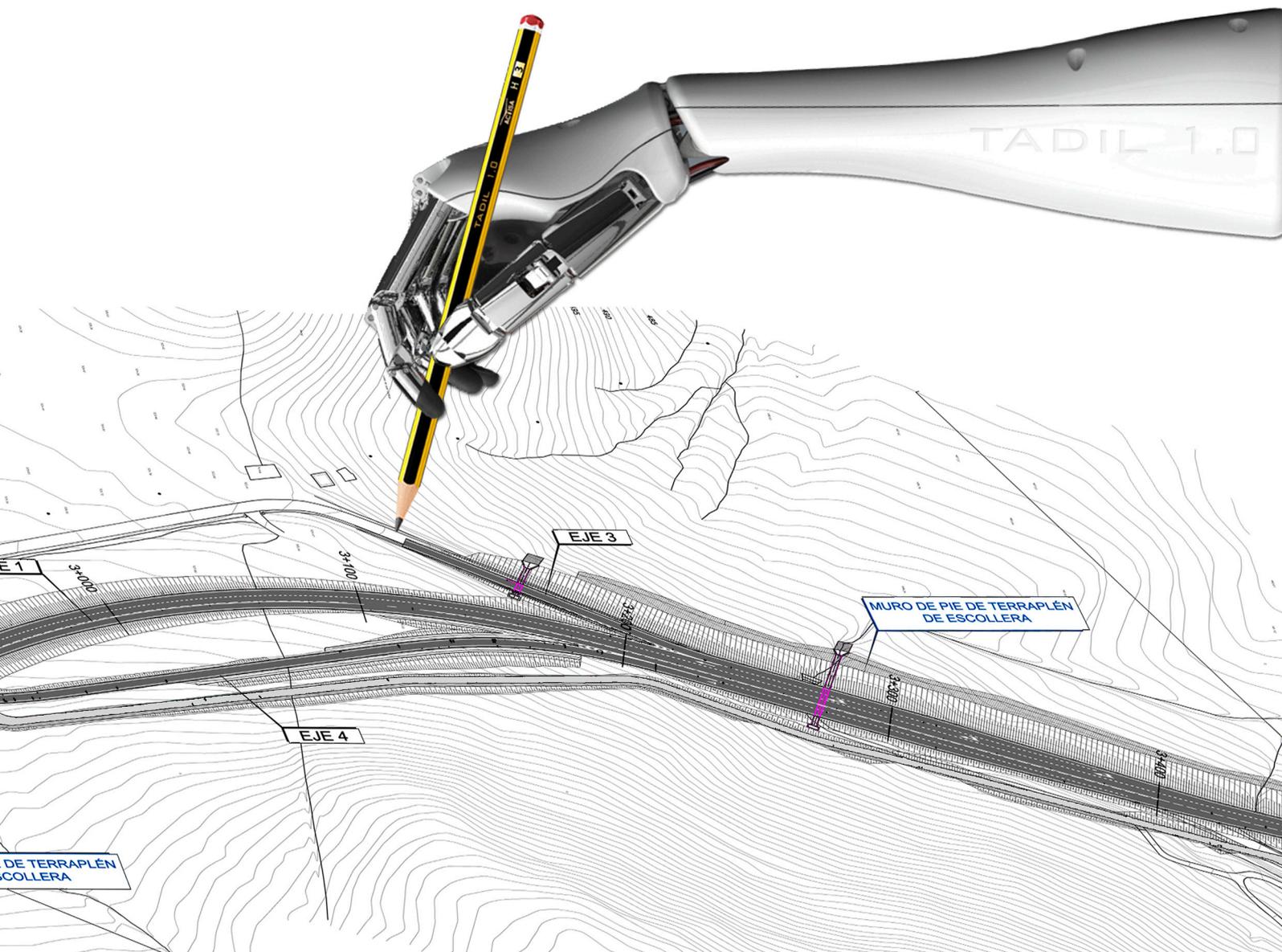


# TADIL 1.0

TECHNIQUES DE L'AUTO-TRAÇAGE  
POUR LA CONCEPTION  
D'INFRASTRUCTURES LINÉAIRES

GUIDE MÉTODOLOGIQUE D'APPLICATION



**LOGICIEL T.A.D.I.L.**

---

**TECHNIQUES D'AUTO-TRAÇAGE POUR LA CONCEPTION  
D'INFRASTRUCTURES LINÉAIRES.  
"TADIL."**

**GROUPEMENT D'INTÉRÊT ÉCONOMIQUE T.A.D.I.L.**



# TECHNIQUES D'AUTO-TRAÇADE POUR LA CONCEPTION D'INFRASTRUCTURES LINÉAIRES

GUIDE MÉTHODOLOGIQUE D'APPLICATION



## ***ÉQUIPES DE TRAVAIL:***

### **ACTISA:**

Salvador Mansilla Vera (Génération d'algorithmes, rédaction de la Guide et du Manuel).

Juan Añón Izaguirre (Codification du Logiciel).

Tomás Quesada Jiménez (Vérification du Logiciel, rédaction du Manuel).

Ángeles Rosa Álvarez (Programmation de fonctions dans l'environnement CAD)

Salvador Toril Díaz (Graphiste d'interface, génération de modèles de sérigraphie, sections de structures et tunnels, vérification à CAD et génération de MDT).

Belén Jiménez Morales (Traductrice de Guides, Manuel et Logiciel).

Cristóbal Medina Ballesteros (Collaboration aux algorithmes géométriques).

Nataly González Coello (Installation du Logiciel).

María José Sánchez Ibáñez (Administration et Gestion du Projet).

Construcciones Otero (Collaboration à la surveillance du Logiciel Beta, graphisme et modèle numérique du terrain).

### ***Université de Malaga:***

José Luis Pérez de La Cruz Molina (Direction du Projet).

Lorenzo Mandow Andaluz (Consultation).

## ***INFORMATION DE CONTACT:***

**ACTISA S.L.** (Actividades de Consultoría Técnica, Investigación y Servicios Avanzados S.L.).

C/Manuel Roldán Prieto, 3, 2º F. 18140 La Zubia, (Granada).

Téléphone et fax: +34.958.38.92.74

Courrier électronique : [actisa@actisa.net](mailto:actisa@actisa.net)

[www.actisa.net](http://www.actisa.net)

Inscription de la propriété intellectuelle. Enregistrement: GR-343-13

© TOUS DROITS RÉSERVÉS

PRÉSENTATION

Avec la Guide Méthodologique du logiciel TADIL on finit le projet de recherche Techniques d'Auto-Traçade pour la Conception d'Infrastructures Linéaires. Ils ont été vingt-quatre mois très intenses qui terminent avec une très grande satisfaction pour tous les participants du projet puisqu'on a défini des techniques dans le domaine de l'intelligence artificielle qui ont généré un énorme intérêt et ont ouvert un nouveau panorama dans le monde du génie civil.

Le développement du projet a cherché toujours des solutions informatiques qui faisaient plus facile le travail de l'ingénieur en lui donnant une vue plus ample de l'étude et une plus grande capacité productive à la génération d'alternatives et l'étude du territoire. De la même façon, introduire un ample éventail de paramètres du territoire va entraîner solutions plus intégrées et de moins impact à l'environnement.

Cette guide fournit les concepts principaux pour effectuer une étude complète d'une infrastructure dans le territoire. Nous cherchons à faire cette Guide le plus accessible pour l'utilisateur, en enseignant de manière simple les termes techniques d'application de TADIL.

La Guide est complétée par le *Manuel de l'Usager du logiciel TADIL*, où on enseigne l'utilisation du logiciel sans approfondir les concepts d'application, et on effectue un exemple complet d'un Étude Préalable et un Étude Informativ.

Nous souhaitons que cette Guide suscite un grand intérêt entre les usagers de façon qu'ils sentent que l'application de TADIL à leurs projets de génie civil est facile.

*Salvador Mansilla Vera et membres de l'équipe.*



## **TABLE DE MATIÈRES**

### **CHAPTER 1. GENERAL METHODOLOGY.**

#### **SOUS-CHAPITRE 0. OBJET DU GUIDE ACTUEL ET SA STRUCTURATION.**

##### ***0. Introduction***

##### ***1. Objet de la Guide Méthodologique d'Application***

##### ***2. Structuration du Guide actuel***

#### **SOUS -CHAPITRE 1. TYPES D'ÉTUDES.**

##### ***1. Types d'études***

#### **SOUS-CHAPITRE 2. PHASES DANS LA DÉFINITION DES ÉTUDES.**

##### ***1. Phases pour l'établissement d'une étude préalable***

##### ***2. Phases pour l'établissement d'une étude informative***

#### **SOUS-CHAPITRE 3. CARTOGRAPHIE ET GESTION DE COUCHES.**

##### ***1. Cartographie***

##### ***2. Modèle Numérique du Terrain***

##### ***3. Gestion de couches et polylignes***

### **CHAPITRE 2. LE SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE.**

#### **SOUS-CHAPITRE 0. LE PROCÉDÉ.**

##### ***0. Introduction.***

##### ***1. Méthodologie.***

##### ***2. Incidence sur la définition des traçages.***

##### ***3. Evaluation des alternatives.***

#### **SOUS-CHAPITRE 1. SELECTION DES VARIABLES**

##### ***0. Introduction.***

##### ***1. Groupes de variables.***

##### ***2. Relation des Variables.***

##### ***3. Variables déterminantes et variables qualitatives.***

#### **SOUS-CHAPITRE 2. VARIABLES GÉOMORPHOLOGIQUES**

##### ***0. Introduction.***

##### ***1. Variables géomorphologiques.***

#### **SOUS-CHAPITRE 3. VARIABLES GÉOTECHNIQUES**

**0. Introduction.**

**1. Variables géotechniques.**

**1.1. Variables géotechniques du mouvement de terres**

**1.2. Variables géotechniques pour tunnels.**

**1.3. Variables géotechniques pour structures.**

**SOUS-CHAPITRE 4. VARIABLES ENVIRONNEMENTALES**

**0. Introduction**

**1. Variables Environnementales**

**1.1. Zones de protection.**

**1.2. Faune.**

**1.3. Flore.**

**1.4. Sols**

**1.5. Les affectations hydriques et de l'hydrologie.**

**1.6. Milieu visuel.**

**1.7. Liberté de passage de la faune.**

**SOUS-CHAPITRE 5. VARIABLES CLIMATIQUES**

**0. Introduction**

**1. Variables Climatiques.**

**1.1. Les grosses gelées**

**1.2. Zones d'ombres**

**1.3. Zones de fortes tempêtes**

**1.4. Zones de fortes pluies.**

**1.5. Zones de neige.**

**1.6. Zones de vents forts.**

**1.7. Zones de brouillards fréquents**

**SOUS-CHAPITRE 6. VARIABLES SOCIOECONOMIQUES**

**0. Introduction.**

**1. Variables Socioéconomiques**

**1.1. Secteur primaire.**

**1.2. Secteur secondaire.**

**1.3. Secteur tertiaire.**

## SOUS-CHAPITRE 7. VARIABLES PATRIMONIALES

### *0. Introduction.*

### *1. Variables patrimoniales*

#### *1.1. Domaines publics*

#### *1.2. Sols urbains*

#### *1.3. Terrains constructibles*

#### *1.4. Terrains non constructibles*

#### *1.5. Délimitation des sites archéologiques*

#### *1.6. Délimitations des zones d'intérêt spécial.*

#### *1.7. Croisement des chemins de transhumance.*

#### *1.8. Croisement des infrastructures linéaires*

#### *1.9. Zones d'occupations des infrastructures publiques*

#### *1.10. Exploitations minières*

## SOUS-CHAPITRE 8. STRUCTURES

### *0. Introduction*

### *1. Structures*

## SOUS-CHAPITRE 9. MISE EN PLACE DU LOGICIEL.

### *0. Introduction.*

### *1. Mise en place des zones*

### *2. Elaboration de cartes thématiques.*

## CHAPITRE 3. LES UNITÉS DE TRAVAUX ET LES PRIX

### SOUS-CHAPITRE 0. PROCÉDÉ.

#### *0. Introduction*

#### *1. Méthodologie*

#### *2. Incidence sur la définition des tracés*

#### *3. Évaluation des alternatives*

### SOUS-CHAPITRE 1. GROUPE 1 UNITÉS DE PARTIES MESURE DE LA SECTION TRANSVERSALE.

#### *0. Introduction*

#### *1. Unités*

- 2. Défiçage*
- 3. Excavations*
- 4. Remplissages*
- 5. Matériaux de la chaussée provenant de centrale*
- 6. Fossés*
- 7. Murs*

#### SOUS-CHAPITRE 2. GROUPE 2: UNITÉS DE TRAVAUX AVEC MACRO-PRIX.

- 0. Introduction*
- 1. Unités avec macro-prix*
- 3. Structures*
- 4. Tunels*
- 5. Macro-prix qui ne sont pas rattachés au système d'Information Géographique*

#### SOUS-CHAPITRE 3. LES UNITÉS POUR L'ÉVALUATION DES EXPROPRIATIONS.

- 0. Introduction*
- 1. Évaluation de la production*
- 2. Évaluation du sol*

#### CHAPITRE 4. SECTIONS TYPES.

##### SOUS-CHAPITRE 0. PROCÉDÉS.

- 0. Introduction*
- 1. Méthodologie*

##### SOUS CHAPITRE 1. DÉFINITION DES FOSSÉS

- 0. Typologie des fossés envisagée pour le logiciel TADIL*
- 1. Fossés triangulaires*
- 2. Fossés trapézoïdaux*

##### SOUS CHAPITRE 2. DÉFINITION DE SECTIONS TYPES

- 0. Typologies des Sections types*
- 1. Définition de section type simple*
- 2. Définition de section type doublé*
  - 2.1. Section d'autoroute ou voie express*
  - 2.2. Section double sans terre plein central*

## **CHAPITRE 5. BUDGET ET RENTABILITÉ**

### **SOUS CHAPITRE 0. PROCÉDÉ.**

#### ***0. Introduction***

#### ***1. Méthodologie***

### **SOUS CHAPITRE 1. OBTENTION DU BUDGET**

#### ***1. Relation des macro-prix***

#### ***2. Budget base de licitation***

#### ***3. Budget pour l'administration***

### **SOUS CHAPITRE 2. ÉTUDE DE RENTABILITÉ**

#### ***1. Étude de rentabilité***

##### ***1.1. Procédé***

##### ***1.2. Coûts des accidents***

##### ***1.3. Coûts de fonctionnement***

##### ***1.4. Coûts de temps***

##### ***1.5. Pondération des coûts***

##### ***1.6. Dépenses d'exploitation, conservation de la route, péages et subventions***

##### ***1.7. Études de rentabilité***

###### ***1.7.1. Le taux d'actualisation, l'IPC et le coefficient de révision des prix***

###### ***1.7.2. TVA***

###### ***1.7.3. Calcul de rentabilité privée***

###### ***1.7.4. Rentabilité générale ou sociale***

###### ***1.7.5. Obtention des listing***

## **CHAPITRE 6. EVALUATION ET SÉLECTION DES ALTERNATIVES**

### **SOUS CHAPITRE 0. PROCÉDÉ.**

#### ***0. Introduction***

#### ***1. Méthodologie***

### **SOUS CHAPITRE 1. EVALUATION DE TRACÉ**

#### ***1. Variables de tracé que l'on évalue***

#### ***2. Évaluation de la conception du tracé en plan***

#### ***3. Évaluation du tracé en élévation***

- 4. Temps de parcours*
- 5. Volume du mouvement des terres*
- 6. Equilibre des terrassements*
- 7. Pondération*

## SOUS CHAPITRE 2. EVALUATION DE LA GÉOTECHNIQUE

- 1. Variables de tracé que l'on évalue*
- 2. Stabilité horizontale du terrain*
- 3. Stabilité des talus de déblai*
- 4. Valeur de CBR*
- 5. Evaluation de l'utilisation*
- 6. Possibilité d'excavation*
- 7. Protection des talus*
- 8. Pondération*

## SOUS-CHAPITRE 3. EVALUATION DE LA FONDATION DES STRUCTURES, TUNNELS ET MURS

- 1. Variables que l'on considère.*
- 2. Fondation des structures*
  - 2.1. Typologie de fondations*
  - 2.2. Procédés d'excavation*
  - 2.3. Fondation des passages inférieurs*
  - 2.4. Présence d'eau*
  - 2.5. Évaluation pondérée géotechnique des structures*
- 3. Évaluation des tunnels*
  - 3.1. Variable RMR dans les tunnels*
  - 3.2. Méthodes d'excavation dans les tunnels*
  - 3.3. Traitements spécifiques*
  - 3.4. Évaluation pondérée de la géotechnique des tunnels*
- 4. Évaluation des murs*
- 5. Évaluation pondérée des murs, tunnels et structures*

SOUS-CHAPITRE 4. EVALUATION DES VARIABLES ENVIRONNEMENTALES, CLIMATIQUES, SOCIO-ÉCONOMIQUES ET PATRIMONIALES.

- 1. Variables que l'on inclue*
- 2. Évaluation des variables environnementales*
- 3. Évaluation des variables climatiques*
- 4. Évaluation des variables socio-économiques*
- 5. Évaluation des variables patrimoniales*

SOUS-CHAPITRE 5. EVALUATION DE LA RENTABILITÉ ÉCONOMIQUE.

- 1. Variables que sont incluses*

SOUS-CHAPITRE 6. EVALUATION PONDÉRÉE ET SÉLECTION DES ALTERNATIVES.

- 1. Qualifications par groupes*

CHAPITRE 7. ÉTABLISSEMENT DE TRACÉS

SOUS-CHAPITRE 0. PROCÉDÉ OU MÉTHODE

- 0. Introduction*
- 1. Méthodologie*

SOUS-CHAPITRE 1. VARIABLES DE TRACÉ

- 1. Sélection du type d'étude*
- 2. Introduction des zones de non passage*
- 3. Début et fin*
- 4. Géométrie de tracé*
- 5. Route*
- 6. Coûts globaux*
- 7. Evaluation dynamique des alternatives*
- 8. Les points Target*

SOUS -CHAPITRE 2. ETABLISSEMENT DES TRACÉS

- 1. Procédés de calcul des tracés*
- 2. Procédé d'établissement des alternatives*

SOUS CHAPITRE 3. DÉPARTS

- 1. Obtention des données*

## INDICE DE TABLES

Table 1-1. Comparaison entre étude préalable et étude informative

Table 2-1. Classification de variables

Table 2-2. TNS – CBR.

Table 2-3. Table de RMR.

Table 2-4. Option de maintien que l'on représente dans les sections transversales.

Table 2-5. Répartition des groupes de maintien selon RMR.

Table 5-1. Exemple de données de consommation de combustible pour poids lourds

Table 5-2. Exemple de données de consommation de combustible pour véhicules légers

Table 5-3. Exemple de pondération des coûts des véhicules légers et des véhicules lourds.

## TABLE DE GRAPHIQUES

Graphique 2-1. Section conventionnelle des types de chaussées sur les routes.

Graphique 2-2. Schémas d'une section type de tunnel selon la géométrie et le revêtement par RMR.

Graphique 2-3. Exemple des sections type implémentées dans le logiciel.

## TABLE D'IMAGES

Image 1-1. Menu TDM

Image 1-2. Module TDS

Image 2-1. Structure du logiciel pour la sélection du groupe de variables géotechniques.

Image 2-2. Structure du logiciel pour la sélection de la fiche générale ou spécifique, ou l'édition des fiches.

Image 2-3. Structure de l'édition de la fiche géotechnique. Structure de sous-menus.

Image 2-4. Structure de la fiche géotechnique. Données générales.

Image 2-5. Fiche des talus.

Image 2-6. Options pour la définition de la possibilité d'excavation et la protection des talus.

Image 2-7. Introduction des couches de sécurité.

Image 2-8. Exemple de 8 zones géotechniques qui se regroupent en 5 groupes géologiques.

Image 2-9. Structure pour l'édition des fiches.

Image 2-10. Fiche géotechnique pour les tunnels.

Image 2-11. Méthodes d'excavation et de traitements spécifiques.

Image 2-12. Tableau des gabarits de passage dans le tunnel; a est la marge à considérer par l'utilisateur.

Image 2-13. Configuration de tunnel avec une section circulaire

Image 2-14. Configuration de tunnel avec une section en fer à cheval.

Image 2-15. Configuration de tunnel avec une section de voûte

Image 2-16. Location of the top reinforcement area in the three types of tunnels

Image 2-17. Variables qualitatives pour la cimentation des structures.

Image 2-18. Structure du menu de sélection du groupe de variables environnementales.

Image 2-19. Réserve de la Biosphère.

Image 2-20. Lieux d'intérêt Communautaire

Image 2-21. Réseau natura 2000 Zone ZPS

Image 2-22. Plan spécial de protection du milieu physique

Image 2-23. Espaces naturels protégés

Image 2-24. Atlas des espaces naturels

Image 2-25. Structure de l'introduction des classifications, et des zones avec évaluation.

Image 2-26. Structure de l'introduction des classifications et des zones en fonction de la faune.

Image 2-27. Exemple de distribution d'animaux amphibiens et de reptiles protégés

Image 2-28. Exemple de la distribution de la flora protégé.

Image 2-29. Exemple de distribution des oiseaux protégés

Image 2-30. Exemple de distribution de zones forestales.

Image 2-31. Conception du menu d'introduction des classifications et des zones de flore.

Image 2-32. Exemple de la définition de la pédologie de la zone d'étude.

Image 2-33. Menu de l'introduction des sols.

Image 2-34. Sélection des variables hydriques et hydrogéologiques

Image 2-35. Structure du menu du Domaine Public Hydrolique

Image 2-36. Introduction des variables hydrogéologiques

Image 2-37. Introduction des zones de domaine public et des cours d'eau.

Image 2-38. Zones d'intérêt paysager.

Image 2-39. Exemple de champs visuel obtenu depuis le belvédère à Benahavis.

Image 2-40. Menu de la définition des champs visuels.

Image 2-41. Menu de l'évaluation des passages à faune.

Image 2-42. Exemple de la disposition des passages à faune par un traçage.

Image 2-43. Sélection des variables climatiques.

Image 2-44. Structure du menu des zones de grosses gelées

Image 2-45. Exemple d'une délimitation des zones selon le numéro de jours de gelée.

Image 2-46. Structure du menu des zones d'ombres

Image 2-47. Structure du menu des zones de tempêtes fréquentes.

Image 2-48. Exemple de délimitation des zones selon la précipitation annuelle.

Image 2-49. Structure du menu des zones de pluies intenses.

Image 2-50. Structure du menu des zones enneigées.

Image 2-51. Exemple de zones selon les jours de chute de neige.

Image 2-52. Structure du menu des zones de vents forts.

Image 2-53. Structure des zones de denses brouillards.

Image 2-54. Exemple de zonage selon les jours de brouillard.

Image 2-55. Sélection du secteur.

Image 2-56. Structure d'implantation des zones du secteur primaire.

Image 2-57. Structure du menu d'implantation des zones du secteur secondaire.

Image 2-58. Délimitation des zones du Secteur Tertiaire.

Image 2-59. Structure de la sélection des variables patrimoniales.

Image 2-60. Structure du menu des domaines publics.

Image 2-61. Exemple de la délimitation des zones du domaine public.

Image 2-62. Structure de logiciel du menu de sol urbain.

Image 2-63. Structure du logiciel du menu de terrain constructible.

Image 2-64. Structure du logiciel du menu de terrain non constructible.

Image 2-65. Structure du logiciel du menu des sites archéologiques.

Image 2-66. Exemple de localisation des sites archéologiques.

Image 2-67. Structure du menu de définition des zones de spécial intérêt.

Image 2-68. Structure de menu de la définition des chemins de transhumance.

Image 2-69. Structure du menu des infrastructures linéaires.

Image 2-70. Exemple de définition des infrastructures linéaires.

Image 2-71. Structure du menu des infrastructures publiques non linéaires.

Image 2-72. Structure du menu des zones d'occupation par les exploitations minières.

Image 2-73. Sélection de la fiche générale ou spécifique.

Image 2-74. Structure du logiciel du menu des structures.

Image 2-75. Dans Éditer les zones on peut sélectionner Dessiner Polyligne ou Lier Polyligne.

Image 2-76. Il s'établit un menu pour l'incorporation des graphiques à assigner aux variables.

Image 2-77. L'établissement de zones s'inclut dans un sous-menu pour chaque variable.

Image 2-78. Comme on peut voir l'iconographie apparaît représentée dans le poligone ou dans la zone d'application de la variable.

Image 3-1. Schéma de défrichage.

Image 3-2. Menu de défrichage.

Image 3-3. Menu des excavations.

Image 3-4. Menu de remplissage.

Image 3-5. Menu des chaussées provenant de centrale

Image 3-6. Différentes typologies de fossés et d'exécution de celles –ci.

Image 3-7. Menu d'établissement de fossés.

Image 3-8. Différentes typologies de murs.

