \cdot \text{débit l/s} \cdot \text{hab} = 4 \cdot 0,011 = 0,044 \text{ l/s} \cdot \text{hab}$$

La dotation sera de 7 l/s pour la zone commerciale et de 5 l/s pour la zone d'enseignement.

Afin de calculer le débit pour les eaux pluviales, pour connaître les précipitations, on appliquera la méthode rationnelle avec la formule :

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360}$$

Avec

Q le débit maximal prévisible dans la section d'écoulement en étude, en m³/s.

C le coefficient d'écoulement.

I l'intensité de pluie maximale prévisible pour une période de retour donnée, en mm/h (correspondant à une précipitation de durée égale au temps de concentration).

A la surface du bassin, en Ha.

On considère les valeurs suivantes :

- Coefficients d'écoulement :
Zones piétonnes, routières et parcelles : 0,95
Zones vertes : 0,5
- Période de retour : 10 ans
- Précipitation horaire maximale : 50 mm/h

Le débit est exprimé en l/s et la surface en m².

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360} = \frac{50}{360} \cdot \frac{10^3}{10^4} \cdot C \cdot A \approx 0,014 \cdot C \cdot A [0,1]$$

Le réseau sera calculé en béton armé dans sa totalité, en commençant par un diamètre de 300 mm.

Les hypothèses simples de calcul à considérer sont :

- Eaux usées
- Eaux pluviales

On établit les combinaisons de calcul suivantes :

1. Avec le débit des eaux usées
2. Avec le débit correspondant aux eaux usées et pluviales

Le réseau d'assainissement qui sera introduit en exemple est celui représenté comme schéma de la figure suivante.

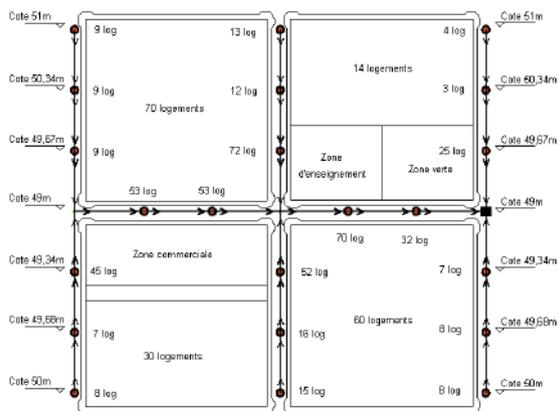


Fig. 4.20

4.2.1. Données générales

Activez l'option **Fichier > Nouveau**. La fenêtre **Nouvel Ouvrage** apparaîtra.

Introduisez un nom à l'ouvrage.

Après avoir **Accepter**, vous verrez le dialogue **Données générales de l'installation** s'ouvrir.

4.2.1.1. Dossier général

Commencez par introduire les données générales de l'installation : titre, lieu, dates et notes.

Ces données générales de l'installation apparaîtront dans les récapitulatifs de calcul de l'installation.



Fig. 4.21

Cliquez sur le bouton **Matériaux** pour sélectionner ceux qui interviendront dans l'ouvrage. Sélectionnez le matériau de la **bibliothèque de CYPE** qui apparaît dans la figure suivante et cliquez sur le bouton  pour l'utiliser comme matériau de l'ouvrage.

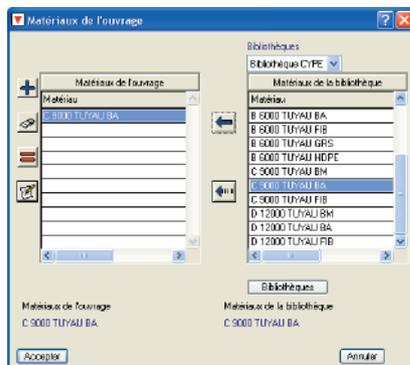


Fig. 4.22

Cliquez sur le bouton **Sols** pour sélectionner ceux qui interviennent dans l'ouvrage. Sélectionnez le terrain de la **bibliothèque de CYPE** apparaissant dans la figure suivante et cliquez sur le bouton  pour l'utiliser comme terrain de l'ouvrage.