Image 3-9. Différentes typologies de ponts préfabriqués avec poutres de pétrin o sur I

Image 3-10. Exemple de pont en dalle exécuté avec des allègements circulaires.

Image 3-11. Exemple. Exemple de pont en dalle exécuté avec des allègements circulaires

Image 3-12. Solutions de structures mixtes avec poutres métalliques, treillis et caisson.

Image 3-13. Différentes solutions de structures mixtes avec arc supérieur.

Image 3-14. Pont avec poutres d'épaisseur constante précontraintes in situ.

Image 3-15. Pont avec poutre d'épaisseur variable précontrainte in situ.

Image 3-16. Ponts à haubans avec un pylône central.

Image 3-17. Ponts en arc auto-ancré.

Image 3-18. Pont en arc métallique.

Image 3-19. Ponts en arc; image supérieure avec un arc métallique inférieur et béton.

Image 3-20. Tunnel circulaire en voûtes et parc de fabrication des voûtes.

Image 3-21. Différentes images de tunnels avec géométrie de voûte.

Image 3-22. Différentes images de tunnels avec géométrie en fer à cheval.

Image 3-23. Différentes images de travaux de drainage transversal.

Image 3-24. Différentes images de panneaux de travaux.

Image 3-25. Différentes images de signalisation horizontale et verticale.

Image 3-26. Différentes images de Remplacement provisoire de services sur chantier.

Image 3-27. Détail de la correction géotechnique en talus.

Image 3-28. Détail de la déviation de travaux.

Image 3-29. Images des infrastructures avec des chemins de services.

Image 3-30. Image de passage de faune.

Image 3-31. Signalisation de la sécurité et la santé du travail.

Image 3-32. Exemple de cartes géographiques des usages.

Image 3-33. Terrain non irrigué versus terres irrigables.

Image 4-1. Géométrie de fossé triangulaire

Image 4-2. Géométrie du fossé Trapézoïdal

Image 4-3. Menus des fossés triangulaires et trapézoïdaux

Image 4-4. Section type simple (surhaussements transversaux en escalades)

Image 4-5. Emplacements possibles de fossé.

Image 4-6. Menu pour l'introduction des données dans la section simple.

Image 4-7. Section pour voies express et autoroutes.

Image 4-8. Menu pour l'introduction des données dans la section double de la voie express ou autoroute.

Image 4-9. Section double pour voie express sans terre plein central.

Image 4-10. Menu pour l'introduction des données dans la section double sans terre plein central.

Image 5-1. Menu des groupes de macro-prix.

Image 5-2. Introduction de macro-prix.

Image 5-3. Menu d'introduction des données pour l'obtention du PBL.

Image 5-4. Menu de l'introduction de données pour l'obtention du BA

Image 5-5. Menu d'introduction des données pour le calcul des coûts des accidents.

Image 5-6. Menu d'introduction des données du coût de fonctionnement et du temps

Image 5-7. Menu de configuration des coûts de fonctionnement pour les véhicules légers

Image 5-8. Menu de configuration des coûts de fonctionnement pour les véhicules lourds

Image 5-9. Menu de l'introduction des dépenses d'entretien et de réhabilitation.

Image 5-10. Menu d'introduction des données inhérentes au type d'investissement.

Image 5-11. Menu de l'obtention des listings de rentabilité.

Image 6-1. Pondération de variables de tracé.

Image 6-2. Pondération de variables de géotechnique.

Image 6-3. Pondération de variables géotechniques de structures, tunnels et murs.

Image 6-4. Pondération de variables environnementales.

Image 6-5. Pondération de variables climatiques.

Image 6-6. Pondération de variables socioéconomiques.

Image 6-7. Pondération de patrimoniales.

Image 6-8. Pondération de variables économiques.

Image 6-9. Évaluation pondérée finale.

Image 7-1. Données du projet.

Image 7-2. Sélection de réglementation.

Image 7-3. Création de zones de non passage.

Image 7-4. Introduction point de début.

Image 7-5. Introduction point de destination

Image 7-6. Pentes maximales.

Image 7-7. Géométrie et costs dans l'option d'étude préalable.

**Image 7-8. Données de l'infrastructure.**

**Image 7-9. Menu d'options avancées 1.**

**Image 7-10. Menu d'options avancées 2.**

**Image 7-11. Critères d'évaluation dynamique.**

**Image 7-12. Axes de visibilité automatique ou manuels, (points Target).**

**Image 7-13. Génération de tracés.**

**Image 7-14. Génération de corridors.**

**Image 7-15. Menu de sorties pour axes sur plan et profil.**

**Image 7-16. Menu gérant de rapports.**

**LOGICIEL T.A.D.I.L.**

---

**TECHNIQUES D'AUTO-TRAÇAGE POUR LA CONCEPTION  
D'INFRASTRUCTURES LINÉAIRES.  
"TADIL."**

**CHAPITRE 1. MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE.**

**GROUPEMENT D'INTÉRÊT ÉCONOMIQUE T.A.D.I.L.**

## RÉSUMÉ

---

# LOGICIEL TADIL TECHNIQUE DE L'AUTO-TRAÇAGE POUR LA CONCEPTION D'INFRASTRUCTURES LINÉAIRES

Guide Méthodologique d'Application

## CHAPITRE 1. MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE. ÉDITION 1.

**Ce chapitre décrit le contenu de cette Guide Méthodologique du Logiciel TADIL.**

**De la même manière, on prétend donner une première orientation à l'usager des phases à suivre pour l'élaboration de son étude selon qu'il s'agisse d'une étude préalable ou d'une étude informative.**

**Enfin, ce chapitre aborde la première phase avant de commencer l'étude en soi et qui consiste en l'établissement du modèle numérique du terrain et des couches d'information territoriale.**

## CHAPITRE 1. MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE..

### *SOUS-CHAPITRE 0. OBJET DU GUIDE ACTUEL ET SA STRUCTURATION.*

#### **0. Introduction**

Dans ce chapitre, on décrit l'objectif de cette guide ainsi que les chapitres qui le composent. Sa lecture est donc obligatoire pour l'utilisateur avant de passer au chapitre 2.

#### **1. Objet de la Guide Méthodologique d'Application**

A la différence du Manuel du Logiciel TADIL dans lequel l'utilisateur pourra connaître l'installation du logiciel, la maîtrise des différents menus et l'introduction des données, dans le Guide Méthodologique d'Application du Logiciel TADIL, on prétend apporter une vision globale du projet, en différenciant entre l'étude préalable et l'étude informative, en définissant pour l'utilisateur les pas à suivre et en approfondissant dans le sens de chacune des variables qui s'introduisent dans le programme. De la même façon, l'actuel Guide prétend être le plus universel possible, en essayant d'utiliser tout au long du programme des concepts clairs et compréhensibles.

#### **2. Structuration du Guide actuel**

Cette guide se structure par les chapitres suivants:

- *CHAPITRE 1. MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE*
- *CHAPITRE 2. LE SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE*

Dans ce chapitre, on abordera l'introduction de toutes les variables du terrain avec incidence sur l'établissement des tracés ou dans l'évaluation des alternatives qui sont mises en œuvre dans l'analyse multicritère.

- *CHAPITRE 3. UNITÉS DE TRAVAUX ET BUDGETS*

Dans ce chapitre, on introduit les unités de travaux qui permettent l'obtention du budget des alternatives.

- *CHAPITRE 4. SECTIONS TYPE*

Dans ce chapitre, on définit les sections type qui sont habilitées pour l'obtention des sections transversales, les mesures, l'équilibre des terrassements et le budget.

- *CHAPITRE 5. BUDGET ET RENTABILITÉ*

Dans ce chapitre, on décrit l'obtention du budget de chaque alternative et le procédé que suit TADIL pour obtenir l'équilibre des terrassements. De la même façon, on décrit les variables qui ont un impact sur l'obtention de la rentabilité de chaque alternative.

- *CHAPITRE 6. ÉVALUATION MULTICRITÈRE*

On décrit le procédé pour obtenir l'évaluation subjective multicritère des alternatives sélectionnées.

- **CHAPITRE 7. ETABLISSEMENT DES TRACÉS**

On décrit la méthodologie pour obtenir les tracés des alternatives, la sélection des normes et la description des variables qui ont un impact sur la définition des solutions.

**CHAPITRE 1. MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE.**

*SOUS -CHAPITRE 1. TYPES D'ÉTUDES.*

**1. Types d'études**

TADIL prétend être un logiciel idéal pour l'élaboration des études préalables et des études informatives qui permettent l'établissement des alternatives de tracés pour le territoire.

La profondeur dans la connaissance préliminaire du territoire permet de différencier entre plusieurs types d'analyse:

- Dans l'étude préalable, on ne dispose pas d'une étude détaillée des variables qui définissent le territoire. L'infrastructure à concevoir prétend résoudre un problème entre une origine et une destination; on part en général d'une étude ou d'une demande de trafic et du type d'infrastructure.
- Dans l'étude informative, on part au préalable de la définition des caractéristiques du tracé. De la même façon, on compte avec une étude territoriale complète de toutes les variables avec incidence sur le tracé, (environnements, géotechniques, climatiques, socio-économiques, patrimoniales, etc.).

Dans le cadre suivant on peut voir les différences entre plusieurs études

	<b>Etude préalable</b>	<b>Etude informative</b>
<b>Tracé</b>	La section type reste déterminée par une étude de la circulation; cependant on considère une fourchette de vitesses et par conséquent de caractéristiques géométriques internes ou sur plan et un profil pour la nouvelle infrastructure. L'étude préalable prétend concrétiser cet aspect au moyen du test d'implantation de tracés sur le territoire.	Dans ce cas, la section type et la vitesse pour élaboration de projet ont été définies et les alternatives devront s'attacher à un ordre d'étude que ces valeurs concrètes. L'établissement des tracés d'alternatives doit permettre l'élaboration d'une étude multicritère détaillée.
<b>Cartographie</b>	On se base sur des cartographies publiées avec des échelles qui peuvent varier entre 1:25.000 jusqu'à la 1:5000.	dans ce cas on aura élaboré, en général des cartographies spécifiques qui détaillent l'espace d'étude.
<b>Coûts</b>	On utilise seulement les coûts globaux de l'implantation, de déblai, remblai, structures et tunnels.	Elle permet l'utilisation des unités adéquates aux groupes géotechniques qui se traversent, pour les terrassements, chaussées et terrains de fondation, ainsi que les typologies de tunnels et de structures
<b>Géotechniques</b>	On part d'études régionales de géologie et géotechnique avec des propositions générales pour les talus de déblai et de remblai.	On utilise des études détaillées qui permettent de différencier des zones et des groupes géotechniques avec des données spécifiques de talus, protections, purges, chaussées et terrains de fondation.
<b>Structure et tunnels</b>	On considère uniquement les coûts globaux	Elle permet de différencier les typologies de structures et des tunnels et les coûts différenciés par zones.

	Etude préalable	Etude informative
Environnement	On considère uniquement les zones de protection environnementales avec interdiction de passage	Elle permet d'établir un large éventail de variables en partant d'une complète étude environnementale. Elle peut permettre l'interdiction de passage en fonction de la valeur des variables implémentées
Climatologie	On ne la prend pas en compte, sauf de manière générale.	Elle permet d'assurer des études qui prennent en compte des aspects qui conditionnent le trafic, tels que sont les gelées, pluies, brouillards, vents, etc.
Socio-économique	On considère uniquement les aspects relatifs au pronostic du trafic.	On inclut en principe une étude complète des zones d'utilisation des terres avec leur évaluation productive correspondante.
Patrimoine	On implémente uniquement des zones de protection patrimoniale avec interdiction de passage.	Elle permet une large étude d'évaluation du sol, croisement des infrastructures, et des voies de transhumance, etc.

Table 1-1. Comparaison entre étude préalable et étude informative

En général, l'étude préalable précède l'étude informative, en lui apportant une information sur le type d'infrastructure à développer sur le territoire.

TADIL permet d'élaborer des études préalables sans avoir besoin d'implémenter le menu SIG, le menu des unités de travaux ou le menu des sections types, en introduisant les données dans le menu de tracés, (TDD).

Au contraire, quand l'utilisateur sera en train de développer une étude informative, il devra avoir introduit au préalable les variables du Système d'Information Géographique, les valeurs des unités et la section type à implémenter. Une fois introduite l'information, l'utilisateur pourra accéder au menu de tracé et établir des alternatives.

L'information qui pourra s'obtenir dans chaque type d'étude se défère tel qu'elle est décrite ci-dessous:

- **ETUDE PREALABLE:**
  - *Axe de tracé sur plan*
  - *Profil longitudinal*
- **ETUDE INFORMATIVE:**
  - *Axe de tracé sur plan*
  - *Profil longitudinal*
  - *Sections transversales*
  - *Plan de terrassement*
  - *Budget et équilibre des terrassements*
  - *Résultats de rentabilité*
  - *Evaluation de l'alternative*

CHAPITRE 1. MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE.

SOUS-CHAPITRE 2. PHASES DANS LA DÉFINITION DES ÉTUDES.

**1. Phases pour l'établissement d'une étude préalable**

Quand l'utilisateur réalise une étude préalable, il aura seulement à accéder au menu de tracés. Avant d'accéder à ce dernier, il devra avoir établi la cartographie du territoire. Les données qu'il devra prendre en compte sont les suivantes:

- *Type de route et vitesse pour élaboration de projet*
- *Pentes maximum et minimum*
- *Zones de non passage*
- *Hauteur maximum de déblai et remblai mesurée sur l'axe*
- *Largeur de la plateforme*
- *Possibilité d'introduire des structures et des tunnels*
- *Coûts globaux (on pourrait ne pas les introduire si on ne considère pas ce paramètre dans l'évaluation dynamique)*
- *Préférences de conception*

Comme résultat, il pourra obtenir l'axe sur plan et le profil longitudinal des alternatives qui résultent être viables.

**2. Phases pour l'établissement d'une étude informative**

Quand l'utilisateur réalise une étude informative avant d'accéder au menu de tracé, il devra avoir complété l'information correspondante dans les menus des Unités de travaux, Système d'Information Géographique et de section type.

- *L'utilisateur devra avoir complété au moins une zone géotechnique générale;*
- *de la même manière, il devra avoir introduit les unités qui s'utilisent dans la zone géotechnique générale;*
- *finalement, il doit avoir sélectionné une section type.*

Dans le cas où on habilite l'obtention de tracés avec des structures et des tunnels. Il devra avoir introduit au moins, une zone générale dans les deux cas et avoir défini les unités qui s'utilisent dans ces menus, à l'intérieur du menu des unités de travaux.

Une fois introduites ces données, il pourra accéder au menu de tracé, et sélectionner l'étude informative.

L'utilisateur pourra obtenir alors, l'axe sur plan et le profil longitudinal; la section type sélectionnée, il pourra obtenir les sections transversales et le plan des terrassements.

Arrivée à ce stade, l'utilisateur pourra alors obtenir:

- *Équilibre des terrassements et budget*
- *Rentabilité*
- *Évaluation des alternatives*

Pour obtenir une bonne évaluation des tracés, il est recommandé de partir d'une information abondante introduite dans le menu du Système d'Information Géographique pour ce qui se réfère aux variables: géotechnique, structures, tunnels, environnement, climatologie, socio-économique et patrimoine.

Pour cela, il devra entrer préalablement dans chaque menu et avoir rempli l'information demandée.

L'utilisateur pourra nommer chaque tracé par le nom avec lequel il a été gardé, obtenant les données des terrassements de terres, budget, rentabilité et évaluation.

Par conséquent, les étapes à suivre dans TADIL pour une étude informative sera:

- 1° Établissement de cartographies, modèle digital du terrain et gestion des couches.*
- 2° Introduction d'une banque de données d'unités de travaux à employer.*
- 3° Introduction de données du Système d'Information Géographique.*
- 4° Définition des sections type.*
- 5° Introduction de données dans le menu de tracé et l'obtention d'alternatives de tracé avec ses axes sur plan et profil.*
- 6° Sélectionner la section type dans le menu de tracé et obtenir les sections transversales et le plan des terrassements.*
- 7° Introduire les données du budget et obtenir le terrassement ou mouvement des terres et budget.*
- 8° Introduire les données de rentabilité et obtenir les résultats de viabilité économique.*
- 9° Sélectionner les alternatives dans le menu d'évaluations et réaliser l'analyse multicritère de la totalité.*
- 10° L'utilisateur pourra sélectionner l'alternative qu'il considère la plus adéquate.*
- 11° Obtention de listes et plans.*

## CHAPITRE 1. MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE

### SOUS-CHAPITRE 3. CARTOGRAPHIE ET GESTION DE COUCHES.

#### 1. Cartographie

L'utilisateur doit suivre le procédé indiqué dans le manuel du programme pour l'établissement du modèle digital du terrain.

Il doit être indiqué qu'une grande partie de l'étude réside dans la qualité de la cartographie à établir, d'où l'importance de dédier le temps nécessaire pour sa définition.

Dans cette cartographie, il faudra souligner l'existence de lignes de rupture qui définissent les décalages de la pente ou la rencontre entre les plans; la triangulation du modèle digital s'appuiera sur ces lignes.

De la même manière, les points de départ et les polygones élevés devront avoir une séparation adéquate en évitant "les vides" ou zone sans définition.

#### 2. Modèle numérique du terrain

Pour calculer le MDT on a utilisé l'algorithme incrémental pour construire triangulations de Delaunay, qui s'intègre dans le module TDM de TADIL.

La triangulation de Delaunay est un réseau de triangles qui est caractérisée par la formation des triangles les plus équilatéraux possible. De cette façon, les points plus proches entre eux, seront liés par une arête et les triangles seront les plus réguliers possibles.

Dans l'algorithme incrémental, la triangulation est calculée en insérant les sommets un par un dans cette triangulation. Chaque fois qu'un sommet est inséré, on calcule la triangulation de Delaunay du sous-ensemble de sommets insérés.

Dans TADIL le MDT peut être calculé à partir de courbes de niveau ou nuages de points, deux couches qu'on doit avoir créées auparavant.

Ainsi, pour calculer le MDT à partir de courbes de niveau, il faudra introduire une valeur d'intervalle de division pour les transformer en points et ceux-ci définiront les triangles.

Pour calculer le MDT à partir de nuages de points, eux-mêmes définiront la maille de triangles.

Dans TADIL, on introduit le concept de lignes de rupture topographiques, qui sont les arêtes donnant forme aux plans significatifs de changement de niveau, bassins et bords de talweg, crête de terre-pleins ou talus, terrasses, gorges, etc. c'est-à-dire les points qui ont un maintien dans le terrain avec les zones qui changent.

Pour introduire les lignes de rupture au MDT, on doit créer préalablement une couche avec tous les lignes de rupture en utilisant la commande "ligne" et en introduisant les côtes dans le point initial et dans le point final de la ligne. Dans le menu TDM on sélectionne à quelle couche sont les lignes de rupture. TADIL coupe la ligne en multitude de points très proches les uns des autres et les introduit dans l'ensemble de points pour créer le MDT.

Un autre concept intéressant est l'arête maximale, on peut donc définir le côté maximal du triangle.

Une fois le MDT a été créé, l'utilisateur pourra éliminer les triangles de bord qui se trouvent en marge du contour de la cartographie originale.

Le module TDM permet aussi de sélectionner les triangles les plus grands avec une pente déterminée. Ceux-ci seront copiés dans la couche \_Tadil\_AnalysesPendiente. Après, dans le module TDI on pourra créer zones de non passage avec ces triangles.

Finalement, TADIL demandera quelle couche va loger la maille de triangles créée.

### Image 1.1. Menu MDT

## 3. Gestion de couches et polygones

Il est hautement recommandable que l'utilisateur ordonne l'information à introduire avant de procéder à l'implémenter dans le logiciel TADIL. Le programme établit des couches indépendantes pour chaque variable territoriale introduite dans le menu du Système d'information Géographique. Quand l'utilisateur élabore l'importation des données, on recommande qu'il ait préalablement établi des chemises d'information sectorielle, (environnement-faune, environnement-flore, etc.).

En ce qui concerne l'importation de polygones correspondantes à variables du Système d'Information Géographique, il convient de suivre ces recommandations:

- Quand la polygone va constituer une zone de non passage, il faudra simplifier le nombre de points de cette polygone. Il faut tenir en compte qu'un nombre considérable des polygones vient de base de données de l'Administration avec points avec distances très courtes (5, 10, 15 m, etc.). Cette situation complique considérablement la recherche d'axes de visibilité optimaux, ce qui ralentit le calcul. C'est pour ça qu'on recommande d'appliquer le Module TDS de TADIL. Ce module permet de simplifier les polygones en éliminant les creux d'entrée avec une méthode semblable à "l'élastique". Cette simplification accélère le calcul.
- Une autre recommandation est la configuration des polygones. La polygone doit être unique et les points d'origine et destination doivent se rencontrer mais la polygone ne peut pas se croiser avec elle-même.

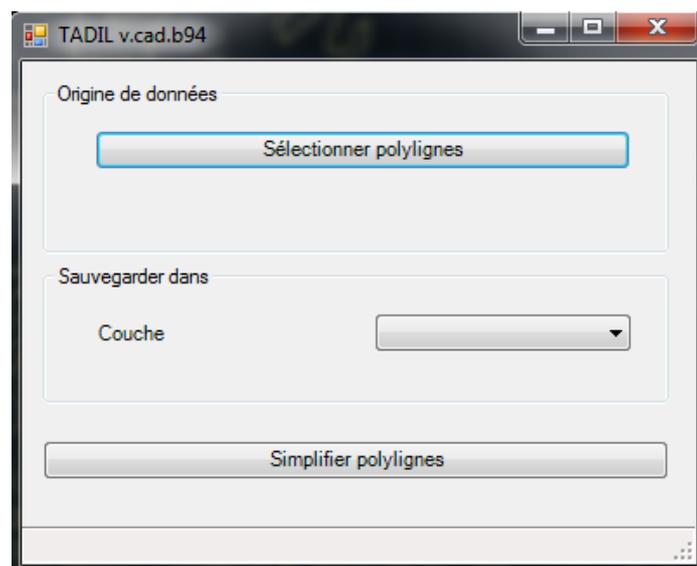


Image 1.2. Module TDS.

**LOGICIEL T.A.D.I.L.**

---

**TECHNIQUES D'AUTO-TRAÇAGE POUR LA CONCEPTION  
D'INFRASTRUCTURES LINÉAIRES.  
"TADIL."**

**GUIDE MÉTHODOLOGIQUE DE L'APPLIICATION.**

**CHAPITRE 2. LE SYSTÈME D'INFORMATION  
GÉOGRAPHIQUE. (S.I.G.)**

**GROUPEMENT D'INTÉRÊT ÉCONOMIQUE PROJET T.A.D.I.L.**

LOGICIEL TADIL.  
TECHNIQUES DE L'AUTO-TRAÇAGE POUR LA CONCEPTION  
D'INFRASTRUCTURES LINÉAIRES.

Guide Méthodologique de l'Application

CHAPITRE 2. LE SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE.

EDITION 1.

Dans ce chapitre, on décrit les variables du système d'information géographique, (S.I.G.), qui caractérisent le territoire et qui sont considérées pour le calcul automatique des tracés comme pour l'évaluation d'alternatives

Les variables se classifient en déterminantes et qualitatives. Les variables de type déterminantes ont une incidence sur les algorithmes de recherche de tracés, (ils déterminent le calcul du tracé), tandis que les variables qualitatives sont seulement considérées pour l'évaluation des alternatives une fois que les variables de type déterminant sont calculées. Les variables qualitatives peuvent avoir un caractère déterminant pour le tracé quand l'utilisateur empêche le passage dans les zones qui ont une caractéristique déterminée, (comme par exemple un Parc Naturel, une zone spécifique de faune protégée, etc.).

Dans ce chapitre, on décrit les variables du S.I.G. et leurs implémentations du point de vue de l'ingénierie. Le principal objectif de ce chapitre est d'apporter à l'utilisateur une vision pratique du territoire qui constitue un outil utile et efficace pour l'ingénieur, l'administration ou le promoteur du projet.

LE SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE.

SOUS-CHAPITRE 0. LE PROCÉDÉ.

## 0. Introduction

Dans ce chapitre, on décrit les variables territoriales que l'on sélectionne pour la détermination des alternatives de traçage comme pour l'évaluation finale de ces dernières.

### 1. Méthodologie

De même, les différentes entrées de ces variables intégreront une note subjective donnée par l'utilisateur qui permettra l'évaluation qualitative des différentes alternatives.

- Variables Déterminantes du SIG: ont un impact sur la définition du tracé des alternatives, en considération des différents algorithmes qui ont été définis comme dessin automatique du plan, et profil longitudinal du tracé des d'infrastructures. De même les différentes entrées de ces variables intégreront une note subjective donnée par l'utilisateur qui permettra l'évaluation qualitative des différentes alternatives.
- Variables qualitatives du SIG: on les utilise pour l'évaluation qualitative et subjective des différentes alternatives. Ces variables seront elles-mêmes conditions pour le traçage quand le critère « interdit de passer » est établi pour une zone avec une entrée déterminée de variable. C'est ainsi, par exemple, pour la variable « faune », dans l'entrée « vertébrés en danger d'extinction le gypaète barbu, on peut activer l'option « interdire de passage », dans ce cas les algorithmes de conception éviteraient le passage dans cette zone.

Dans l'ensemble des Variables Déterminantes du SIG, on va considérer un groupe spécial de variables:

- Variables de traçage au format SIG; à la différence de la majorité des programmes de traçage où les données de la section type sont introduites une fois définis le plan et le profil, dans le logiciel TADIL, les données s'introduisent avec le format SIG, sélectionnant par zones géographiques ; de telle façon que la section type d'une route ou d'un chemin de fer sera différente entre une zone où domine les argiles et dans une zone en présence de roches. Le programme assigne automatiquement la section type, dès qu'il identifie la zone appartenant au point de l'axe sur le plan de chaque section transversale.

### 2. Incidence sur la définition des tracés

Comme on décrit dans le chapitre 1, on peut activer (étude informative) ou contourner (étude préalable) la considération des variables introduites dans le SIG du programme pour élaborer le calcul des alternatives de traçage.

La première option permettra d'élaborer une étude plus complète de l'infrastructure, la seconde option remédiant les variables du SIG, correspond aux analyses rapides de la capacité d'accueil du territoire des infrastructures, quand il n'a pas été élaboré une étude préliminaire détaillée des caractéristiques de ce territoire.

En générale, les études informatives auront besoin d'une étude complète du territoire et des variables qui le caractérisent. Au contraire, dans les études préliminaires le niveau de connaissance sera inférieur.

### 3. Évaluation des alternatives

Les variables déterminantes comme les variables qualitatives permettront l'évaluation des alternatives sur la base des notes subjectives que l'utilisateur introduira, ainsi que les pourcentages de pondération de ces dernières. Cette évaluation permettra la sélection de la solution.

L'évaluation des variables du SIG se fera ensemble avec d'autres paramètres dérivés de la qualité du traçage, (longueur du traçage, vitesse moyenne, variables de rentabilité, etc.).

L'évaluation subjective des variables s'établit de 0 à 10. Plus la note est élevée, plus l'altération est importante et par conséquent l'évaluation est moins bonne. Un zéro (0), indique que l'altération est minime, ou que l'on obtient l'optimisation maximum, un dix (10) indique une plus grande altération, ou un résultat comparatif moindre.

Une bonne étude informative a besoin d'une analyse exhaustive des variables du Système d'information Géographique, et de l'analyse de sensibilité nécessaire permettant l'analyse des différentes options de traçage entre l'origine et les destinations prévues, tout en soupesant correctement entre la qualité du traçage et la capacité d'accueil pour le territoire.

LE SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE.

SOUS-CHAPITRE 1. SELECTION DES VARIABLES

## 0. Introduction

Dans le présent chapitre, on procède à définir les variables du Système d'Information Géographique qui sont considérées pour la détermination des tracés comme pour leurs évaluation.

## 1. Groupes de variables

En générale, on considère les variables habituelles pour la rédaction des études préliminaires, les études informatives, les études de terrain, les projets initiaux et les avant-projets, les licitations et pour les études d'évaluation environnementale des infrastructures.

Un regroupement fréquent de variables du système d'information géographique est le suivant:

- Variables géotechniques
- Variables géomorphologiques
- Variables environnementales
- Variables climatiques
- Variables socioéconomiques
- Variables patrimoniales

Par ailleurs, comme il a été dit antérieurement, les variables de traçage sont attribuées comme variables du SIG de la manière suivante:

- Variables de la section conventionnelle de déblai ou remblai: se définissent comme variables géotechniques.
- Variables définitoires des sections type tunnel: se définissent comme variables géotechniques.
- Variables définitoires de la fondation des structures: se définissent comme variables géotechniques.
- Variables de la définition de la typologie des structures: se définissent comme un groupe indépendant. La raison est que la typologie à sélectionner par l'utilisateur peut différer clairement des caractéristiques géotechniques du milieu et en particulier:
  - Il peut exister des zones où prime parfois l'esthétique des structures, (paysages urbains ou panoramas depuis un belvédère).
  - Il peut sélectionner des milieux géographiques où des structures spéciales sont nécessaires, (par exemple, les ponts à haubans).

## 2. Relation de Variables

A continuation, on passe à mettre en relation les variables qui sont incluses dans chacun des groupes qui ont été décrit ci-dessus:

- Variables géomorphologiques:
  - Côte ou hauteur au-dessus du niveau de la mer.
  - Clinométrie: pente maximum du terrain, (%).
  
- Variables géotechniques:
  - Géotechnique du Mouvement des terres:
    - *Risques géotechniques.*
    - *CBR / Classification du TNS.*
    - *Utilisation du matériel.*
    - *Purge sous remblai.*
    - *Purge en déblai.*
    - *Configuration des talus de déblai, (pentes, bermes y murs de contention).*
    - *Hauteur maximum du déblai sur l'axe.*
    - *Possibilité d'excavation.*
    - *Protection des talus.*
    - *Définition des couches de calloutis de la section type.*
  
  - Géotechnique des Tunnels:
    - *RMR.*
    - *Typologie-coût.*
    - *Méthodes d'excavation.*
    - *Traitements spécifiques.*
  
  - Géotechnique des Structures:
    - *Cimentation des viaducs et des ponts.*
    - *Cimentations pour passages inférieurs et les petits travaux.*
    - *Procédé d'excavation.*
    - *Présence d'eau.*
  
- Variables environnementales:
  - Zones de protection:
    - *Autant de variables possibles comme de classifications élaborées par l'usager. Par exemple, les zones ZPS, réserve de la Biosphère, Parques Naturels, etc.*
  
  - Évaluation de la faune:
    - *Autant de variables possibles comme de classifications élaborées par l'usager. Par exemple Mammifères, Oiseaux, Invertébrés, Espèce en danger d'extinction, etc.*
  
  - Évaluation de la flore:
    - *Autant de variables possibles comme de classifications élaborées par l'usager. Par exemple, Espèces arborées, les buissons, etc.*

- **Évaluation des sols:**
  - *Autant de variables possibles comme de classifications élaborées par l'utilisateur. Par exemple, Sol de culture, sols d'origine karstique, etc.*
- **Altération hydriques et hydrogéologiques:**
  - *Zones hydrauliques de domaine public, (incluant lacs ou barrages). On peut inclure plusieurs classifications si l'utilisateur le souhaite: des thalwegs, des ruisseaux, des eaux stagnantes, et angle maximum du croisement des lignes d'eau.*
  - *Gabarit de passage.*
  - *Eaux souterraines, (également avec une ou plusieurs classifications).*
- **Milieu Visuel:**
  - *Zones d'intérêt paysager, (plusieurs classifications).*
  - *Champs visuels d'intérêt.*
- **Liberté de passage de la faune:**
  - *Elle fait référence aux zones où, si le cas l'exige, il est nécessaire de disposer à des distances déterminées, des passages à faune (tunnels et structures).*
- **Variables climatiques:**
  - Variables Climatiques
  - Les grosses gelées
  - Zones d'ombres
  - Zones de fortes tempêtes
  - Zones de fortes pluies
  - Zones de neige
  - Zones de vents forts
  - Zones de brouillards fréquents
- **Variables socioéconomiques:**
  - Zone Secteur primaire
  - Zone Secteur secondaire
  - Zone Secteur tertiaire
- **Variables patrimoniales:**
  - Forêts Publiques
  - Terrains urbains
  - Terrains constructibles
  - Terrains non constructibles
  - Sites archéologiques, (pouvant établir différentes classifications selon l'utilisateur, par exemple, zones de précaution, biens d'intérêt culturel, etc.)

- Zones d'intérêts spécial
- Croisement des chemins de transhumance:
  - *Typologie des chemins de transhumance.*
- Croisement des infrastructures:
  - *Croisement des infrastructures linéaires (routes, chemins de fer, canaux, lignes électriques de téléphone, etc.)*
  - *Besoin de croisement à différent niveau des infrastructures linéaires*
  - *Zones d'occupation par infrastructures publiques, (réservoirs, sous-stations électriques, etc.)*
  - *Grandes exploitations minières ou carrières*
- **Structure:**
  - *Typologie-coût.*

### 3. Variables déterminantes et variables qualitatives.

Comme il a été indiqué précédemment, toutes les variables se mettent en œuvre comme déterminantes dès que l'utilisateur peut exiger que les tracés ne passent pas dans certaines zones d'une valeur concrète avec registre de variable.

Cependant, le programme va considérer, par défaut, certaines variables seulement pour la configuration des alternatives dans les différents algorithmes. On appellera ces variables, variables déterminantes. Ces variables seront également qualitatives puisqu'elles serviront pour calibrer l'adéquation des alternatives.

La classification des variables par groupes se résume dans le suivant tableau :

Groupe	Variable	Condition	Qualitative
V. Géomorphologique	Côte	X	
	Clinométrie	X	
Variables Géotechniques Mouvement des terres	Risques géotechniques	X	
	CBR		X
	Stabilité horizontale terrain	X	X
	Utilisation		X
	Purge sous remblai		X
	Purge en déblai		X
	Conf. Talus de déblai	X	X
	Conf. Talus de remblai	X	
	Hauteur max. du déblai sur l'axe	X	
	Hauteur max. du remblai sur l'axe	X	
	Possibilité d'excavation		X
	Protection de talus		X
Variables géotechniques	Couches de revêtement	X	
	RMR		X
	Typologie-coût	X	
	Méthode d'excavation		X
Variables géotechniques Structures	Traitements spécifiques		X
	Cimentations des viaducs		X
	Cimentations travaux passage		X
	Procédés d'excavation		X
Murs	Présence d'eau		X
	Volume des murs		X
V. Environnementales	Zones de protection		X
	Évaluation de la faune		X
	Évaluation de la flore		X
	Évaluation des sols		X
	Domaine public hydraulique		X
	Angle de croisement DPH	X	
	Gabarit de passage sur le canal	X	
	Eaux souterraines		X
	Zones d'intérêt paysager		X
	Champs visuels		X
V. Climatiques	Perméabilité infrastr.		X
	Zones de grosses gelées		X
	Zone d'ombres		X
	Zone de fortes tempêtes		X
	Zones de fortes pluies		X
	Zone de neige		X
	Zones de vents forts		X
	Zone de brouillards fréquents		X
V. Socioéconomiques	Zones de secteur primaire		X
	Zones de secteur secondaire		X
	Zones de secteur tertiaire		X
V. Patrimoniales	Forêts Publiques		X
	Sols urbains		X
	Terrains constructibles		X
	Sites archéologiques BIC		X
	Zones d'intérêt spécial		X
	Typ. Crois. chemin transhumance		X
	Typ. Crois. d'infrastructures	X	
	Besoin passage à niveaux infrastr.	X	
	Zones d'infrastructures publiques		X
Infrastructures minières/carrières		X	
V. Structures	Typologie-coût	X	

Table 2-1. Classification de variables.

On peut expliquer, qu'aux variables qualitatives en plus des variables du SIG s'ajoutent aussi, les variables nécessaires pour évaluer la qualité du traçage, ainsi que les variables en relation avec l'investissement qui est nécessaire pour chaque alternative et leur viabilité.

Dans les sous-chapitres successifs, on analyse chacune des variables du Système d'Information Géographique.

On peut indiquer que, l'utilisateur pourra sélectionner les variables qu'il désire pour l'analyse subjective des différentes alternatives qu'il évalue.

LE SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE.  
*SOUS-CHAPITRE 2. VARIABLES GÉOMORPHOLOGIQUES*

## 0. Introduction

Dans ce chapitre, on décrit les variables de type géomorphologique, leur introduction, leur traitement.

Comme on a vu dans le chapitre antérieur, ces variables ont un caractère déterminant dans le calcul des alternatives de traçage.

## 1. Variables géomorphologiques

Les variables géomorphologiques qui s'installent dans le programme sont:

- Côte ou hauteur au-dessus du niveau de la mer (les mètres au-dessus du niveau de la mer) donnée par la cartographie du projet.
- Clinométrie: pente maximum du terrain acceptée pour l'accueil d'un traçage (%).

Ces deux variables sont déterminantes pour la configuration initiale des alternatives de traçage, bien que son influence s'instalera de manière différente. Dans le cas de la variable de la pente maximum du terrain, le logiciel comprend une fonction qui permet de visualiser les zones de pente supérieure à celle déterminée par l'utilisateur pour toute la zone d'étude, en permettant donc que l'utilisateur génère des zones de non passage. De la même manière, la variable de pente maximum du terrain s'introduit dans chacune des fiches géotechniques territoriales.

Pour cette raison, la variable clinométrie est une variable déterminante pour la configuration des tracés, tant avec l'application de l'algorithme d'éventail comme pour l'algorithme de recherche globale.

LE SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE.  
SOUS-CHAPITRE 3. VARIABLES GÉOTECHNIQUES

## 0. Introduction

Dans le présent chapitre on décrit les variables géotechniques, leur mise en œuvre et leur répercussion sur le traçage.

## 1. Variables Géotechniques

Les variables géotechniques sont celles qui ont la plus grande répercussion sur le traçage d'une infrastructure et c'est ainsi qu'on le reflète dans le logiciel TADIL.

Comme on a indiqué antérieurement dans des études informatives, la répercussion du passage dans une zone géotechnique concrète, est automatique dans le traçage, c'est-à-dire, l'altération des caractéristiques de la section type en fonction de la géotechnique sont assignées à chaque section transversale de manière automatique, à la différence des programmes existant sur le marché; cette caractéristique s'applique de façon dynamique aux algorithmes d'éventail et en conséquence dans l'étude d'alternatives, on prend en compte point par point la répercussion des variables géotechniques sur le coût total de l'infrastructure, ce qui constitue une caractéristique qualitative exceptionnelle dans la recherche de tracés.

Les variables géotechniques qui sont considérées se différencient selon si l'on traite de sections conventionnelles en déblai ou remblai, viaducs ou tunnels.

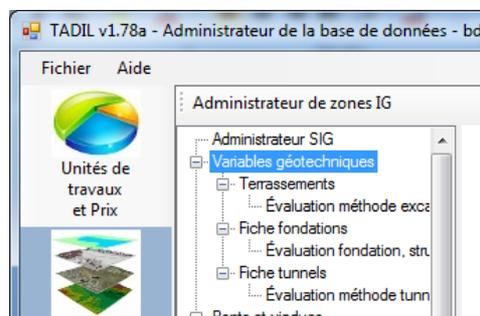


Image 2-1. Structure du logiciel pour la sélection du groupe de variables géotechniques.

- Géotechnique du Mouvement des terres:
  - *Risques géotechniques*
  - *CBR / Classification du TNS*
  - *Utilisation de matériels*
  - *Purge sous remblai*
  - *Purge en déblai*
  - *Configuration des talus de déblai, (pentes, bermes y murs de contention)*
  - *Hauteur maximum de déblai dans l'axe*
  - *Possibilité d'excavation*
  - *Protection des talus*

- *Définition des couches de calloutis (dans le cas des routes)*
- Géotechnique de Tunnels:
  - *RMR*
  - *Typologie-coût*
  - *Méthodes d'excavation*
  - *Traitements spécifiques*
- Géotechnique des structures:
  - *Cimentation des viaducs et sur ponts*
  - *Cimentation des passages inférieurs et des ouvrages d'importance secondaire*
  - *Procédés d'excavation*
  - *Présence d'eau*

A continuation, on va commenter chacune des variables antérieures pour chacun des groupes.

### **1.1. Variables géotechniques du mouvement des terres**

L'introduction des variables se met en place afin que soit défini pour l'utilisateur, une fiche générale qui corresponde avec le matériel prédominant et qui, par défaut, s'appliquera à toute la cartographie et les fiches spécifiques pour les zones moins étendues.

L'utilisateur pourra éditer les fiches à sa convenance, dans le menu éditer, créer de nouvelles fiches ou les éliminer.

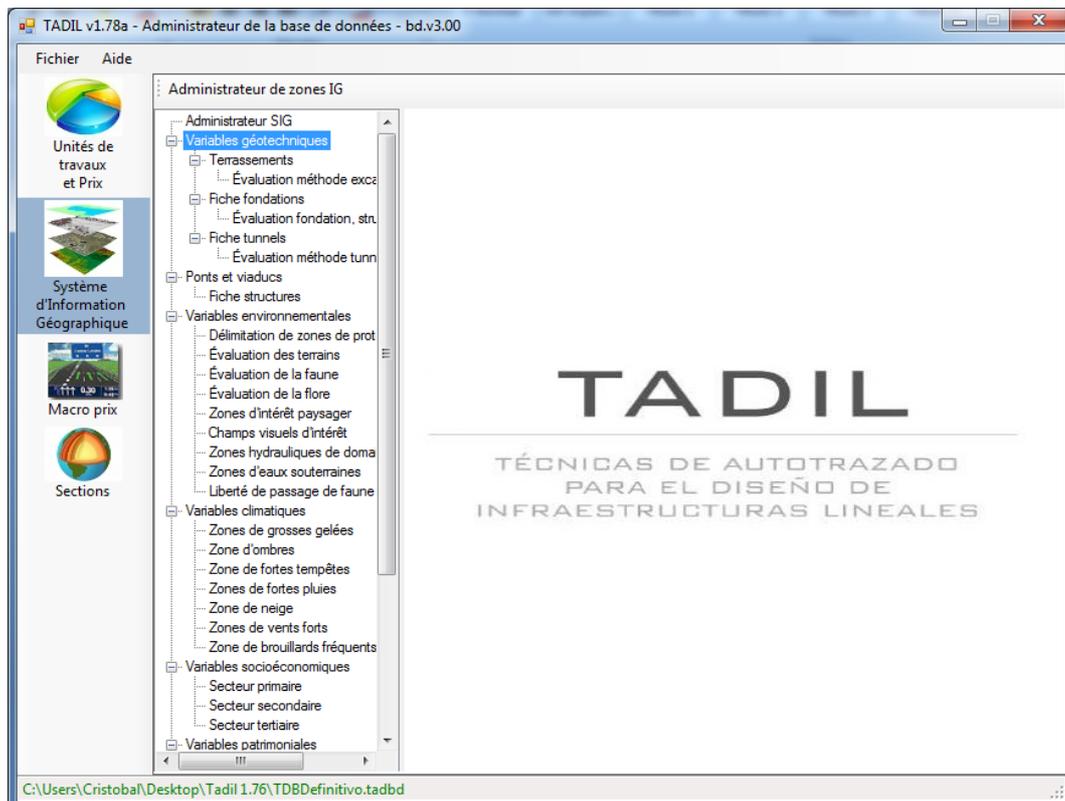


Image 2-2. Structure du logiciel pour la sélection de la fiche générale ou spécifique, ou l'édition des fiches.

La fiche générale et la fiche spécifique ont la même structure, exactement comme on peut l'observer dans les graphiques ci-joints.

Il doit être indiqué que le programme ne considère pas les variables exclusivement géologiques, mais celles qui sont géotechniques avec incidence sur la configuration de la section type.

Quand l'utilisateur voudra établir une quelconque classification sur la base de critères géologiques, il pourra le faire à travers l'édition de fiches géotechniques, à l'aide de la désignation du groupe géologique auquel appartient le groupe lithologique dont les caractéristiques sont définies.

Comme on peut observer, il est possible d'attribuer le nom d'un groupe géologique pour chaque fiche géotechnique, ainsi qu'une couleur concrète. L'utilisateur, par exemple, pourra donner la même couleur à tous les groupes lithologiques qui appartiennent au même groupe géologique. Ainsi, une zone d'étude pourra avoir 8 groupes lithologiques regroupant 5 zones géologiques.

Chaque fois que se crée une fiche pour qu'il y ait une incidence sur le projet, il est nécessaire que soit désigné la ligne polygonale correspondante; une fois désignée elle pourra se garder avec le nom indiqué par l'utilisateur.

D'autre part, l'élimination des fiches, cela implique l'élimination des lignes polygonales correspondantes qui lui seraient assignées.

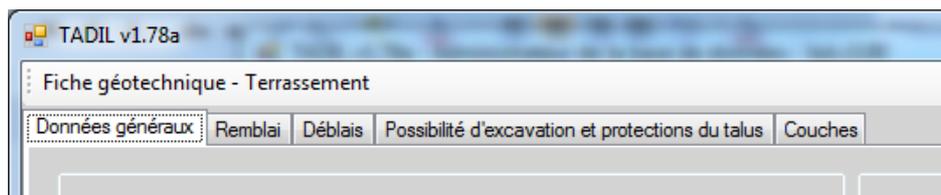


Imagen 2-3. Structure de l'édition de la fiche géotechnique. Structure de sous-menus.

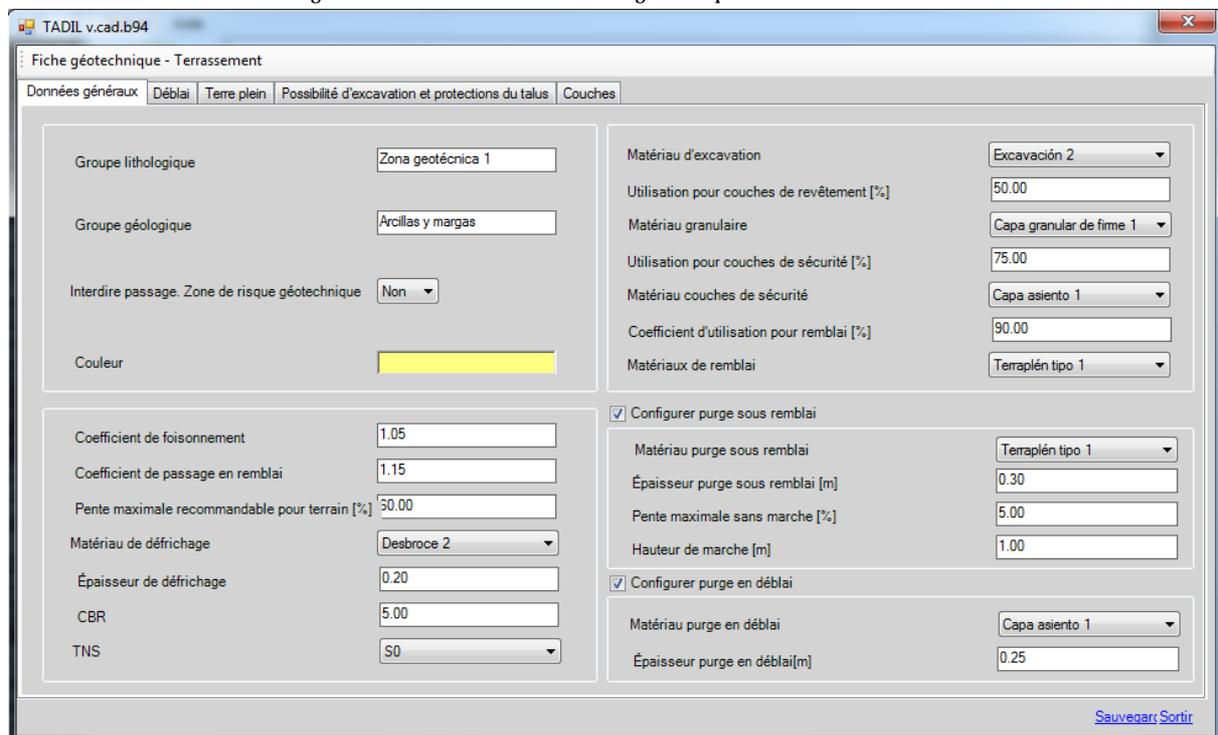


Image 2-4. Structure de la fiche géotechnique. Données générales.

La première variable qui est considérée dans la fiche géotechnique est celle de la "zone de risques géotechniques. Interdire de passage". Avec cette variable, seront définies les zones dans lesquelles il n'est pas recommandable le passage de l'infrastructure pour plusieurs raisons. Quand cette option sera marquée, il ne sera pas nécessaire de compléter le reste des données.

Les variables de coefficient de passage et de coefficient de foisonnement seront prises en compte pour l'obtention du budget final de l'infrastructure et par conséquent pour l'obtention des résultats de rentabilité, (Budget et Valeur actuelle nette (VAN)). Ils permettront évidemment d'évaluer convenablement le bilan des terres.

La variable de la pente maximum du terrain tel qu'il a été indiqué, est considérée pour l'option qui détermine les zones d'interdire de passage dans le MDT, et pour des zones aux faibles possibilités d'accueil de tracés, car elles sont très escarpées.

La valeur de CBR est une variable qualitative et la valeur Terrain Naturel Sous-jacent (TNS) a un caractère informatif. Le programme établit par défaut les types de TNS y CBR suivants, fréquents dans la plus grande partie des réglementations nationales:

- Sol inadéquat.
- Sol Marginal.
- Sol Tolérable.
- Sol adéquat.
- Sélectionné type 2.
- Sélectionné type 3.
- Sélectionné type 4.
- Graves naturelles. ZN
- Roche.
- Remblai en pierres sèches.
- Remblai tout-venant.
- Sol stabilisé in situ.