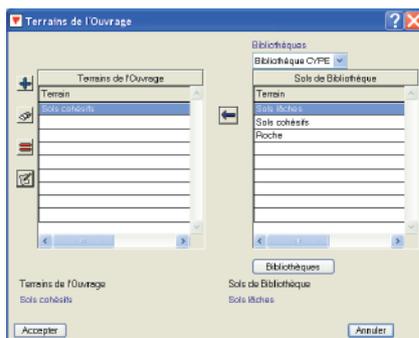


Fig. 4.23

4.2.1.2. Dossier Paramètres

On utilisera la formule de Manning. Le reste des valeurs sera laissé égal à zéro.

4.2.1.3. Dossier Limites

Quelle que soit la combinaison, la vitesse maximale dans les tronçons sera de 5 m/s et la vitesse minimale sera de 0,5 m/s. La pente maximale sera de 15% et la pente minimale sera de 0,3%. Le tirant d'eau n'est pas limité.

4.2.1.4. Dossier Coefficients

Le coefficient de simultanéité sera de 1 et la charge sera introduite par dotation et sera égale à 0,04 l/s (par logement).

Le préfixe pour les nœuds de collecte sera PS, celui du déversement sera SM et celui des nœuds de transition N.

4.2.1.5. Dossier Excavations

La profondeur minimale de la conduction sera de 1,50 m et l'épaisseur du revêtement sera de 0,35 m.

4.2.2. Hypothèses

Dans les premières pages de ce chapitre, on a spécifié les hypothèses, les combinaisons et les coefficients qui interviendront dans le calcul du réseau.

Cliquez sur **Données générales > Editer hypothèses** et configurez les hypothèses simples qui apparaissent ci-après.

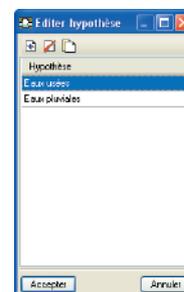


Fig. 4.24

4.2.3. Combinaisons

Cliquez sur **Données générales > Editer combinaisons**. Vous verrez apparaître une fenêtre contenant le nom des combinaisons et des coefficients de combinaison qui seront établis pour chaque hypothèse. Introduisez les valeurs indiquées dans le tableau des coefficients de combinaison pour les hypothèses simples au début de ce chapitre.

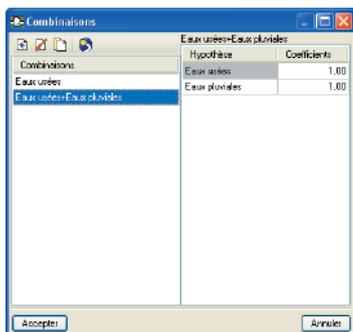


Fig. 4.25

4.2.4. Introduction de la géométrie

Le plus pratique est d'utiliser un DXF ou un DWG comme fond de plan pour introduire la géométrie. Pour installer le DXF de cet exemple dans votre disque dur, exécutez l'option **Fichier > Importer > Exemples d'installation**.

Ensuite, pour importer le fichier DXF au format propre du programme, suivez les étapes suivantes :

- Sélectionnez l'icône **Editer Fonds de Plan** de la barre d'outils. La fenêtre **Gestion des vues de DXF-DWG** s'ouvrira.

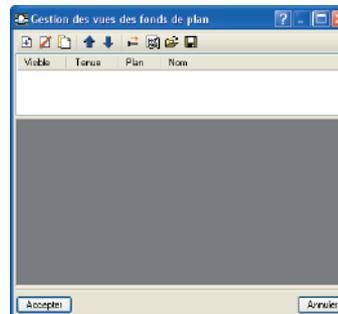


Fig. 4.26

- Cliquez sur l'icône **Ajouter**. La fenêtre **Sélection de fichiers DXF-DWG à lire** s'ouvrira. Chercher le fichier : \CYPE Ingenieros\Exemples\Réseaux d'assainissement\assainissement.dxf. Sélectionnez-le et ouvrez-le.