Le CBR est un pourcentage dont la valeur se situe entre 0 y 100.

Pour le TNS, on désigne les sigles, standards pour la plupart des réglementations, qui permettent de connaître de façon rapide les caractéristiques générales du matériel lithologiques.

La relation entre les groupes de TNS y CBR se décrit dans le tableau suivant:

Symbole	Désignation du matériel	Prescriptions complémentaires pour son utilisation	
		Noyau	Couches de sécurité
SIN	Sol Inadéquat	Non utilisé	Non utilisé
S00	Sol Marginal	Etude spéciale. Non utilisable dans les zones d'inondation	Non utilisé
S0	Sol Tolérable	CBR $\geq$ 3  Gonflement (1) < 3% Non utilisable dans les zones d'inondation	No utilisable
S1	Sol Adéquat	CBR $\geq$ 5  Gonflement (1) < 3% Sauf dans les zones d'inondation	CBR $\geq$ 5  Gonflement (1) nul Seulement utilisable sur les sols

		que <1%	SIN,S000 ó S0
S2	Sol Sélectionné Type 2	CBR ≥ 10 Gonflement < 1%	CBR ≥ 10 Gonflement (1) nul
S3	Sol Sélectionné Typo 3	CBR ≥ 20 Gonflement (1)< 1%	CBR ≥ 20 Gonflement (1) nul
S4	Sol Sélectionné Type 4	CBR ≥ 20 Gonflement (1)< 1%	CBR ≥ 40 Gonflement (1) nul
S-EST1	Sol Stabilisé in situ Typo 1	Chaux ou ciment ≥ 2% y CBR à partir de 7 jours ≥ 6	
S-EST2	Sol Stabilisé in situ Type 2	Chaux ou ciment ≥ 3% y CBR a partir de 7 jours ≥ 12	
S-EST3	Sol Stabilisé in situ Tpo 3	Résistance à la compression à partir de 7 jours ≥ 1.5 MPa et ciment ≥ 3%	
Z	Graves	Selon Art. 510 del PG-3	
ROCA	Abatage de la roche	-	Régularisation avec béton HM-20
P	Remblai en pierres sèches	Selon la réglementation	Non utilisable dans les couches de sécurité
TU	Remblai tout-venant	Selon la réglementation	
(1)	Le gonflement se fera en édomètre selon la Norme UNE 103.601		

Table 2-2. TNS – CBR.

Les pourcentages de matériel d'excavation utilisable pour les travaux sont aussi des variables qualitatives et ils sont également tenus en compte pour la définition de compensation des terres du budget. De la même manière, les purges sont des variables qualitatives et elles se considèrent dans la définition du budget et de la compensation des terres.

Il est important de souligner l'importance de prévoir un bon usage des matériaux originaires des excavations pour ce qui est de la gestion même des travaux. Moins il y a d'apport de terres d'emprunt, plus les travaux seront optimisés. C'est pourquoi, ce paragraphe a un rôle décisif dans la viabilité du projet, quand même il serait étudié à niveau d'étude informative.

Pour la gestion des matériaux, le programme entend que les meilleurs matériaux qui sont originaires de l'excavation pourront s'utiliser dans n'importe quelle couche lorsqu'il en reste. Ainsi, par exemple, imaginons une infrastructure qui croise une zone géotechnique où les excavations produisent des graves, et où l'on peut extraire jusqu'à 12.000 m<sup>3</sup> de ce matériau; pour les travaux il est seulement nécessaire 4.000 m<sup>3</sup> pour leur emploi comme couches de calloutis ; le volume restant sera alors employé pour la couche de sécurité, (à la place de sol sélectionné), et s'il en reste encore, il s'utilisera pour la formation de remblai, (à la place de sol adéquat).

Ainsi, si on extrait 20.000 m<sup>3</sup> de sol sélectionné et on aurait seulement besoin de 15.000 m<sup>3</sup> pour les couches de sécurité, les 5.000 restants s'utiliseraient pour la formation de remblai. Évidemment ils ne pourraient pas être utilisés pour les couches granulaires de revêtement, n'étant pas en accord avec les conditions techniques.

A l'heure de l'assignation du volume des terres, le programme complètera en premier les couches granulaires car se sont les plus chères, ensuite les couches de sécurité et finalement celles des remblais, en tenant compte tous les matériaux disponibles tout au long du tracé, dans les différents groupes géotechniques qu'il traverse.

**COUCHES GRANULAIRES à COUCHES DE SÉCURITÉ à COUCHES DE REMBLAI**

L'utilisateur devra donc indiquer les matériaux pour lesquels on va utiliser les excavations pour chacun des groupes de couches. Pour réussir la meilleure utilisation possible, ces matériaux doivent être en accord avec ceux qui sont indiqués dans le paragraphe des couches, autant pour ce groupe géotechnique comme pour les autres.

L'utilisateur devra donc indiquer les matériaux venant des excavations qui seront employés dans chaque groupe de couches.

Les pourcentages de matériel d'excavation pour chacun des groupes de couches, auront par conséquent des valeurs ajoutées, c'est à dire, le pourcentage utilisable pour les terres-plein sera supérieur ou égal à celui pour les couches de sécurité, celui utilisable pour les couches de sécurité sera supérieur ou égal à celui pour les couches granulaires de revêtement.

% du matériel d'excavation utilisable des couches de terres-plein  $\geq$  % Exploitation des couches de sécurité.

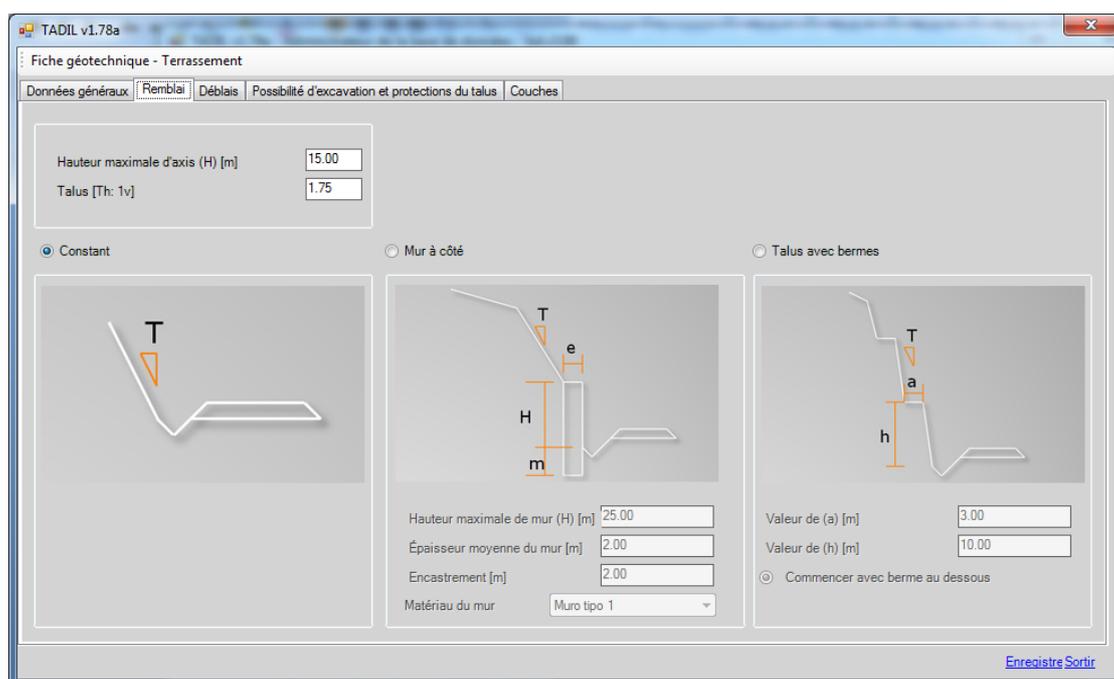
% du matériel d'excavation utilisable des couches de sécurité  $\geq$  % Exploitation des couches granulaires de revêtement.

En général, l'utilisateur pourra décider ses propres stratégies de gestion de matériaux. Il peut arriver, par exemple, que lors du traçage d'une infrastructure des zones de matériaux de bonne qualité s'alternent avec des zones de matériaux de mauvaises qualités ; il serait convenient alors de désigner comme matériels des couches, (granulaires de revêtement, de sécurité et remblai), ceux qui seront obtenus dans des zones géotechniques les plus profitables.

Pour les matériaux désignés pour chaque couche et remplissage, on leur attribuera les prix de la base de données selon leurs origines, remblais d'excavations des travaux ou matériaux d'emprunt. De même, en ce qui concerne les excavations des travaux, un prix différent sera appliqué aux volumes destinés à l'emploi dans les travaux et aux volumes destinés aux déchèteries.

En ce qui concerne la configuration des sections de déblai et remblai, on peut faire les commentaires suivants:

- la limitation de la hauteur du talus se fait depuis les hauteurs maximum de l'axe de déblai et remblai et elles peuvent s'établir par groupe géotechnique ou pour tous les travaux.
- toutes les variables ont une incidence sur la définition du traçage d'alternatives. En outre, elles détermineront le budget de l'infrastructure.



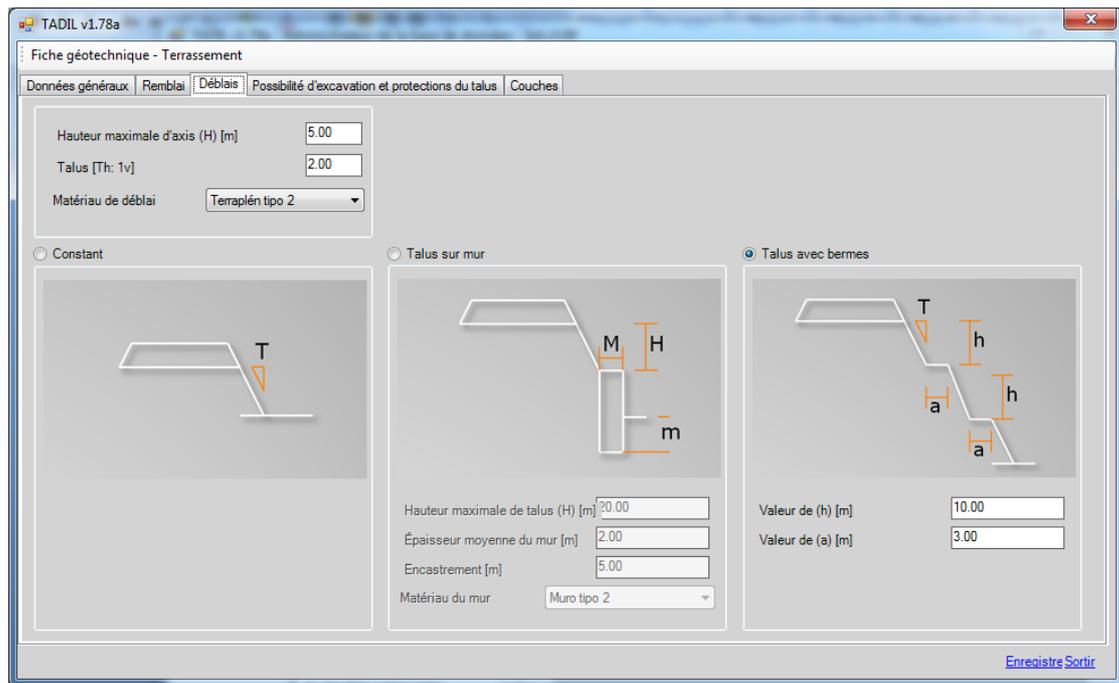


Image 2-5. Fiche des talus.

Pour le déblai comme pour le remblai, trois possibilités sont considérées:

- le talus constant
- le talus sur mur
- le talus avec bermes

Pour ce qui concerne la possibilité d'excavation et la protection de talus dans chaque groupe géotechnique, il est bon d'indiquer que ces variables s'évaluent de manière subjective.

La note sera évidemment meilleure quand il existera plus de facilités pour l'excavation et moins d'exigence pour la protection des talus.

Dans le graphique ci-joint, on peut observer ces différentes options.

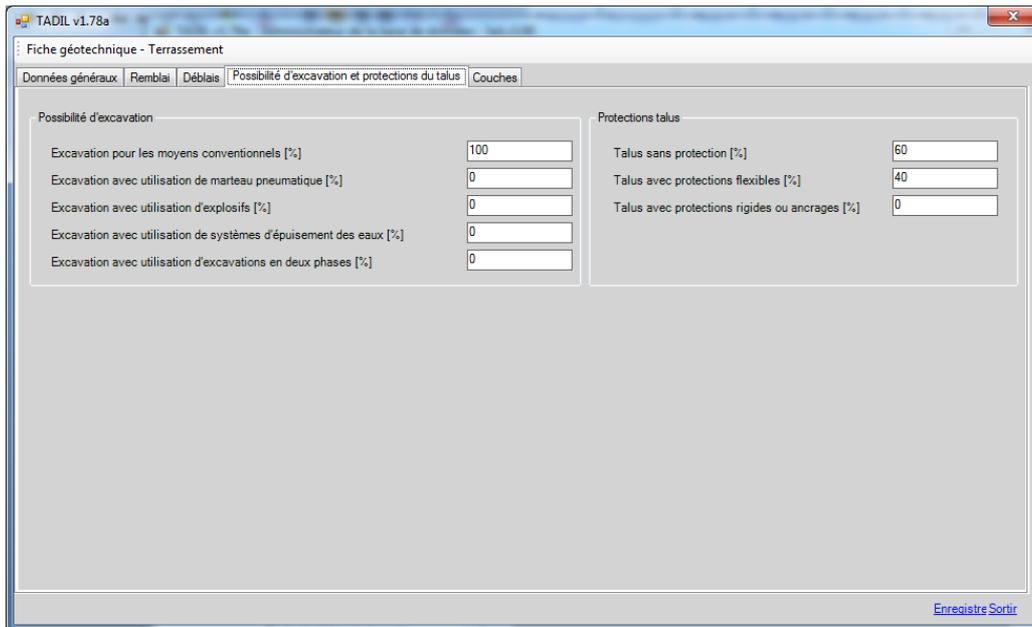


Image 2-6. Options pour la définition de la possibilité d'excavation et la protection des talus.

Enfin, il doit être commenté que les paquets de calloutis, (dans le cas des routes), se définissent par le groupe géotechnique.

Dans le menu de la fiche géotechnique, les couches de calloutis comme les couches de sécurité sont introduites.

L'utilisateur pourra aussi copier les couches de la voie routière au bord de la route.

Dans le schéma des couches de la section type, la différence d'épaisseur entre les couches de revêtements des bas côtés et la chaussée sera complétée avec le matériel immédiatement inférieur des couches de sécurité ou de remblai.

Les couches s'introduisent de haut en bas.

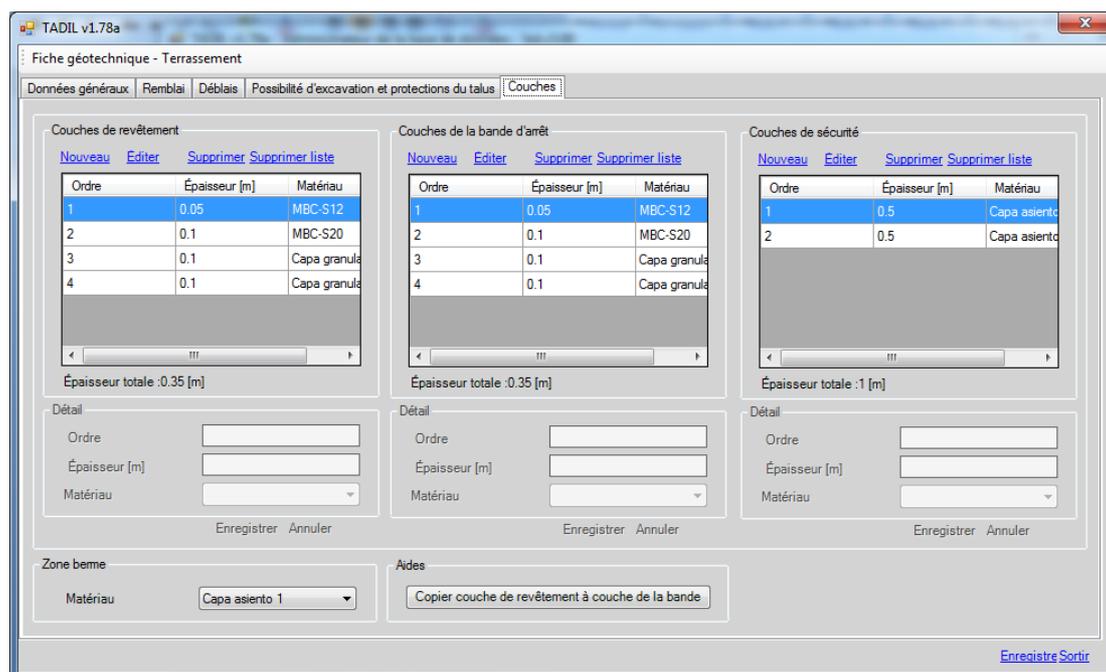
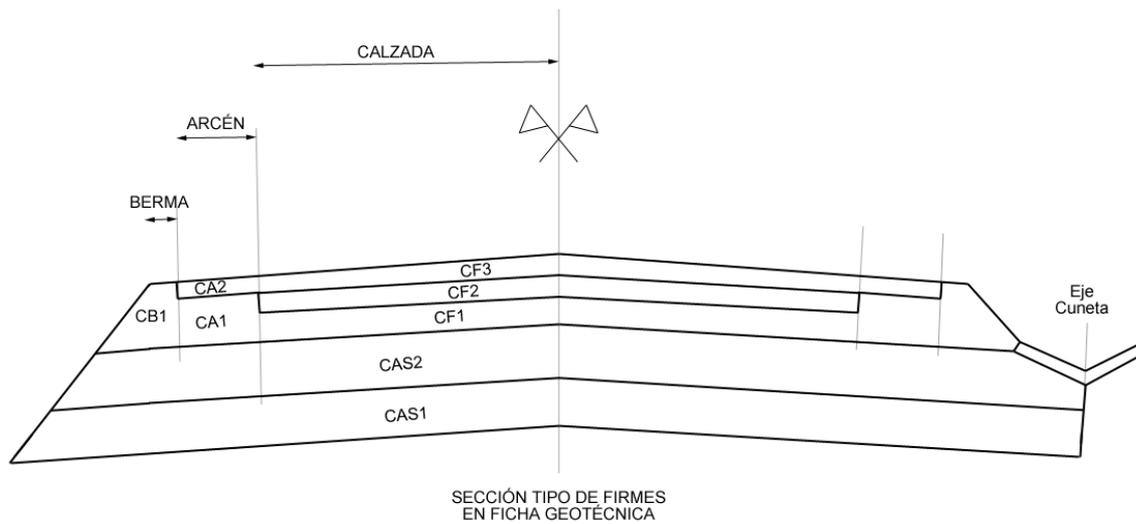
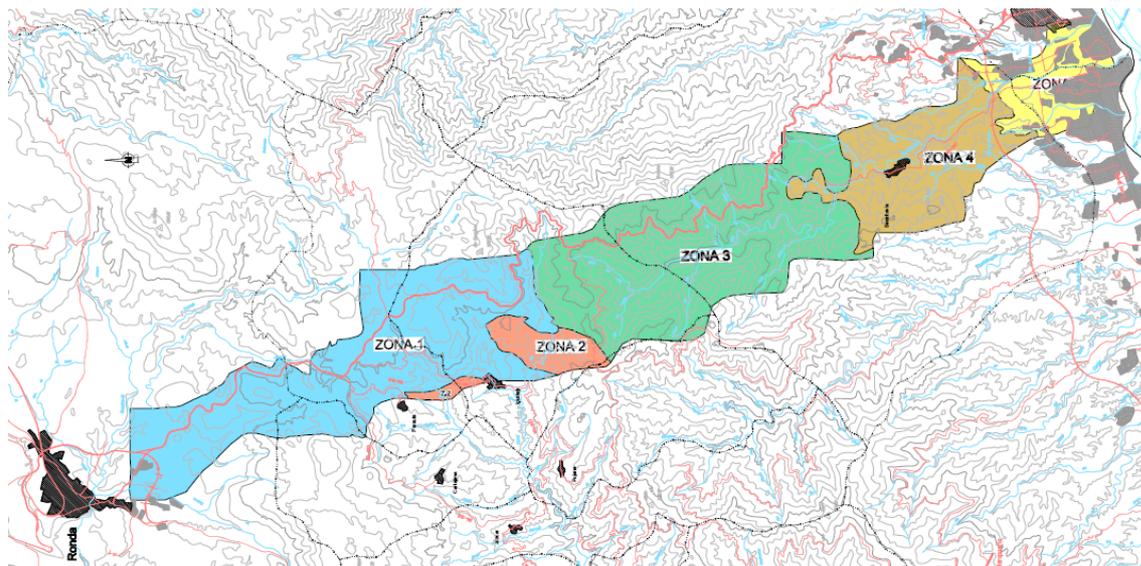


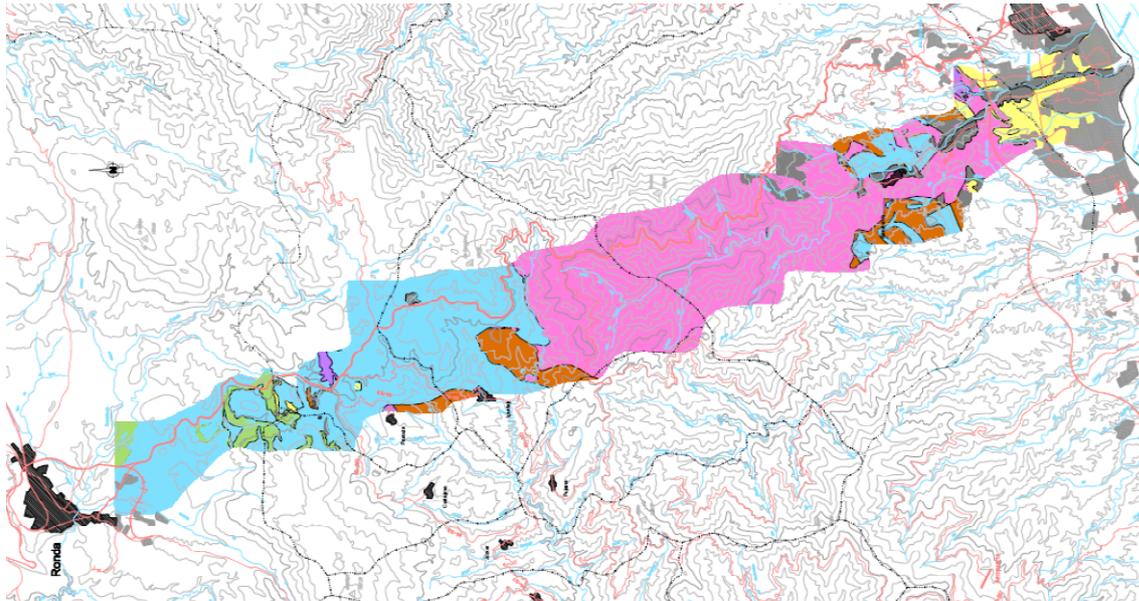
Image 2-7. Introduction des couches de sécurité.



Graphique 2-1. Section conventionnelle des types de chaussées sur les routes.



ZONA 1		Serranía de Ronda, Sierra del Oreganal, Sierra de las Nieves y Sierra de Tolox.
ZONA 2		Zona de Igualaja
ZONA 3		Sierra Bermeja
ZONA 4		Zona de Benahavis, estribaciones de Sierra Bermeja
ZONA 5		Llanura y lomas de San Pedro de Alcántara



GRUPO I		GRUPO V	
GRUPO II		GRUPO VI	
GRUPO III		GRUPO VII	
GRUPO IV			

Image 2-8. Exemple de 8 zones géotechniques qui se regroupent en 5 groupes géologiques.

## **1.2. Variables géotechniques pour les tunnels**

Dans la définition des variables géotechniques pour les tunnels, on analyse les paramètres suivants:

- RMR
- Typologie-coût
- Méthodes d'excavation
- Traitements spécifiques

Comme dans le cas des fiches géotechniques du mouvement des terres, on pourra configurer une seule fiche générale ainsi qu'en ajouter d'autres spécifiques.

Les noms ou les groupes lithologiques peuvent coïncider avec ceux définis pour la géotechnique du mouvement des terres ou bien on peut en créer d'autres.

Dans la fiche, on peut indiquer simplement l'interdiction d'implanter des tunnels dans une zone concrète du territoire, aspect déterminant pour la configuration des traçages dans l'algorithme d'éventail comme dans l'algorithme de recherche globale.

La typologie de tunnel qui s'établit dans une zone déterminée correspondra à une des parties retenue (avec le prix par kilomètre correspondant), comprise dans la base budgétaire des travaux et des prix. En sélectionnant une typologie, le budget se calculera au prix assigné à la dite typologie.

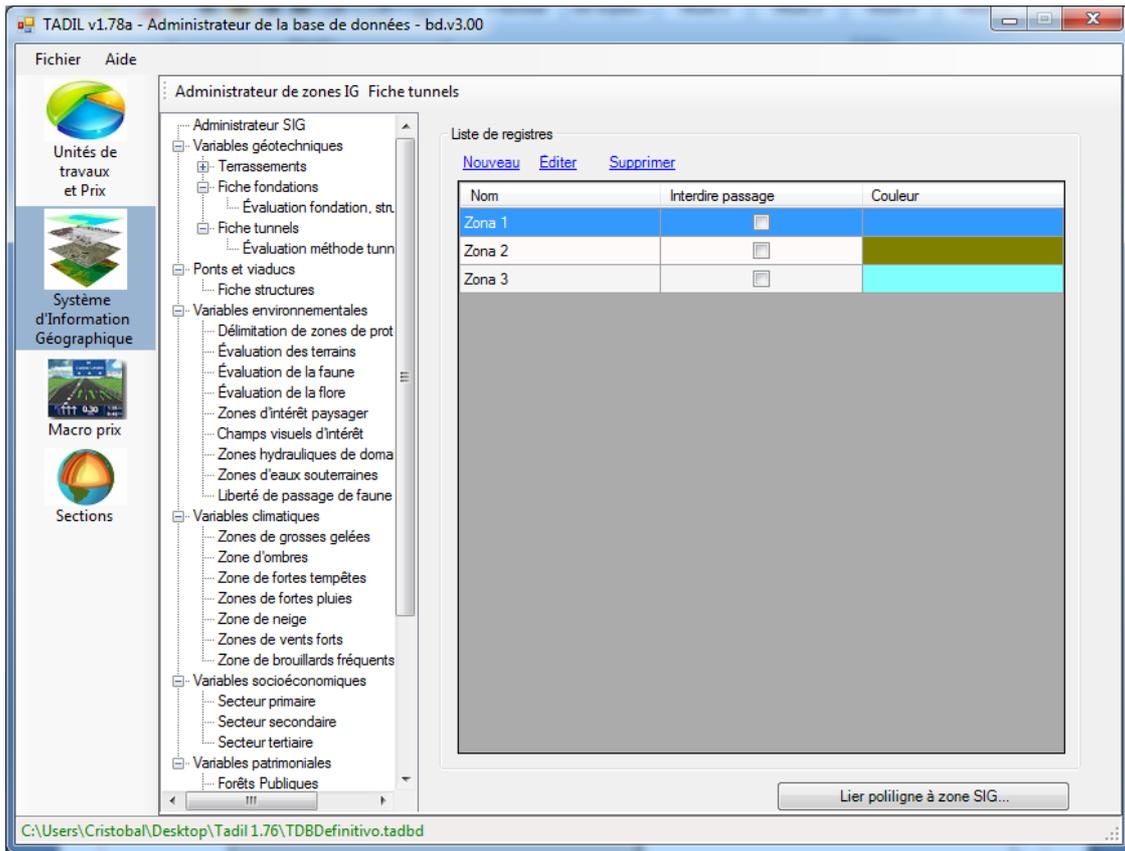


Image 2-9. Structure pour l'édition des fiches.

TADIL v1.78a

Fiche géotechnique - Tunnels

Données Table RMR

Données zone

Nom: Zona 1

Interdire tunnels: Non

Couleur: [Color selection box]

Description: Terreno muy bueno. RMR>81

Données tunnel

Type: [Dropdown menu]

Tunnel: Circular tipo 1

Avec voussoirs: Non

Avec contrevoûte: Non

RMR: 85

Gabarit vertical (m): 5.00

Largeur (m): 11.00 [Buscar sección]

Nom section (\*.dwg): TUN-01-CIRCUL-810\_999-110-60.dwg [Browse icon]

Méthode exécution tunnel

Méthodes d'excavation: Percement et explosifs

Traitements spécifiques: Sans besoin de traitements

Enregistre Sortir

Image 2-10. Fiche géotechnique pour les tunnels.

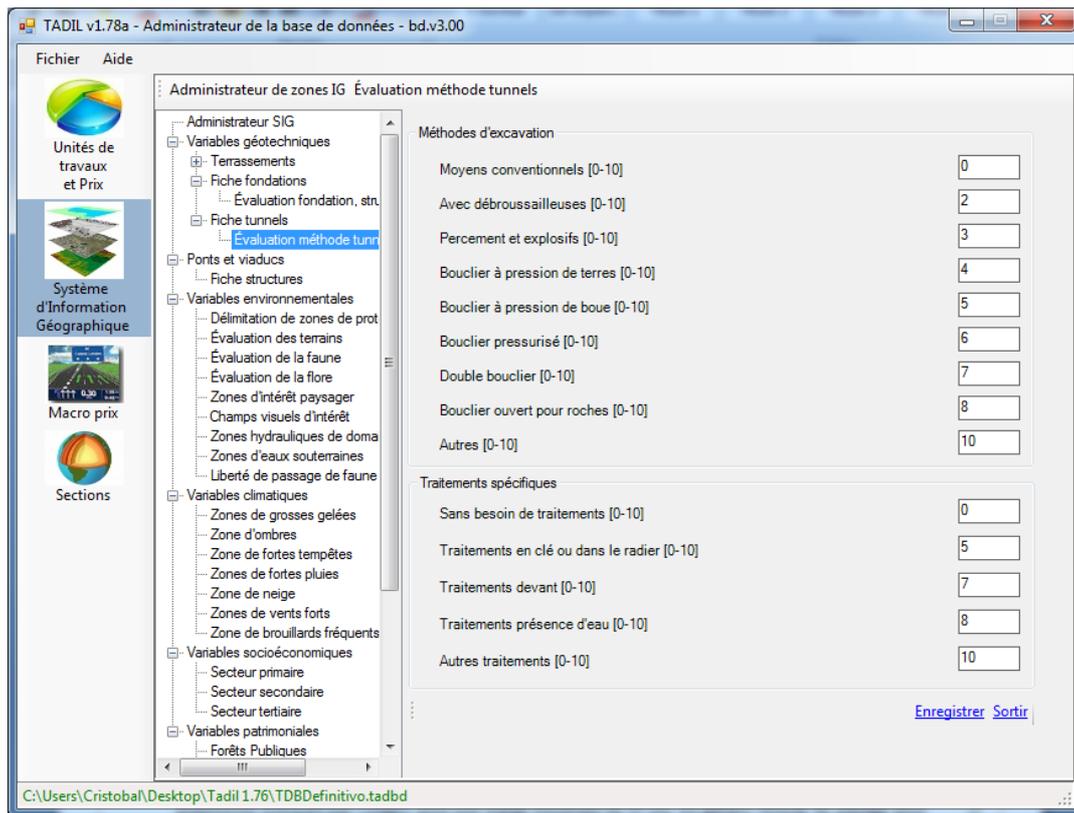


Image 2-11. Méthodes d'excavation et de traitements spécifiques.

Les données de gabarit de passage vertical et aditionnel de la largeur de la plateforme servent pour générer la section transversale du tunnel. Le gabarit de passage horizontal se forme avec la largeur de la plateforme indiquée par l'utilisateur, plus une marge minimale de 30 cm. Le gabarit vertical de passage plus le gabarit horizontal configure le rectangle des gabarits de passage.

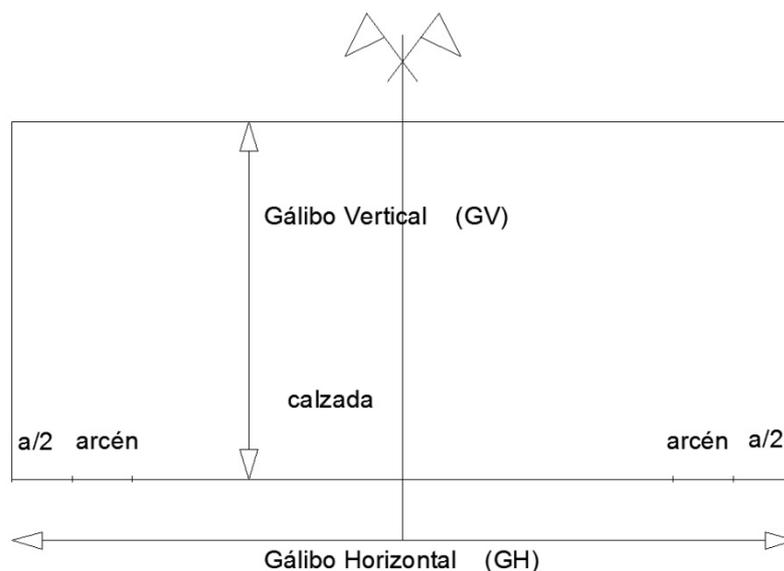


Image 2-12. Tableau des gabarits de passage dans le tunnel; a est la marge à considérer par l'utilisateur.

Une fois défini le gabarit de passage horizontal et le gabarit de passage vertical, on propose à l'utilisateur trois géométries qui prennent la forme suivante:

**Circulaire:** dans ce cas le périmètre intérieur passe par les quatre points du rectangle qui définit le gabarit.

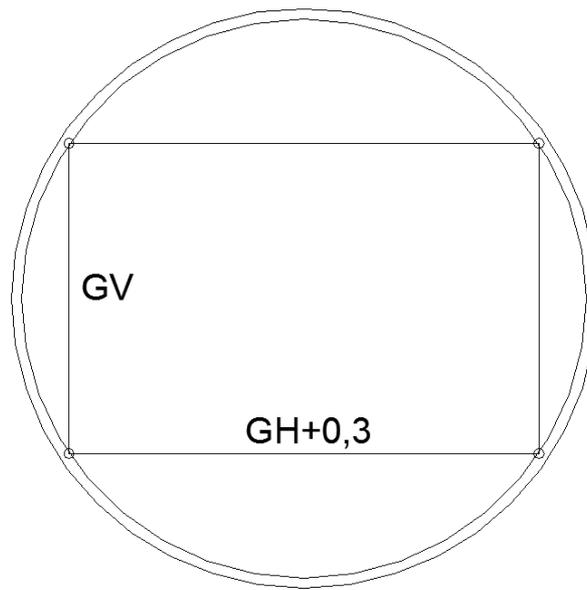


Image 2-13. Configuration de tunnel avec une section circulaire

**Passage:** Fer à cheval: dans ce cas l'arc en demi-cercle se situe sur le gabarit de passage.

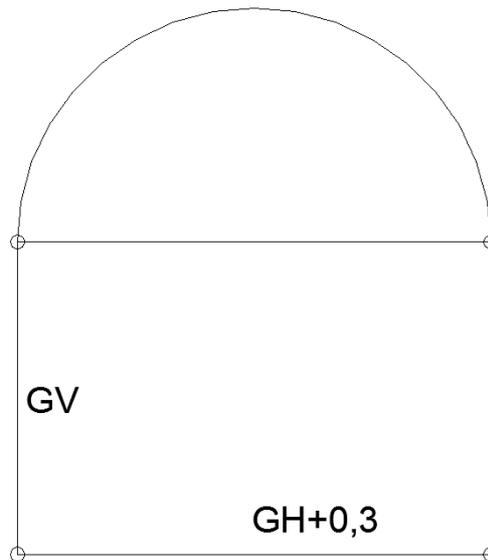


Image 2-14. Configuration de tunnel avec une section en fer à cheval.

**Voûte:** les arcs inférieurs se projettent depuis le centre du rectangle des gabarits de passage en passant par les deux sommets supérieurs du rectangle des gabarits de passage.

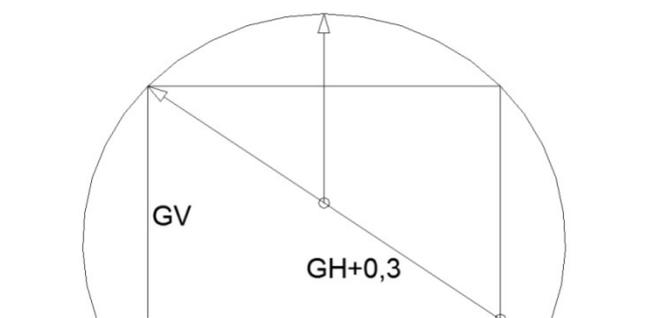


Image 2-15. Configuration de tunnel avec une section de voûte

S'il le désire, l'utilisateur peut également sélectionner une voûte en berceau, (seulement pour les sections en fer à cheval ou en voûte).

Finalement, la définition du support et du revêtement se fait en fonction de la valeur du RMR et en accord avec le tableau suivant:

RMR	EXCAVATION	BOULONNAGE	GUNITAGE	CERCES
>81	Section complète. Avancées de 3 m.	Quelque boulon occasionnel 5 cm en face. Maille systématique.	Non nécessaire ou 5 cm par sécurité	Non
61-80	Section complète. Avancées de 1-1,5 m.	Boulonnage local en voûte. L=2-3 m. S=2-2,5	5 cm sur voûte- Eventuellement sur maille	Non
41-60	Méthode Autrichienne Avancées de 1,5-3 m.	Boulonnage Systématique m. S= 1,5-2 m.	5-10 cm sur voûte, 3 cm sur pignons. Maille sur voûte	Non
21-40	Méthode Autrichienne Avancées de 1-1,5 m.	Boulonnage Systématique L=4-5 m. S= 1-1,5 m.	10-15 cm sur voûte. 10 cm sur pignons. Maille systématique.	Légères; S=1,5 m.
<20	Multipl. phases Avancées de 0,5-1 m.	Boulon systématique (même Sur ciment) L=5-6 m, S=1-1,5	15-20 cm sur voûte. 15 cm sur pignons et 5 cm en face. Maille systématique.	Lourdes et fermées; S=0,75

Table 2-3. Table de RMR.

Sur la base du tableau des valeurs de RMR antérieure, le programme permet d'incorporer la section type de tunnel dans chaque section transversale ou elle serait requise générant cinq groupes avec les détails suivants de boulonnage et gunitage:

Groupe	Boulonnage	Gunitage
1	Seulement occasionnel	5 cm.
2	Local en voûte. L. media=3 m	5 cm.
3	Systématique. L.moyenne= 4 m.	10 cm de voûte. 5 cm du reste.
4	Systématique. L.moyenne=5 m.	15 cm de voûte. 10 cm du reste.
5	Intensif y en solera. L.m=6 m.	20 cm de voûte. 15 cm du reste.

Table 2-4. Option de maintien que l'on représente dans les sections transversales.

Les variables antérieures servent pour dessiner la section transversale.

Le support de la voûte sera différent du reste du tunnel selon le critère suivant:

- Section circulaire: les 120° supérieurs du cercle.
- Section fer à cheval: l'arc supérieur.
- Section voûte: l'arc supérieur et la moitié supérieure de l'arc inférieur.

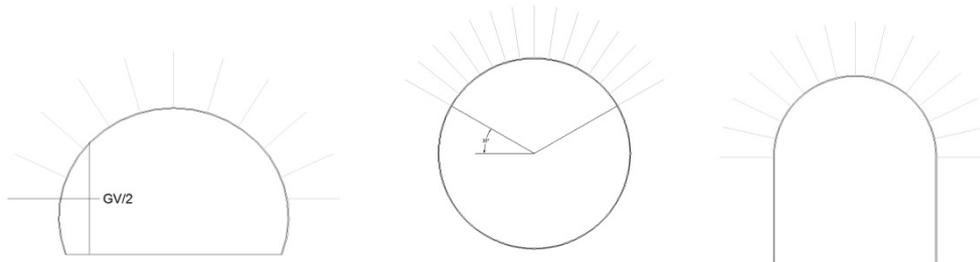


Image 2-16. Localisation de la zone de renforcement supérieure dans les trois typologies de tunnels.

L'utilisateur peut choisir le groupe précédent en fonction du RMR introduit

Dans ce cas on disposera de la manière suivante:

Groupe	RMR
1	81-100
2	61-80
3	41-60
4	21-40
5	0-20

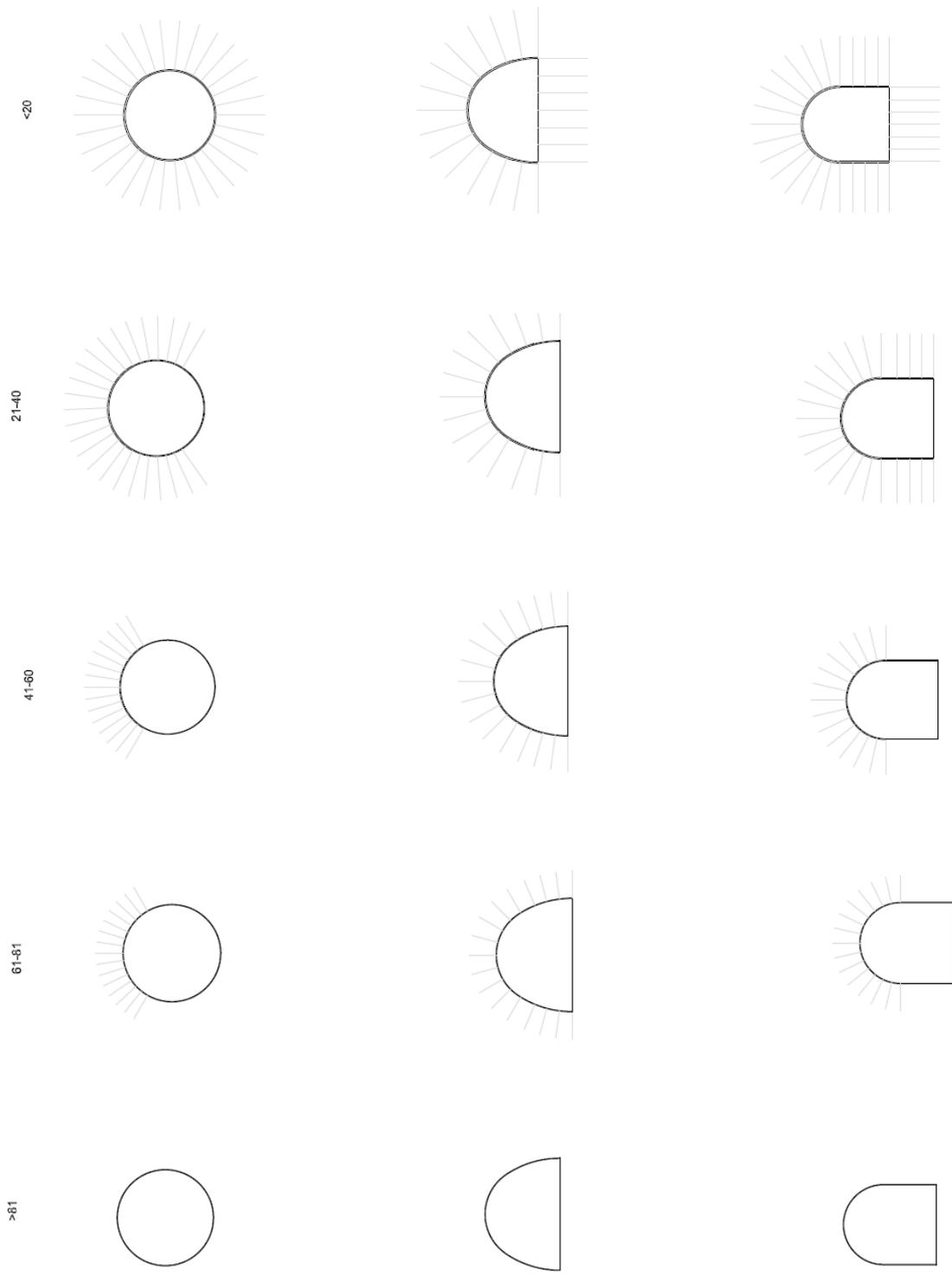
Table 2-5. Répartition des groupes de maintien selon RMR.

Toutes les données antérieures, comme il a été indiqué, servent seulement comme orientation pour tracer la section transversale choisie. Evidemment l'ingénieur civil ou des ponts et chaussées devra soupeser s'il préfère incorporer une section qui s'adapte mieux à son projet.

La typologie requise de tunnel et son coût constituent une variable déterminante dans la mesure où un coût majeur d'exécution sera considéré dans les algorithmes de calcul automatique des tracés.

Enfin, il faut souligner que les procédés d'excavation et la nécessité de traitements spécifiques sont des variables qualitatives.

Dans la page suivante, on fournit les schémas de revêtement pour les différentes formes géométriques qui sont à considérer.



Graphique 2-2. Schémas d'une section type de tunnel selon la géométrie et le revêtement par RMR.

### **1.3. Variables géotechniques pour les structures**

Pour la définition des variables géotechniques de tunnels, on analyse les paramètres suivants:

- Cimentation des viaducs et des ponts
- Cimentation pour les passages inférieurs et pour ouvrages d'importance secondaires
- Procédés d'excavation
- Présence d'eau

Toutes les variables antérieures son qualitatives. L'utilisateur devra calculer l'influence sur le coût dans le menu des structures en définissant le code associé à un prix défini par lui-même.

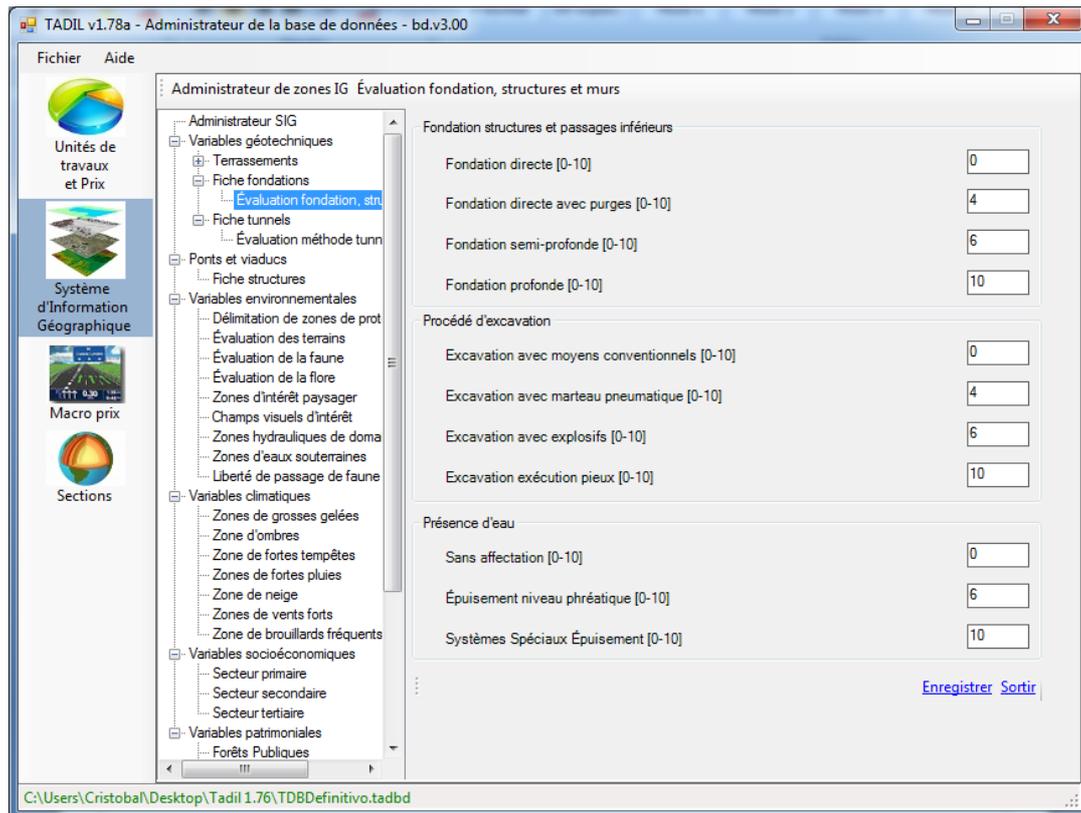


Image 2-17. Variables qualitatives pour la cimentation des structures.

LE SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE.

SOUS-CHAPITRE 4. LES VARIABLES ENVIRONNEMENTALES

**0. Introduction**

Dans le présent chapitre, on décrit les variables environnementales, leur implémentation et leur incidence sur le traçage.

**1. Les Variables Environnementales**

Les variables environnementales qui sont considérées dans ce paragraphe sont:

- Zones de protection
- L'évaluation de la faune
- L'évaluation de la flore
- L'évaluation des sols
- Les affectations hydriques et hydrogéologiques:
  - Zones hydrauliques de domaine public, (incluant lacs ou barrages). On peut inclure plusieurs classifications si l'utilisateur le souhaite: thalwegs, ruisseaux, canaux d'eaux stagnantes, etc.
  - Angle maximum du croisement des lignes d'eaux.
  - Gabarit de passage.
  - Eaux souterraines, (également avec une ou plusieurs classifications).
- Milieu Visuel:
  - Zones d'intérêt paysager, (plusieurs classifications).
  - Champs visuels d'intérêt.
- Liberté de passage de la faune:
  - Zones où l'on exige la construction de passages à niveau pour le passage à faune.