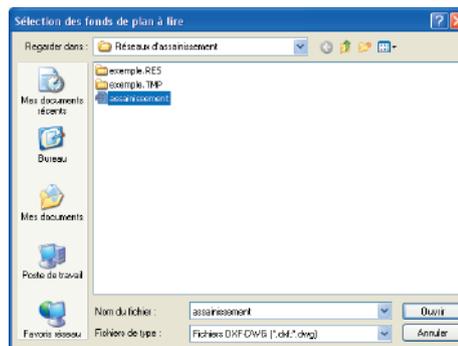


Fig. 4.27

- Cliquez sur **Accepter** pour revenir à la fenêtre **Gestion des vues de DXF-DWG** et cliquez de nouveau sur **Accepter** pour visualiser le DXF à l'écran.

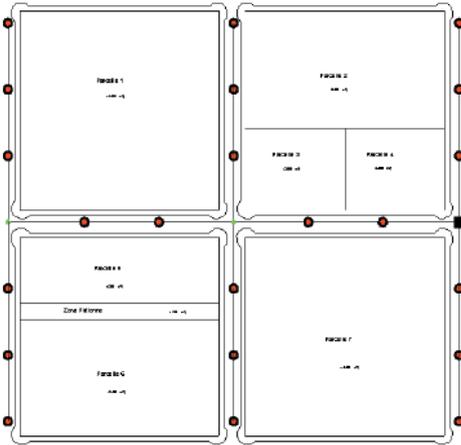


Fig. 4.28

Pour utiliser les captures, cliquez sur **Captures de fonds de plan** dans la barre d'outil et activez par exemple **Intersection** ou **Extrémité**.



Fig. 4.29

Introduisez les tronçons en utilisant l'option **Tronçons > Nouveau** en s'appuyant sur le fond de plan. Lors de l'introduction des tronçons, les références apparaissent au niveau des nœuds ne sont pas celles de la figure suivante car nous avons préféré afficher les références définitives afin qu'elles servent de guide à l'utilisateur pour l'édition postérieure des nœuds.

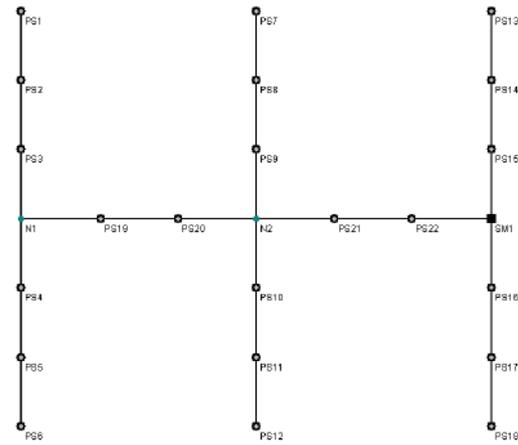


Fig. 4.30

Par défaut, les nœuds créés sont des nœuds de transition, c'est-à-dire des nœuds sans consommation qui permettent de réaliser des changements de direction en conservant l'unité du tronçon dans le dimensionnement.

4.2.5. Edition des nœuds

Cliquez sur **Nœuds > Editer données de calcul**. Introduisez les données de la figure suivante dans le nœud de déversement (SM1).

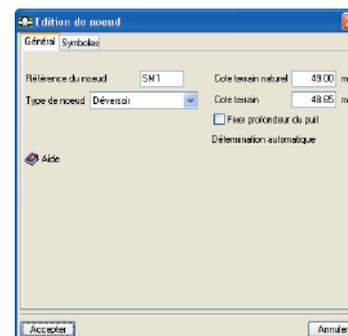


Fig. 4.31

Editer le nœud de consommation PS1 et assignez-lui une charge **Par dotation**. Cliquez sur le bouton **Editer** pour l'hypothèse 'Eaux usées' et introduisez le nombre d'unités.

La dotation doit être indiquée dans **Données générales > Coefficients**. Elle est de 0,04 l/s/log. Le nombre d'unités est le nombre de logements reliés à chaque nœud ; ici 9. Cliquez donc sur **Editer** et introduisez les données suivantes :

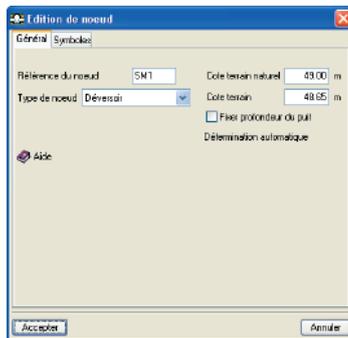


Fig. 4.32

Introduisez les données du reste des nœuds tel que montré sur la figure 4.32.