La fiche générale de registre des variables environnementales permet de sélectionner chacun des groupes antérieurs.

Maintenant, nous allons décrire chacune des variables environnementales.

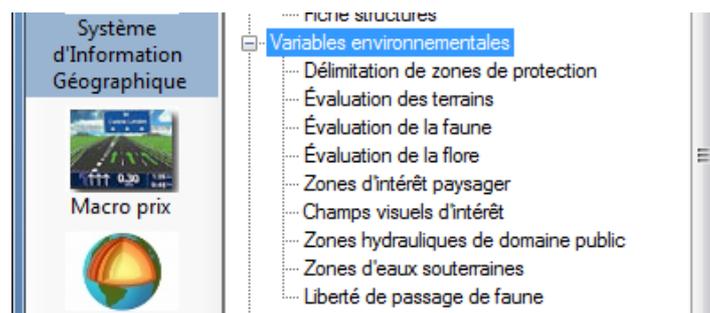


Image 2-18. Structure du menu de sélection du groupe de variables environnementales.

### **1.1. Zones de protection**

Cette variable comme la plupart des variables environnementales pourra se diviser en plusieurs catégories selon les classifications que souhaite établir l'utilisateur. L'utilisateur devra assigner des évaluations pour chacun des éléments de chaque catégorie. Ainsi, par exemple une classification habituelle peut être la suivante:

- Plans spéciaux de protection du milieu physique.
- Atlas des Espaces Naturels.
- Parques Naturels.
- Parques Nationaux.
- Réseau Natura.
- Lieux Intérêt Communautaire.
- Réserve de la Biosphère.

Dans l'exemple ci-joint, on voit que de nombreuses classifications sont possibles au vue de la richesse naturelle de l'environnement.

Ainsi, dans cet espace, apparaissent alors des zones d'Intérêt communautaire, les réserves de la biosphère, les zones du plan spécial du milieu physique, les zones de l'atlas des espaces naturels, les zones du réseau natura, (zones ZPS), et les parcs naturels.

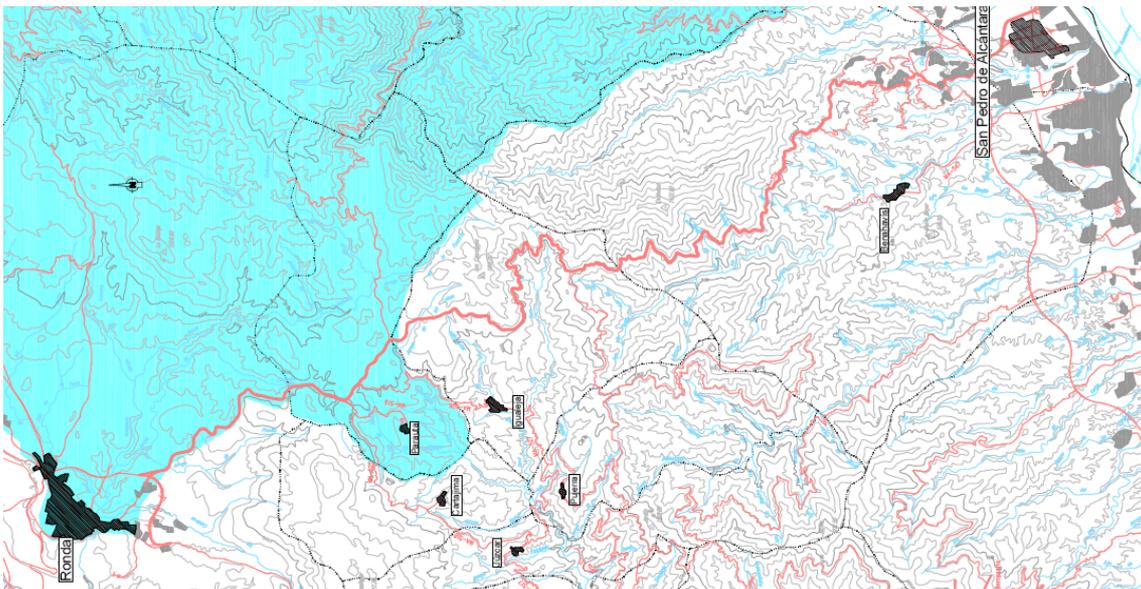
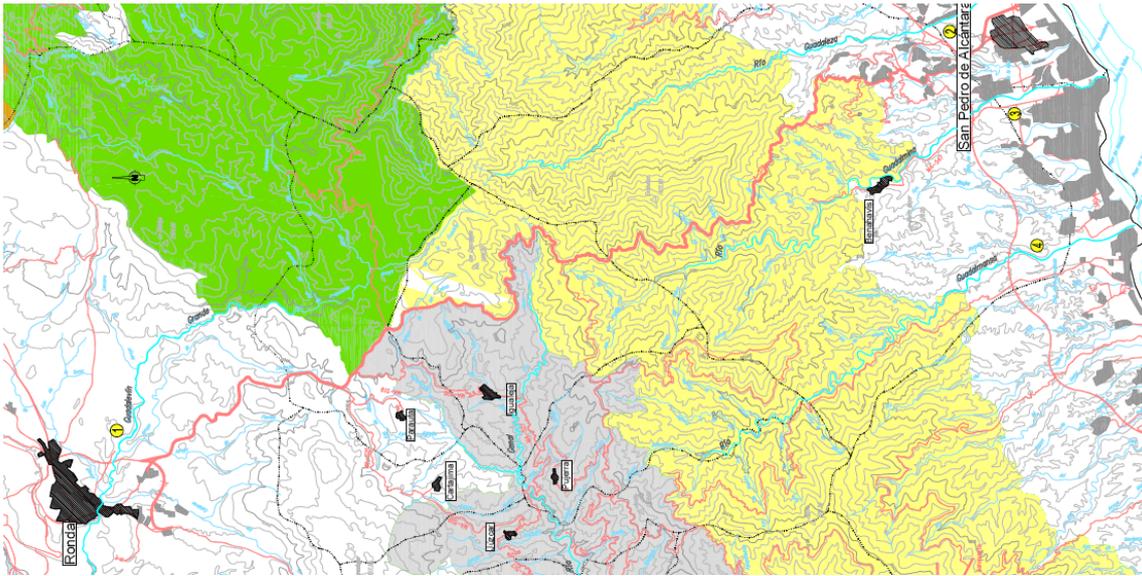


Image 2-19. Réserve de la Biosphère.



LUGARES DE INTERES COMUNITARIO

- SIERRA DE LAS NIEVES
- SIERRA BLANQUILLA
- SIERRA BERMEJA Y REAL
- LOS REALES DE SIERRA BERMEJA
- SIERRA CRESTELLINA
- VALLE DEL RIO DEL GENAL
- FONDOS MARINOS DE LA BAHIA DE ESTEPONA

Imagen 2-20. Lieux d'int r t Communautaire

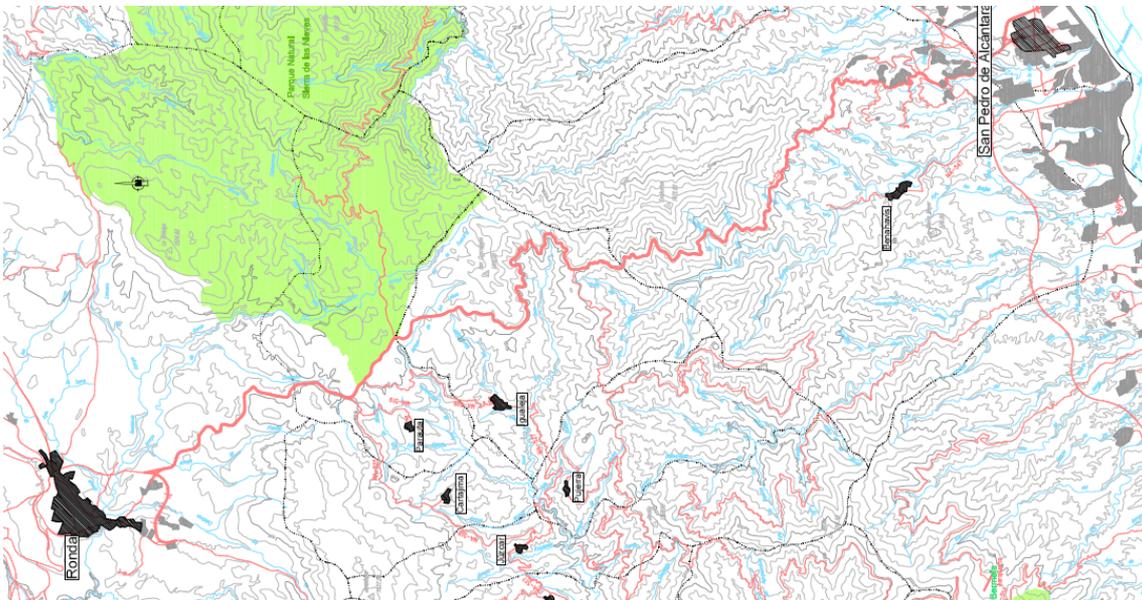
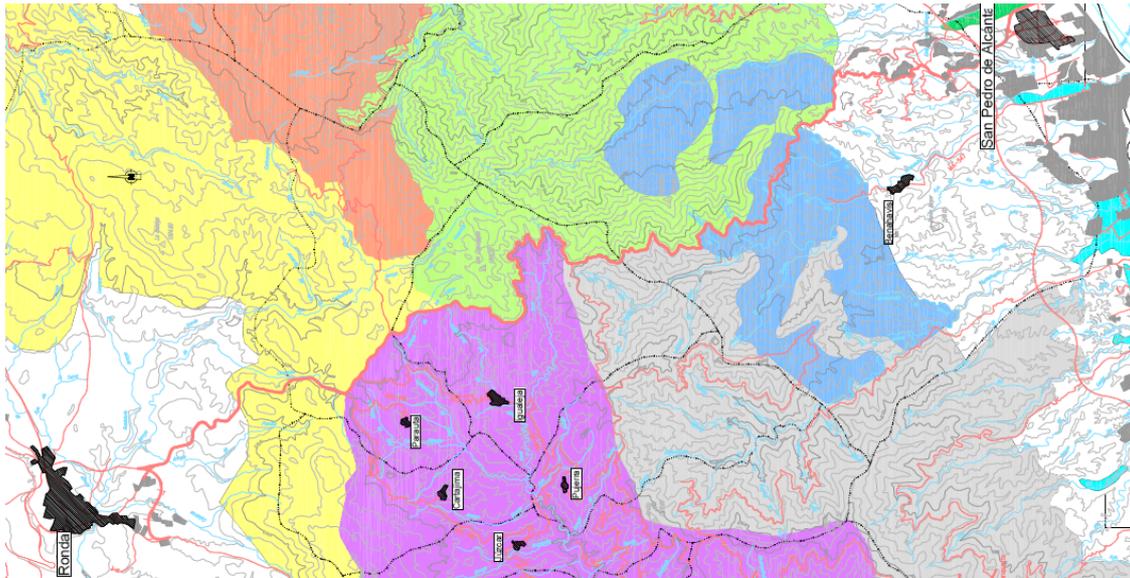


Image 2-21. Réseau natura 2000 Zone ZPS



- PLAN ESPECIAL DE PROTECCION DEL MEDIO FISICO
- CS-20 VALLE DEL GENAL
  - CS-14 SIERRA OREGANAL - HIDALGA - BLANQUILLA
  - PE-1 SIERRA DE LAS NIEVES
  - CS-18 SIERRA REALPALMITERA-APRETADERAS
  - PE-3 LOS REALES DE SIERRA BERMEJA
  - AG-8 VEGA MARGEN DERECHA DEL RIO GUADAIZA
  - CS-24 SIERRA BERMEJA
  - HUERTAS DE ESTEPONA (PROTECCION CAUTELAR)
  - MONTES DE BENAHAVIS (PROTECCION CAUTELAR)

Image 2-22. Plan spécial de protection du milieu physique

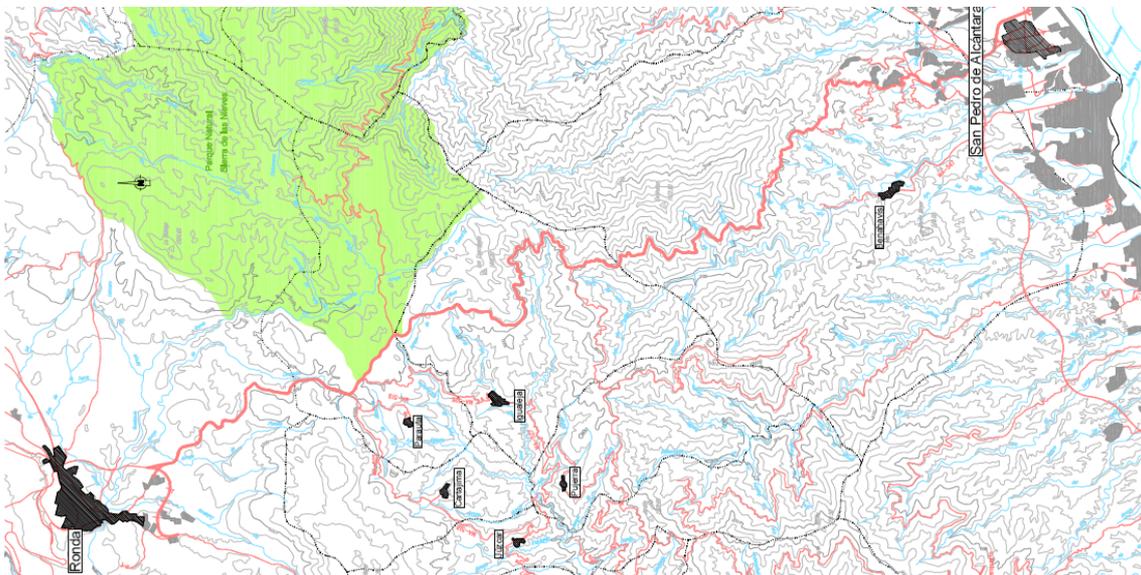
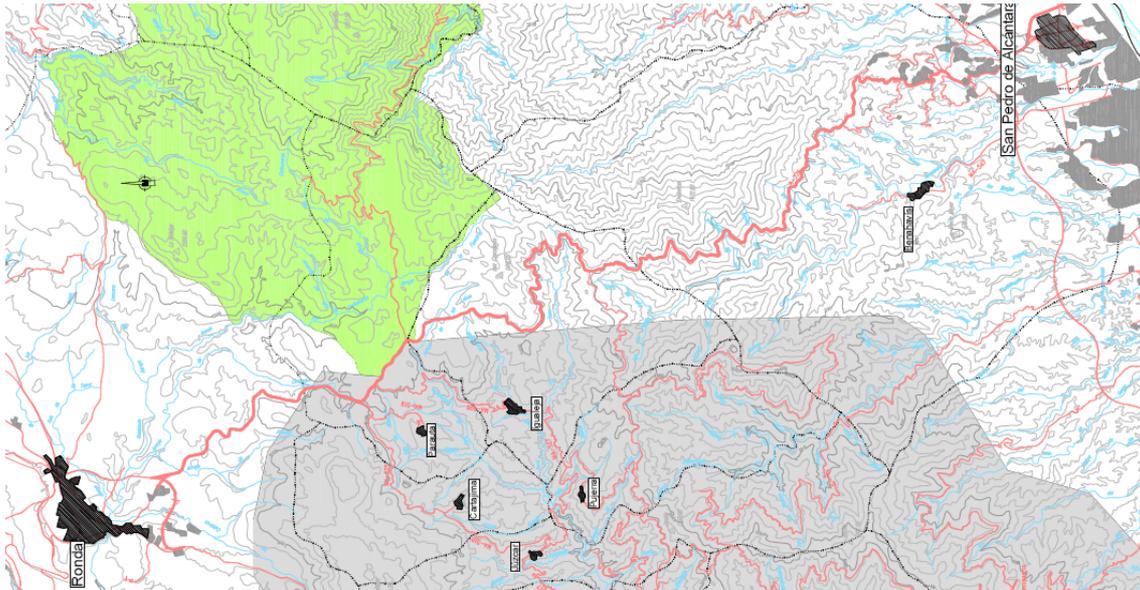


Image 2-23. Espaces naturels protégés



ATLAS DE ESPACIOS NATURALES Y RECURSOS CULTURALES DE INTERES PARA EL TRAZADO DE CARRETERAS (1993)

- SIERRA DE LAS NIEVES
- SIERRA BERMEJA
- LOS REALES DE SIERRA BERMEJA
- SIERRA CRESTELLINA

Imagen 2-24. Atlas des espaces naturels

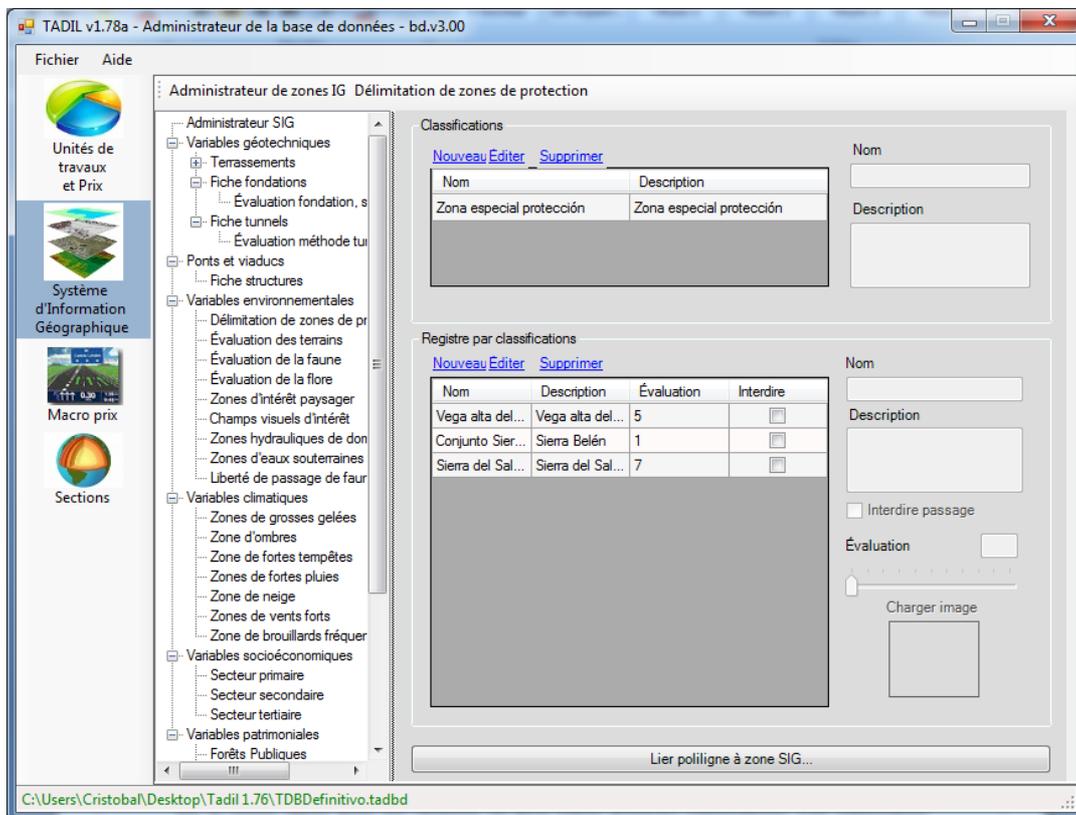


Image 2-25. Structure de l'introduction des classifications, et des zones avec évaluation.

Pour chacune des zones on peut, en outre, établir des interdictions de passage des alternatives.

Dans chaque point, la ponctuation finale de la variable zone de protection est l'addition des évaluations correspondantes à chacun des points qui appartiennent à cette zone, avec un maximum de 10. Quand l'évaluation soit supérieure, on considèrerait 10.

## 1.2. Faune

De la même façon, pour ces variables, on peut établir plusieurs classifications. Une classification fréquente et habituelle se fait sur:

- Mammifères protégés.
- Invertébrés protégés.
- Oiseaux protégés.
- Amphibiens et reptile protégés.

L'utilisateur pourra faire les classifications qu'il désire, en considérant ou non le degré de protection.

Ainsi, on peut restreindre le passage des alternatives si l'utilisateur entend que cela peut avoir un impact indiscutable sur l'habitat et de ce fait sur les espèces protégées.

Dans ce cas, l'utilisateur pourra introduire en plus, une image caractéristique de l'espèce

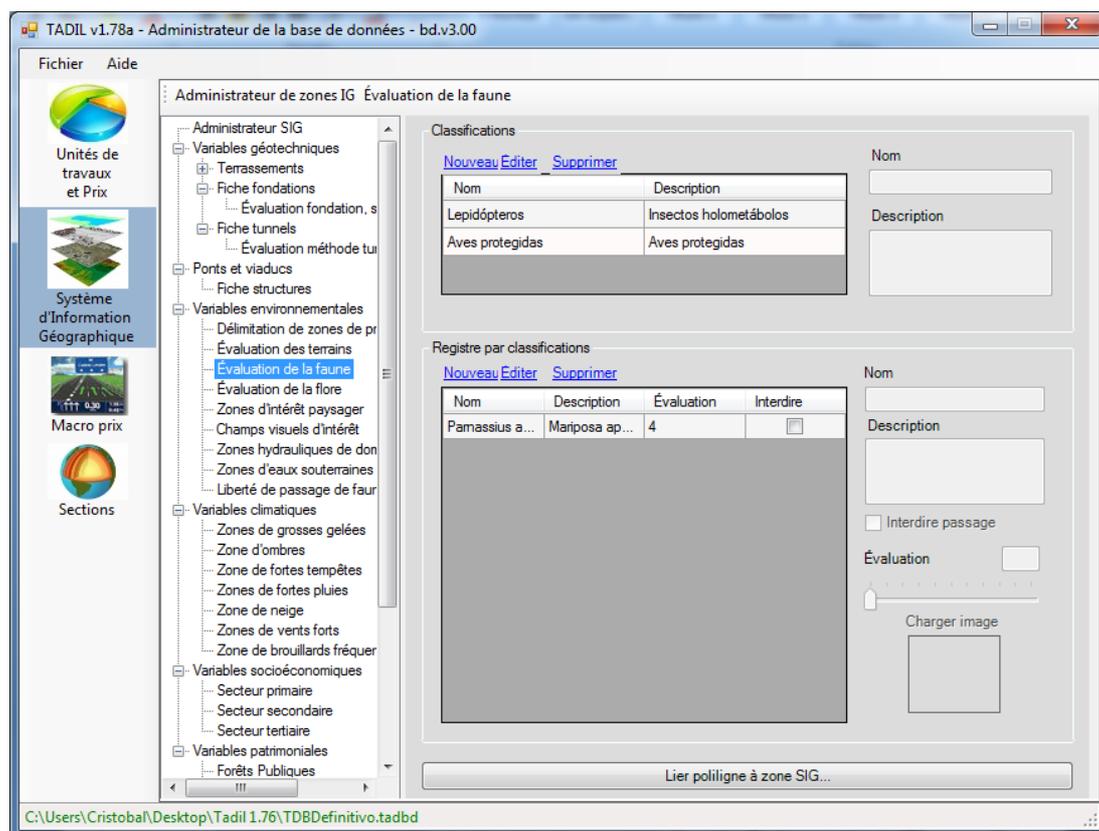
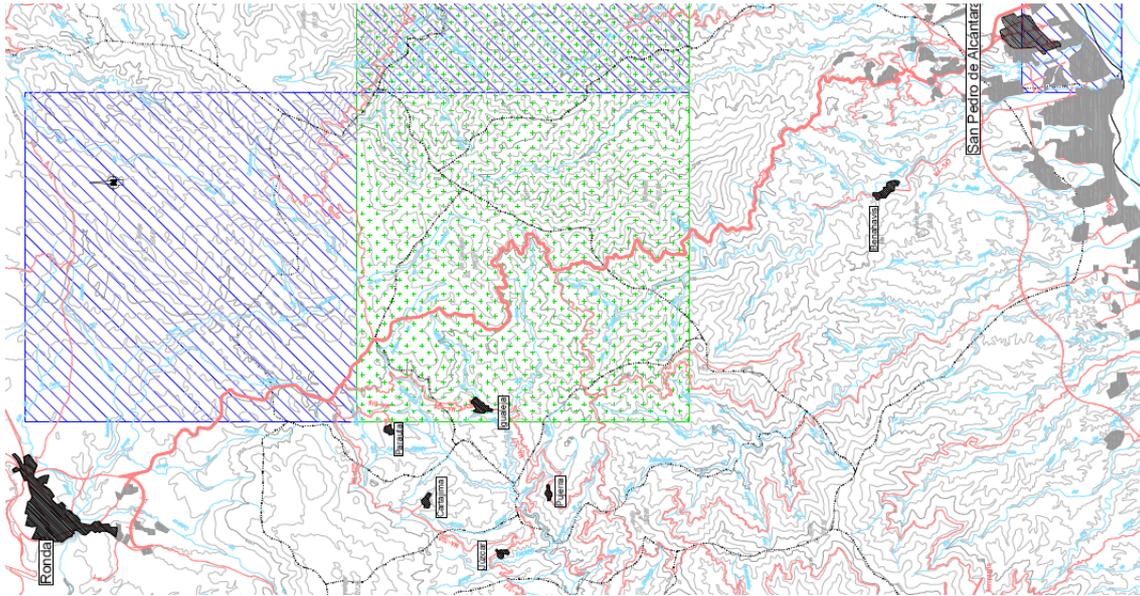


Image 2-26. Structure de l'introduction des classifications et des zones en fonction de la faune.

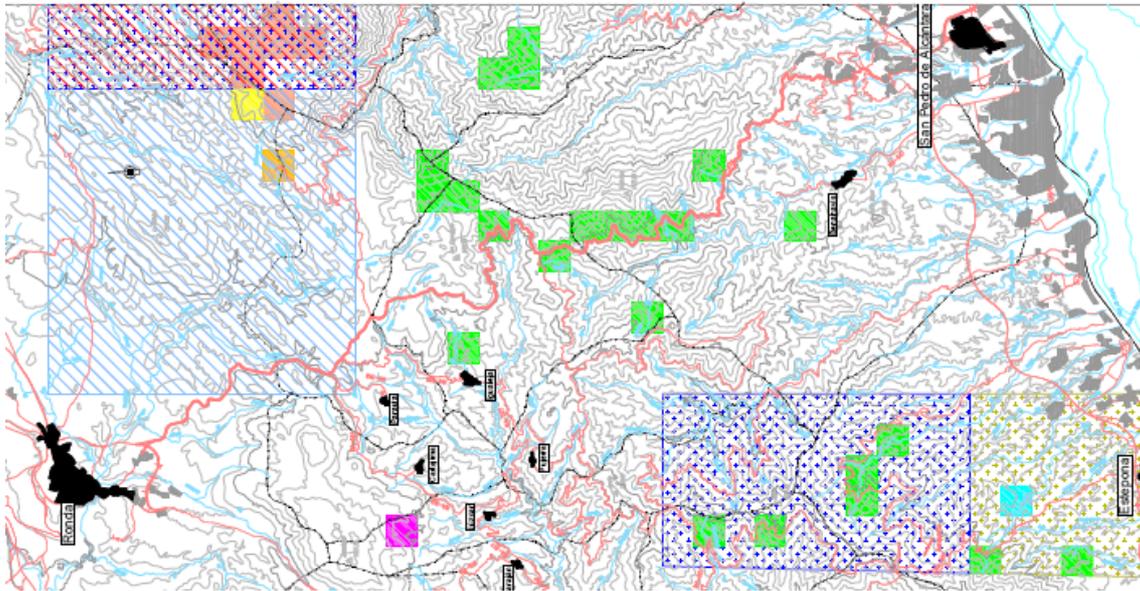


DISTRIBUCION DE DISCOGLOSSUS JEANNEAE



DISTRIBUCION DE MAUREMYS LEPROSA

Image 2-27. Exemple de distribution d'animaux amphibiens et de reptiles protégés



DISTRIBUCION DE ABIES PINSAPO



DISTRIBUCION DE ALLIUM ROUYI



DISTRIBUCION DE ESPLENIIUM PETRARCHAE BIVALENS



DISTRIBUCION DE GALIUM VIRIDIFLORUM



DISTRIBUCION DE ATROPA BAETICA



DISTRIBUCION DE NARCISSUS BUGEI



DISTRIBUCION DE NOLLETIA CRYSOCOMOIDES



DISTRIBUCION DE QUERCUS ALPESTRIS



DISTRIBUCION DE SARCPAPNOS BAETICA BAETICA



DISTRIBUCION DE TAXUS BACCATA

Image 2-28. Exemple de la distribution de la flora protégé.

### 1.3. Flore

Comme pour les variables précédentes, pour ces variables on peut établir plusieurs classifications. Deux classifications habituelles sont celles de la flore protégée et des zones forestales. A leur tour, les zones forestales sont aussi subdivisées.

On peut ainsi, interdire également le passage des alternatives dans des zones déterminées.

On peut incorporer des images indicatives de la flore qui correspondent à la zone que l'on marque.

Dans le tableau, l'utilisateur indiquera l'évaluation de chacune des espèces ou des zones forestales.

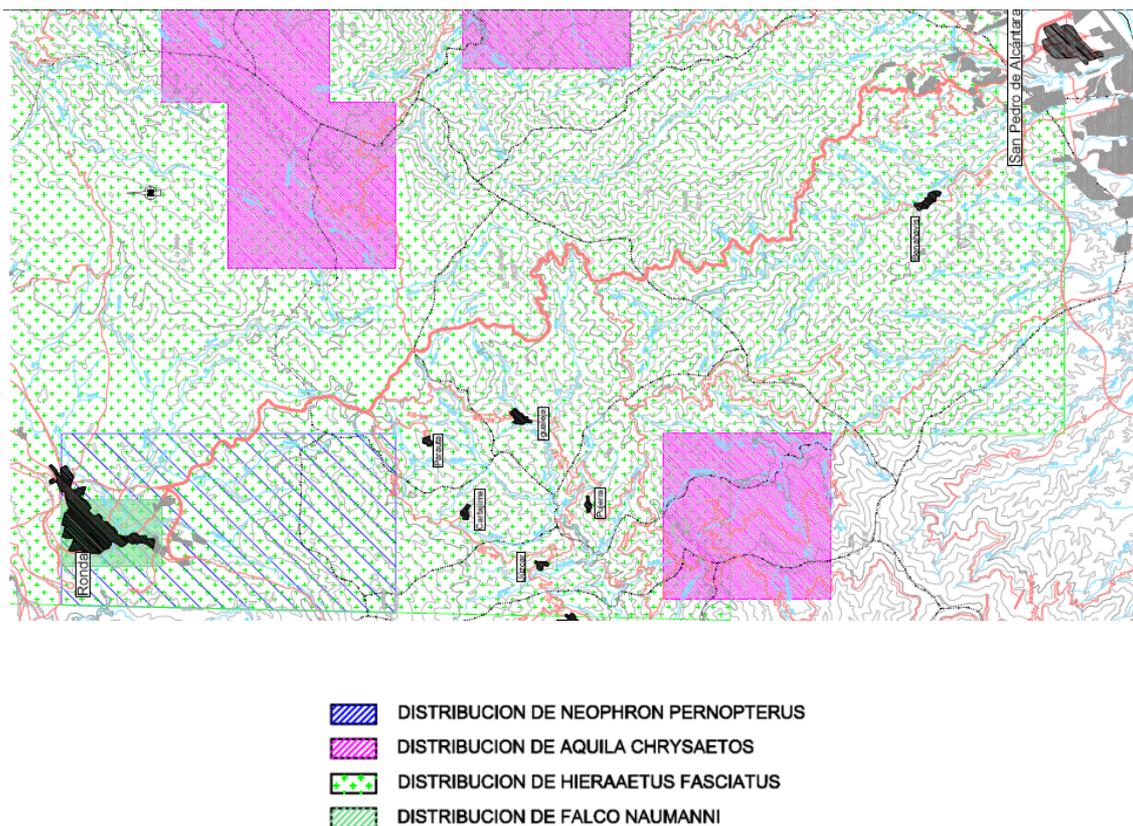
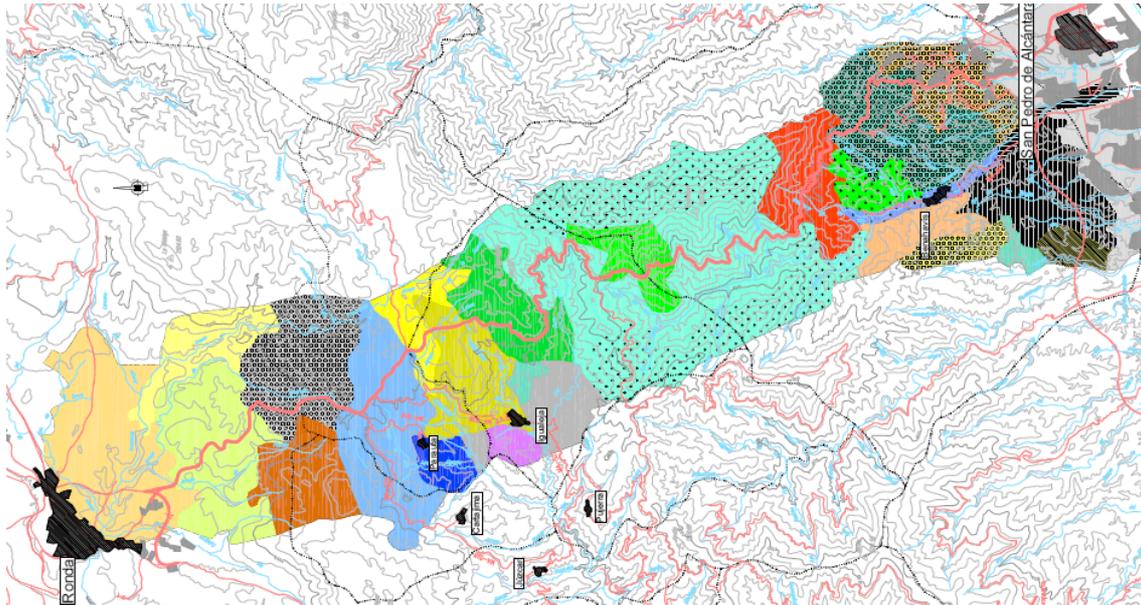


Image 2-29. Exemple de distribution des oiseaux protégés



- Areas Agrícolas
- Quercus ilex rotundifolia con matorral mixto (Ulex parviflorus) y pastizal denso
- Mosaico irregular de matorral bajo (Ulex parviflorus) y pastizal estacional denso
- Mosaico irregular de desierto kárstico y pastizal estacional denso
- Mosaico irregular de semidesierto kárstico y matorral mixto bajo (Ulex parviflorus)
- Mosaico irregular de desierto kárstico y matorral mixto medio (Ulex parviflorus y Stipa tenacissima)
- Quercus ilex rotundifolia con inclusión de Abies pinsapo
- Mosaico irregular de Castanea sativa y Quercus ilex
- Castañoa sativa.
- Mosaico irregular de Castanea sativa y Quercus ilex
- Matorral mixto calcicola
- Mosaico irregular de semidesierto kárstico y matorral mixto (Ulex sp.)
- Pinus pinaster

Imagen 2-30. Exemple de distribution de zones forestales.

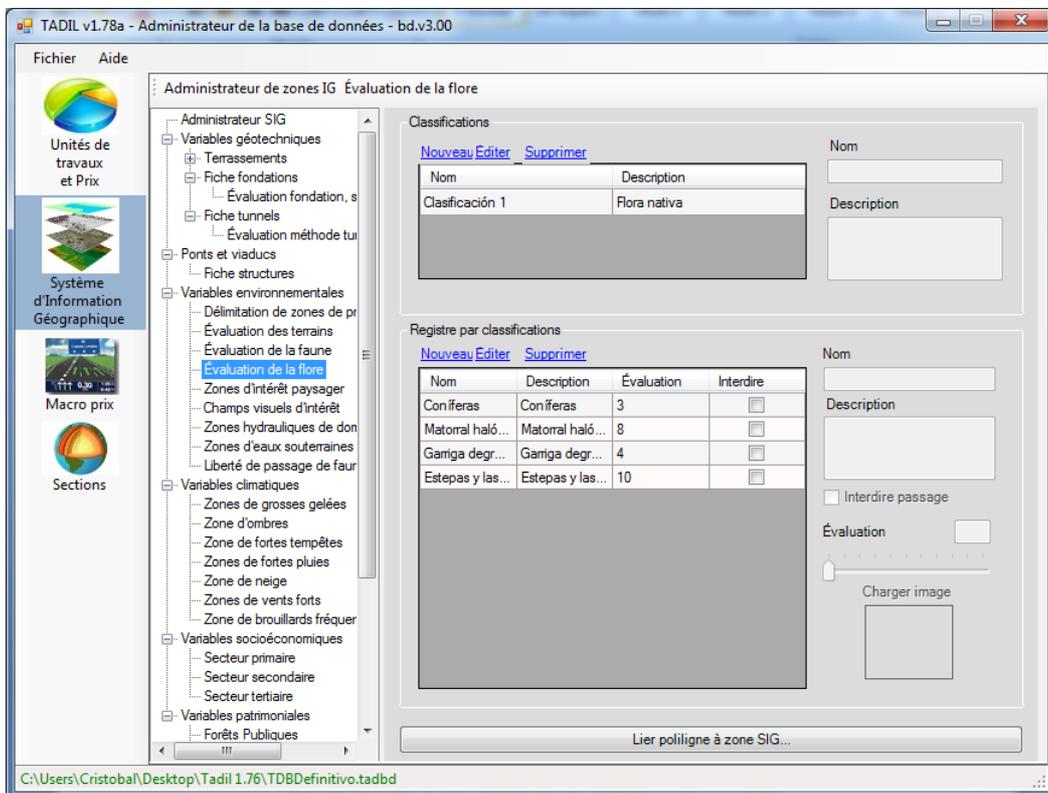


Image 2-31. Conception du menu d'introduction des classifications et des zones de flore.



### 1.5. Les altérations hydriques et hydrogéologiques

Dans les altérations hydriques et hydrogéologiques, on différencie entre les zones hydriques du domaine public et les zones hydrogéologiques.

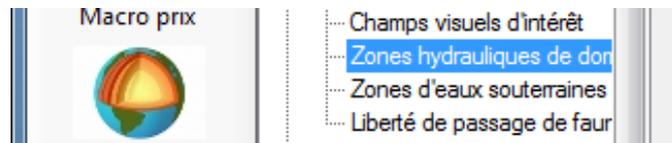


Image 2-34. Sélection des variables hydriques et hydrogéologiques

TADIL v.cad.b94

Zones hydrauliques de domaine public

Données zone

Nom: Río Ana

Interdire passage: Non

Description: Río Ana

Données

Gabarit [m]: 5.0

Évaluation: 5

Permettre tronçons complets: Oui

Passer avec structure

Configurer angle

Angle maximum du croisement [Degrés]: 0

Sauvegar | Sortir

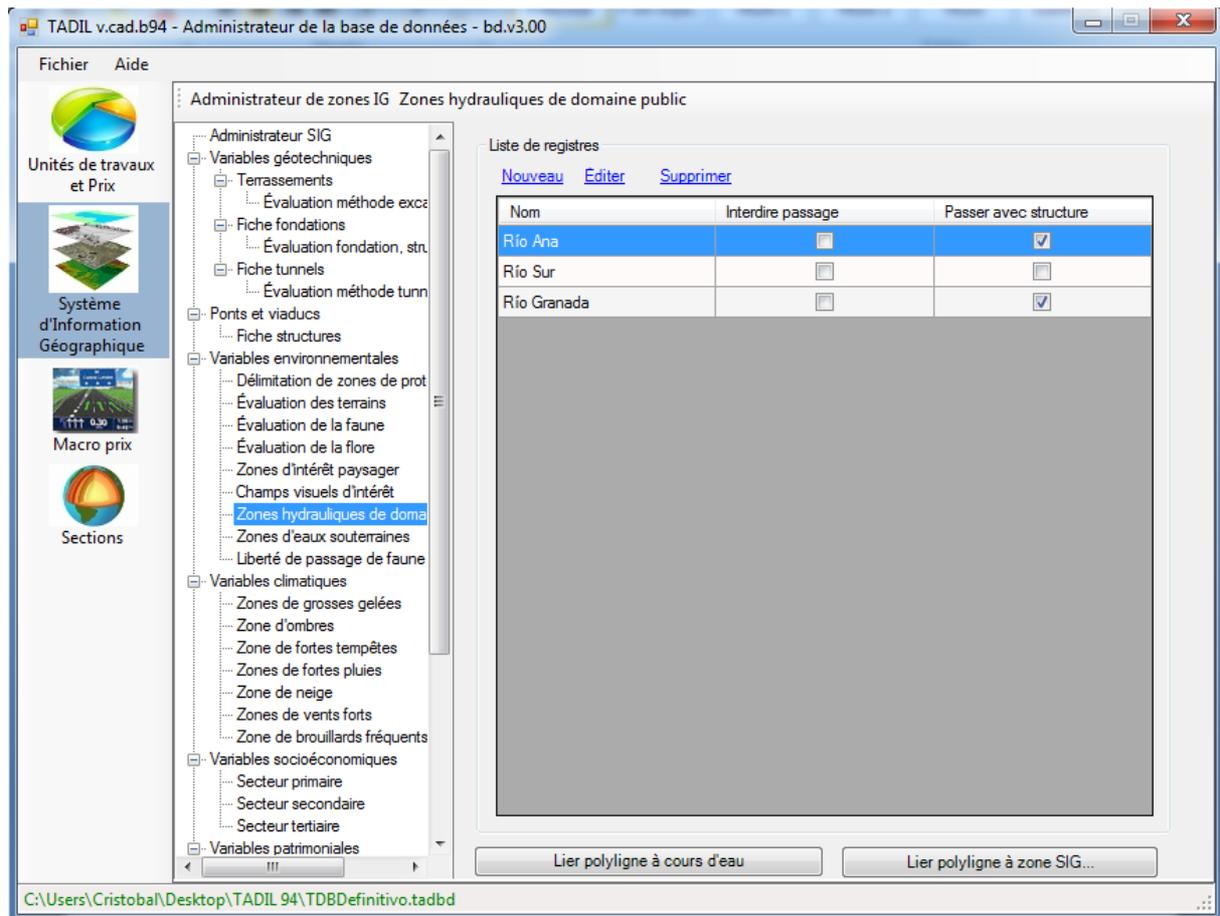


Image 2-35. Structure du menu du Domaine Public Hydrolique

Pour les zones du domaine public hydrolique, la différenciation s'établit à partir de l'évaluation indiquée par l'utilisateur. Ainsi, la valoration n'est pas la même pour un ruisseau que des pour des eaux stagnantes. C'est pourquoi on établit une évaluation qualitative.

Le domaine public hydrolique est déterminant pour le tracé d'infrastructures, car il peut établir les conditions suivantes sur le tracé:

- Angle maximum de croisement de l'infrastructure avec l'axe du cours d'eau.
- Développement permis ou interdit d'alignements complets dans le domaine public hydrolique.
- Gabarit dans les bords du domaine public.
- Exigence de passage en structure.

Dans ce menu, on peut également introduire les lacs ou les réservoirs.

Quand on souhaite installer une typologie concrète de structure sur le domaine public, on devra faire coïncider la fiche des structures avec la fiche du lit du cours d'eau public à traverser.

Pour les aquifères, le traitement est semblable aux autres paramètres environnementaux, et s'analysent comme variable qualitative.

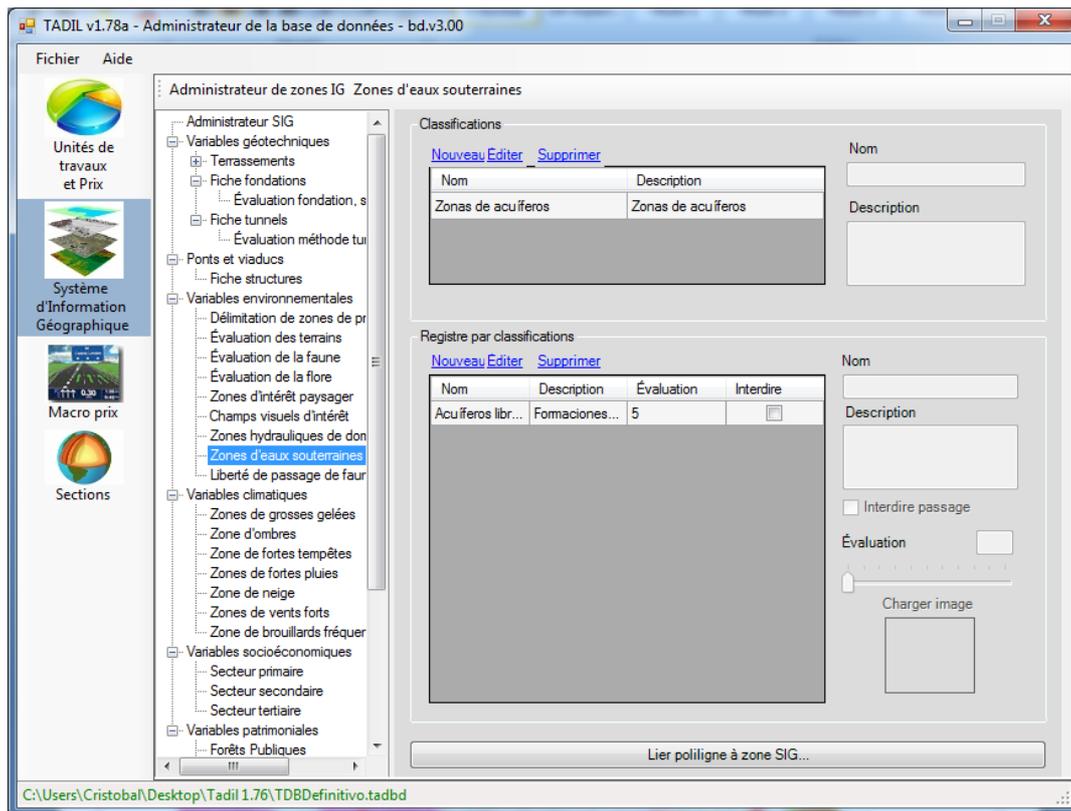


Image 2-36. Introduction des variables hydrogéologiques

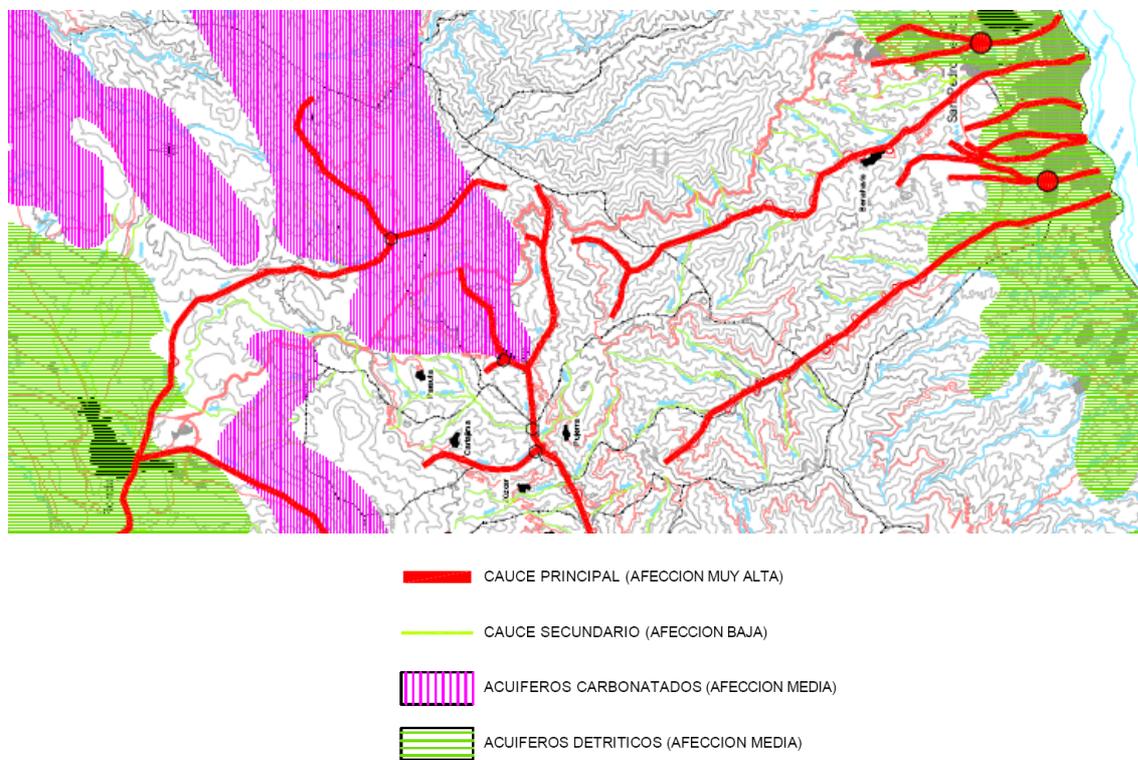


Image 2-37. Introduction des zones de domaine public et des cours d'eau.

## 1.6. Milieu perceptuel

Il se compose d'espaces à fort intérêt paysager, d'une valoration principalement qualitative et de panoramas, émanant de points d'intérêts comme par exemple, les belvédères ou les zones à forte densité de population.