Il est très pratique d'introduire les données des nœuds avec la commande **Nœuds > Assigner données de calcul**.

4.2.6. Edition des tronçons

Bien que dans cet exemple, nous laisserons les données par défaut, sachez que pour modifier un tronçon, vous pouvez utiliser l'option **Tronçons > Editer données de calcul** et en cliquant dessus, la figure suivante apparaîtra.



Fig. 4.33

Dans cette fenêtre, vous devez introduire les données particulières du tronçon, de sorte qu'elles puissent différer des données générales.

Cliquez sur le bouton d'aide à l'écran pour obtenir plus d'information.

Pour introduire les données des tronçons, il est pratique d'utiliser la commande **Tronçon > Assigner données de calcul**.

4.2.7. Calcul

Pour calculer l'installation, activez le menu **Calcul > Calculer**. Le programme vérifiera le réseau avec les dimensions indiquées.

Une fois le calcul réalisé, si des erreurs ont été détectées, une fiche d'information vous renseignant sur celles-ci apparaîtra.

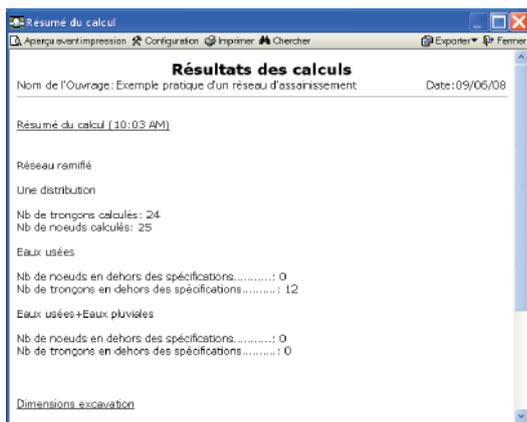


Fig. 4.34

Si la résolution de l'installation est possible, le calcul ne s'arrêtera en aucun cas.

Après le calcul, le programme affichera la courbe enveloppe des maximums. Les nœuds ou tronçons qui ne conviennent pas s'afficheront en rouge.

Avec les boutons , il est possible de visualiser les données et résultats des différentes hypothèses, combinaisons et enveloppes. Les enveloppes indiquent uniquement si le tronçon convient ou non.

Pour connaître le motif pour lequel un nœud ou un tronçon ne convient pas, vous devez activer une combinaison. Vous verrez une légende de couleurs qui identifie les nœuds et les tronçons ainsi que leurs limites.

Dans la partie inférieure, vous pourrez lire le nom de l'ouvrage suivi de l'hypothèse, de l'enveloppe ou de la combinaison visualisée.

Pour consulter les données résultantes du calcul de chaque nœud ou tronçon pour la combinaison, cliquez sur le bouton **Information** du menu **Nœuds** ou du menu **Tronçons**.

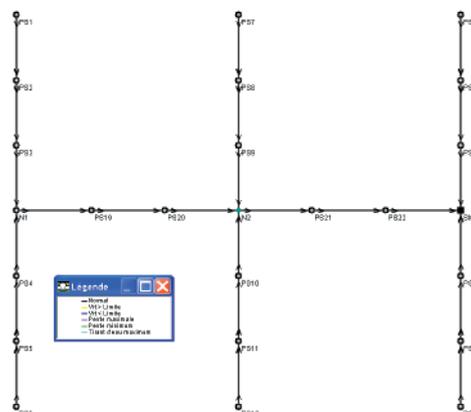


Fig. 4.35

Une fois tous les résultats du calcul vérifiés pour les tronçons et pour les nœuds, il conviendra d'effectuer, manuellement ou automatiquement, les modifications nécessaires pour ajuster le réseau.

Si, après le calcul, il existe des tronçons ou des nœuds ne respectant pas toutes les limitations imposées, il est possible de recourir à un dimensionnement optimal automatique. Pour plus d'information sur cet aspect, consultez le **Mémoire de calcul**.

Cliquez sur **Calcul > Dimensionner**. Le programme vous demandera si vous désirez attribuer les résultats du prédimensionnement à l'ouvrage actuel. Si vous cliquez sur **Oui**, l'installation sera calculée à partir de ce dimensionnement.