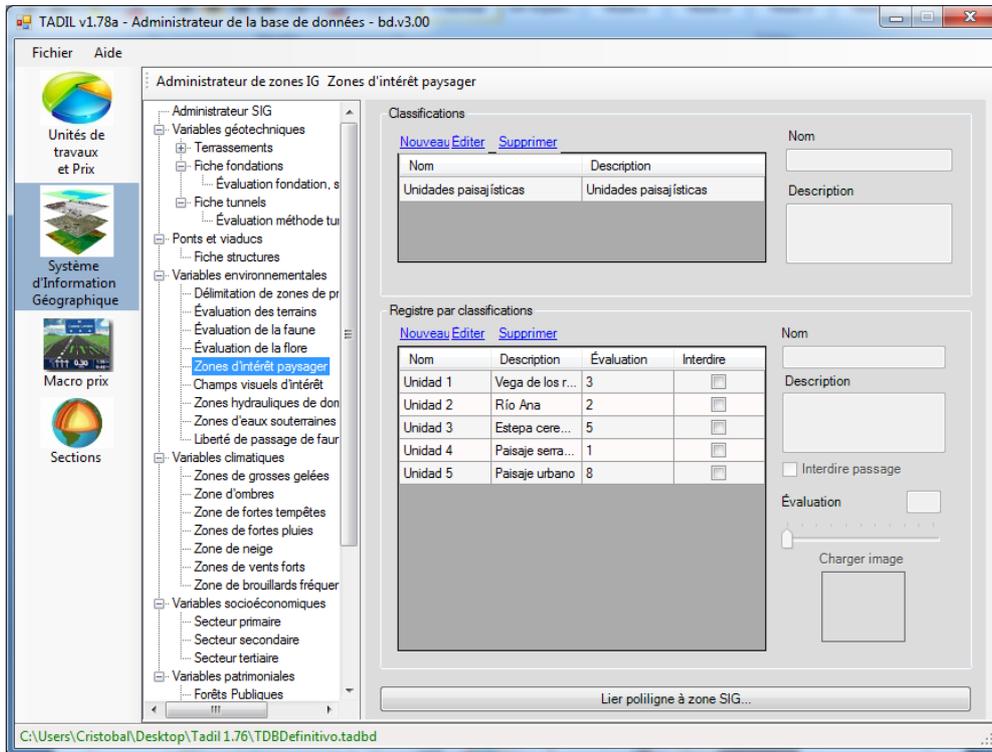


Image 2-38. Zones d'intérêt paysager.

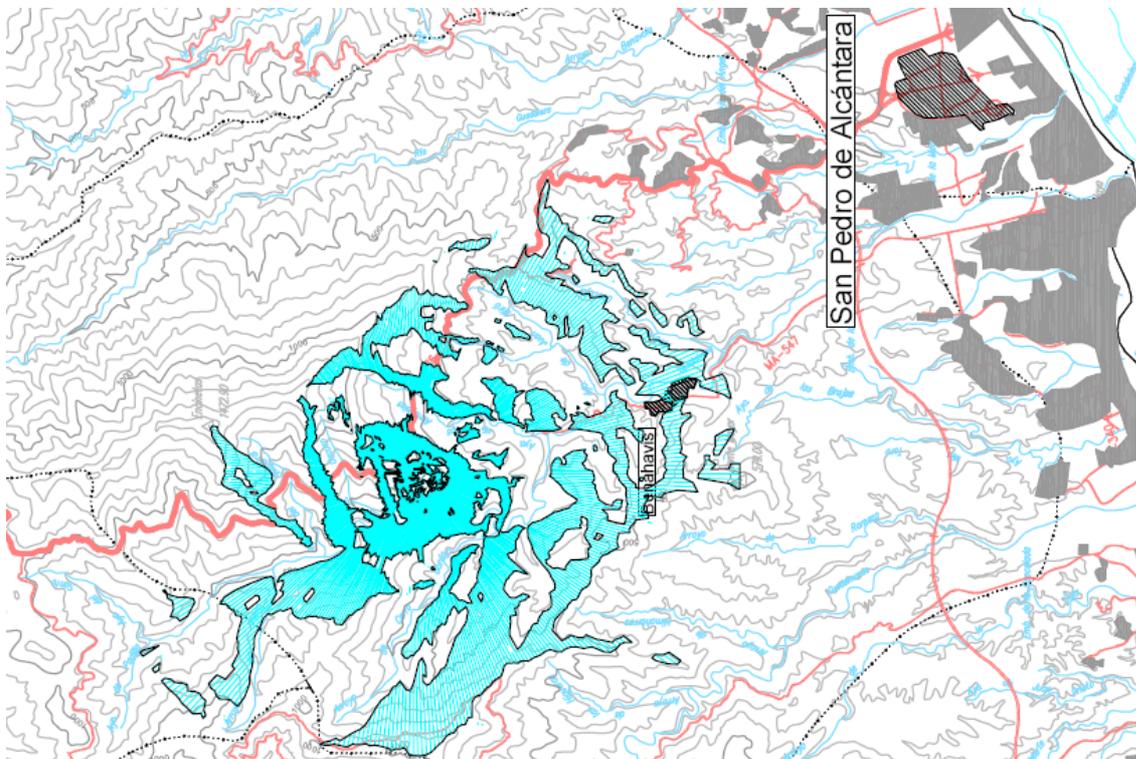


Image 2-39. Exemple de champs visuel obtenu depuis le belvédère à Benahavis.

On peut également les définir comme zones d'intérêt paysager spécial.

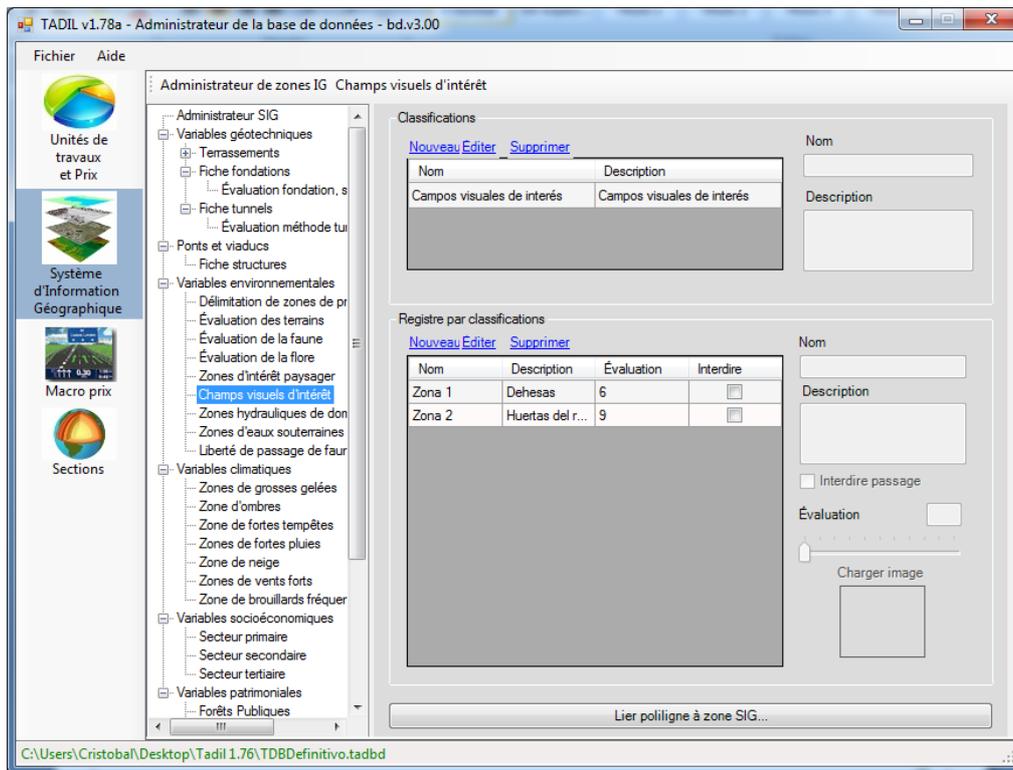


Image 2-40. Menu de la définition des champs visuels.

### **1.7. Liberté de passage à faune**

Pour les zones sensibles avec une faune protégée ou en danger d'instinction, les autorités environnementales peuvent exiger la mise à disposition de passages à faune.

Les passages pour la faune sont disposés afin de ne pas troubler les mouvements habituels de la faune, en évitant leur croisement avec des infrastructures linéaires. L'étalement des passages à faune dépendra de la dispersion territoriale des différentes espèces considérées et de leur densité.

Évidemment, plus les passages à faune seront nombreux, moins bonne sera l'évaluation subjective. Cette variable n'est pas equiparable à l'évaluation de la variable de faune, puisque dans ce cas, nous évaluons le besoin de préserver la liberté de mouvement de différentes espèces sur le territoire, et non pas l'évaluation de l'espèce en soi ; ainsi, par exemple dans une zone déterminée la chèvre sauvage peut prédominer, comme espèce non protégée, tout en étant indispensable, garantir les déplacements quotidiens de ces dernières en direction des zones de vallée ou de thalweg.

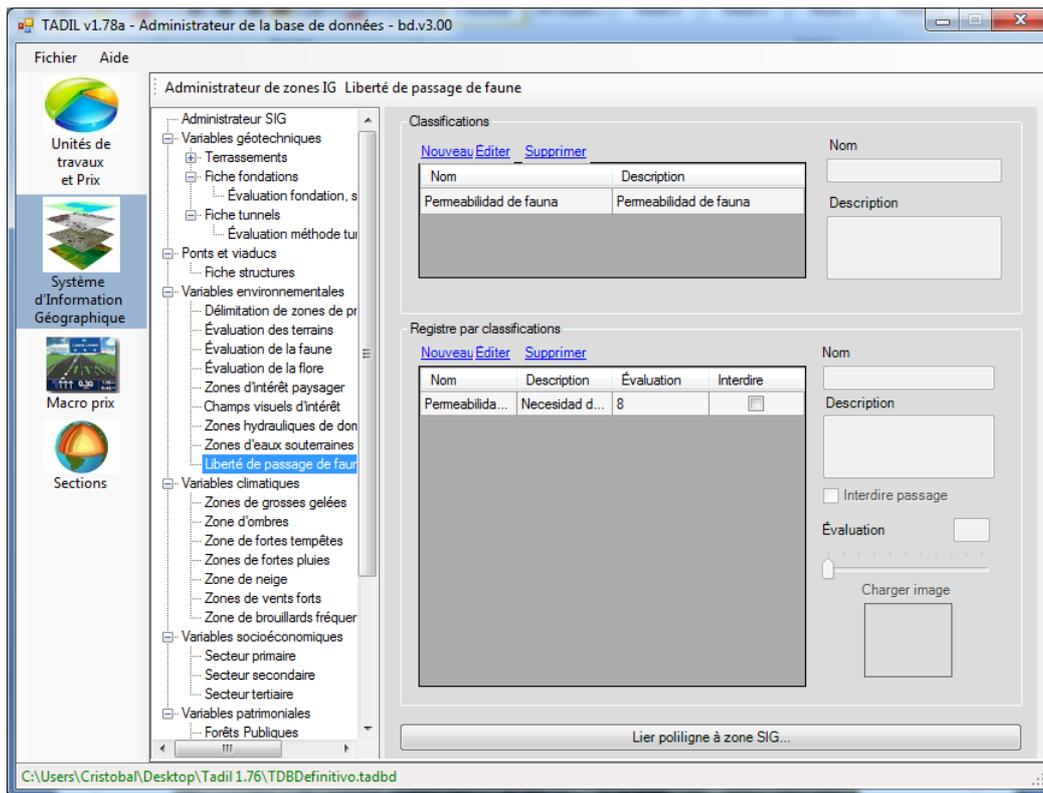


Image 2-41. Menu de l'évaluation des passages à faune.

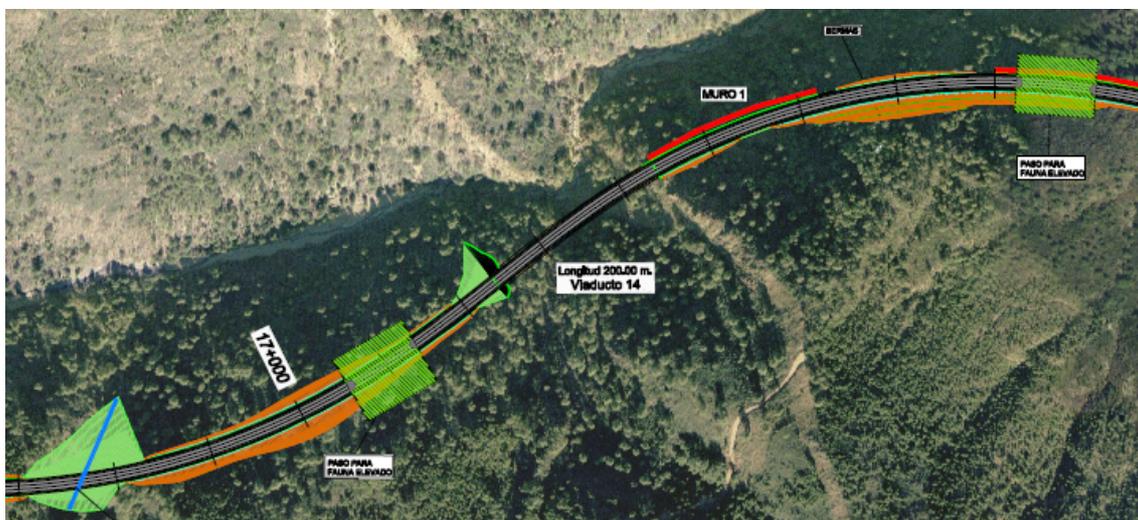


Image 2-42. Exemple de la disposition des passages à faune par un traçage.

LE SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE.

SOUS-CHAPITRE 5. VARIABLES CLIMATIQUES

## 0. Introduction

Dans le présent chapitre on décrit les variables climatiques, leur implémentation, et leur évaluation qualitative.

## 1. Variables Climatiques

Les variables climatiques ont seulement un caractère qualitatif, ce qui permet l'évaluation subjective des alternatives une fois tracées.

Les variables que l'on introduit sont:

- Zones de grosses gelées
- Zones d'ombres
- Zones de fortes tempêtes
- Zones de fortes pluies
- Zones de neige fréquentes
- Zones de vents forts
- Zones de brouillards fréquents

Toutes les variables s'introduisent par zones et avec une évaluation subjective. Par exemple, pour la variable pluie, le numéro des jours de précipitation, la précipitation moyenne annuelle, etc.

En suivant, nous allons expliquer chacune de ces variables:

### 1.1. Grosses gelées

Les zones de grosses gelées correspondent aux zones où la formation des gelées est fréquente durant l'hiver, et qui se caractérise par la présence permanente d'une couche de gelée superficielle pendant toute ou une grande partie de la journée. Ce sont des zones non recommandables pour l'implantation de tracés, étant donné les problèmes d'accidents habituels dans ces zones.

En général, on calcule la variable en prenant comme paramètre le nombre de jours dont les températures sont inférieurs à 3°. Plus le nombre de jours de cette caractéristique est important, moins bonne sera l'évaluation.

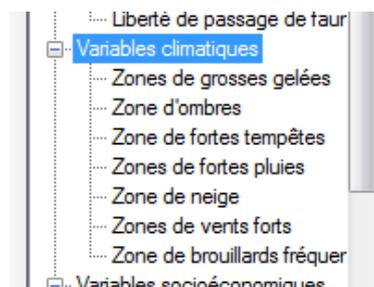


Image 2-43. Sélection des variables climatiques.

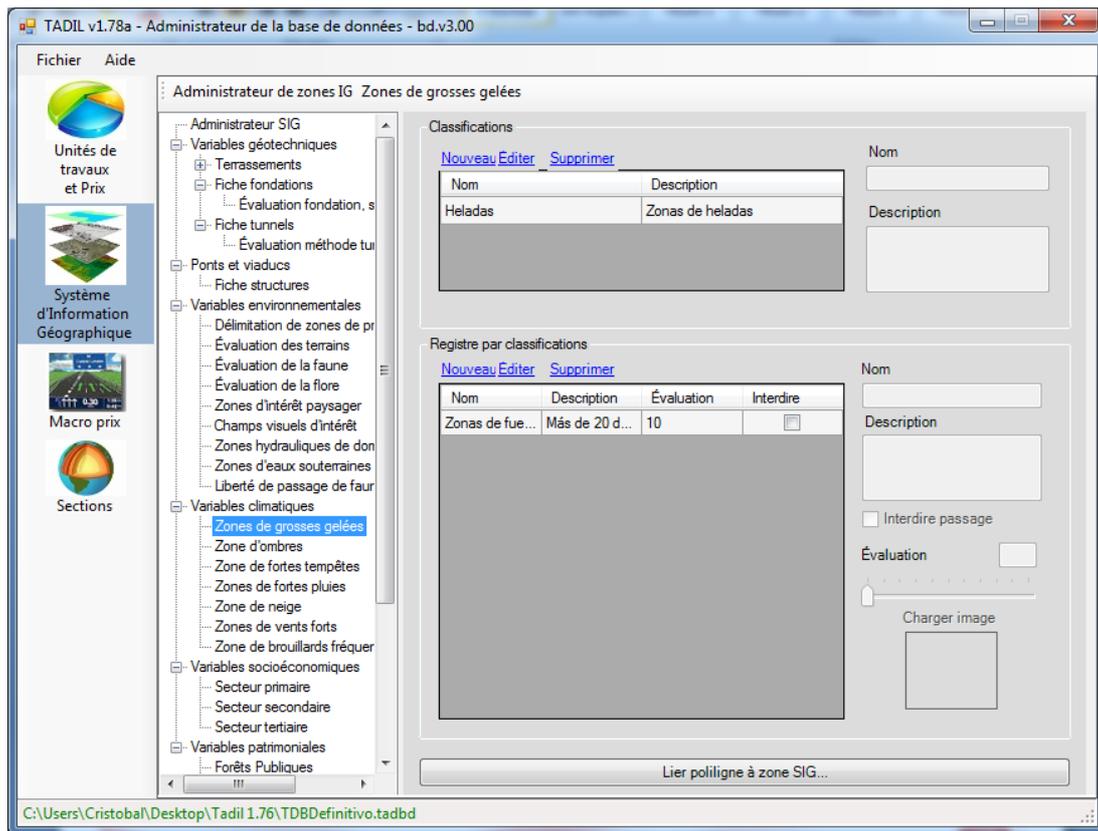
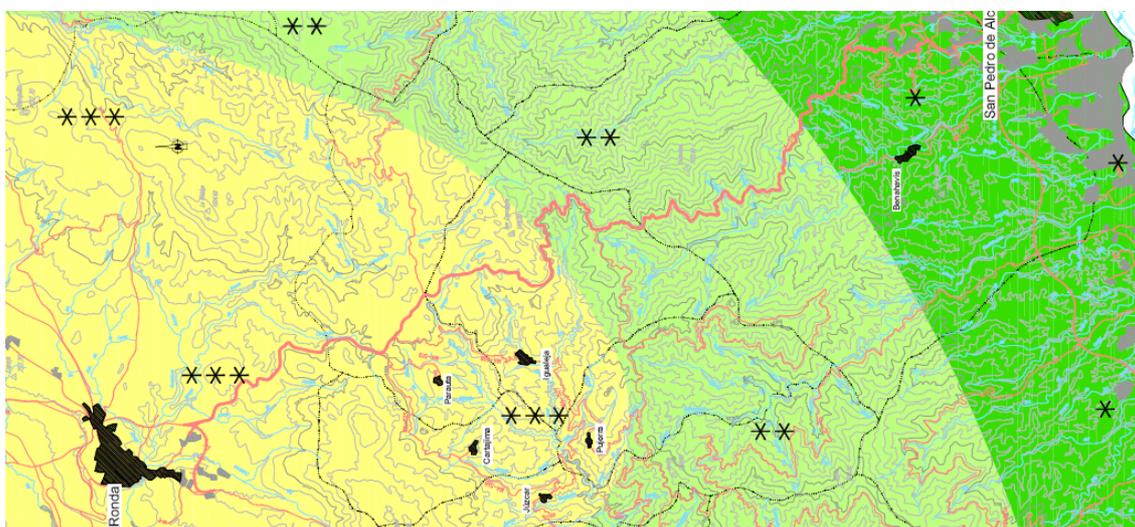


Image 2-44. Structure du menu des zones de grosses gelées



### LEYENDA

- 20 - 40 DIAS
- 10 - 20 DIAS
- 1 - 10 DIAS

Image 2-45. Exemple d'une délimitation des zones selon le numéro de jours de gelée.

## **1.2. Zones d'ombres**

Les zones d'ombres sont associées à la formation de gelées matinales et de fin de soirée, due au manque d'exposition solaire, elles favorisent la formation des plaques localisées. Sur ces versants la température peut être jusqu'à 10°C inférieure à celle des zones de meilleure orientation solaire, zones d'ensoleillement, ce qui permet, de ce fait une plus grande persistance de la neige ou en son cas, du gel.

Dans l'hémisphère nord, l'effet est particulièrement visible sur les versants nord des régions montagneuses avec une orientation est-ouest. Au contraire, dans l'hémisphère sud l'effet est visible sur les versants sud pour la même orientation des montagnes.

Les points noirs des routes qui s'associent à cette caractéristique sont nombreux.

En général, on réalise une évaluation unique pour les zones d'ombre, sauf si l'usager veut établir des différences d'une zone à l'autre.

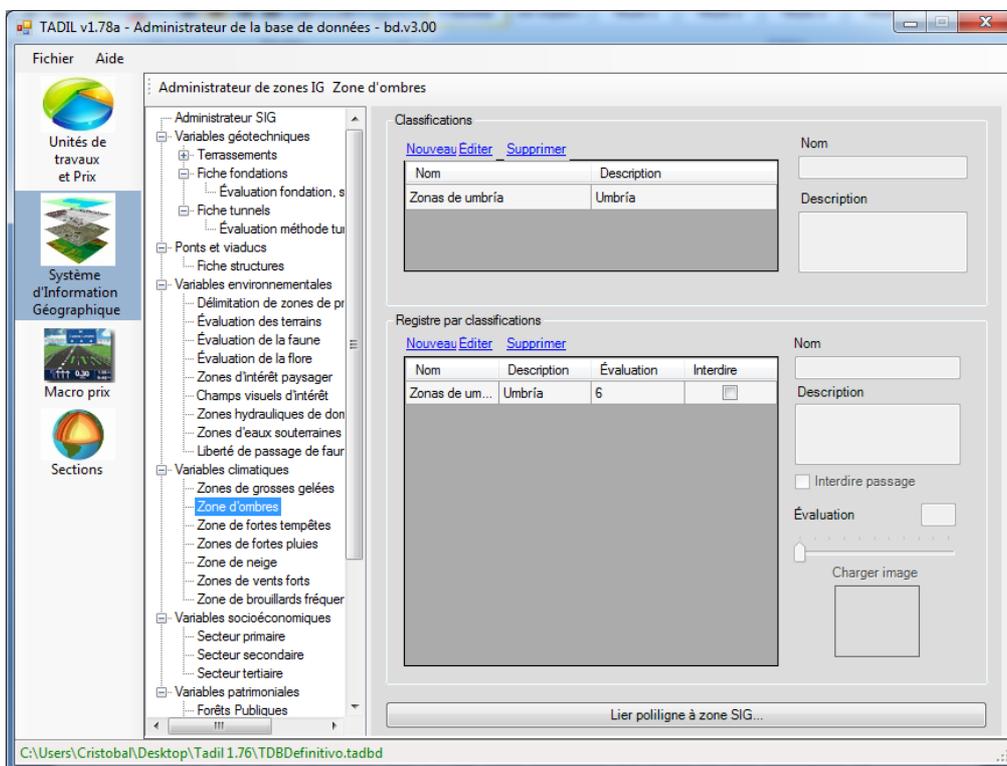


Image 2-46. Structure du menu des zones d'ombres

## **1.3. Zones de fortes tempêtes**

Dans ce cas, on examine l'effet des précipitations sur l'orographie du terrain. Dans cette variable, on considère les milieux géographiques pour lesquels les pluies torrentielles sont fréquentes et les topographies dans lesquelles les thalwegs et les ruisseaux présentent d'importantes pentes longitudinales et des structures ramifiées d'une grande concentration.

Avec cette variable, on prétend pénaliser les zones dans lesquelles la probabilité d'inondation du terrain découvert est supérieure ou nécessitent d'importants travaux de drainage longitudinal et transversal avec leur coût correspondant.

En considérant un lieu d'étude déterminé et son modèle digital du terrain, on devra localiser les points où les lits des cours d'eau ont toute la probabilité de déborder, ou sinon les lieux où peuvent se produire une concentration de ruisseaux et d'écoulements.

Il est à noter que ces zones ne coïncident pas obligatoirement avec les zones du domaine public hydrolique qui délimitent la zone d'inondation pour une période de retour déterminé et pour un cours d'eau spécifique. Cependant, dans ce cas, nous délimitons des zones où une inondation de l'infrastructure est possible à cause d'une faille dans les systèmes de drainage longitudinal et transversal, due aux débits torrentiels des cours d'eau généralement de faible ruissellement, pour lesquels il n'existe pas de zone de domaine public hydrolique assignée.

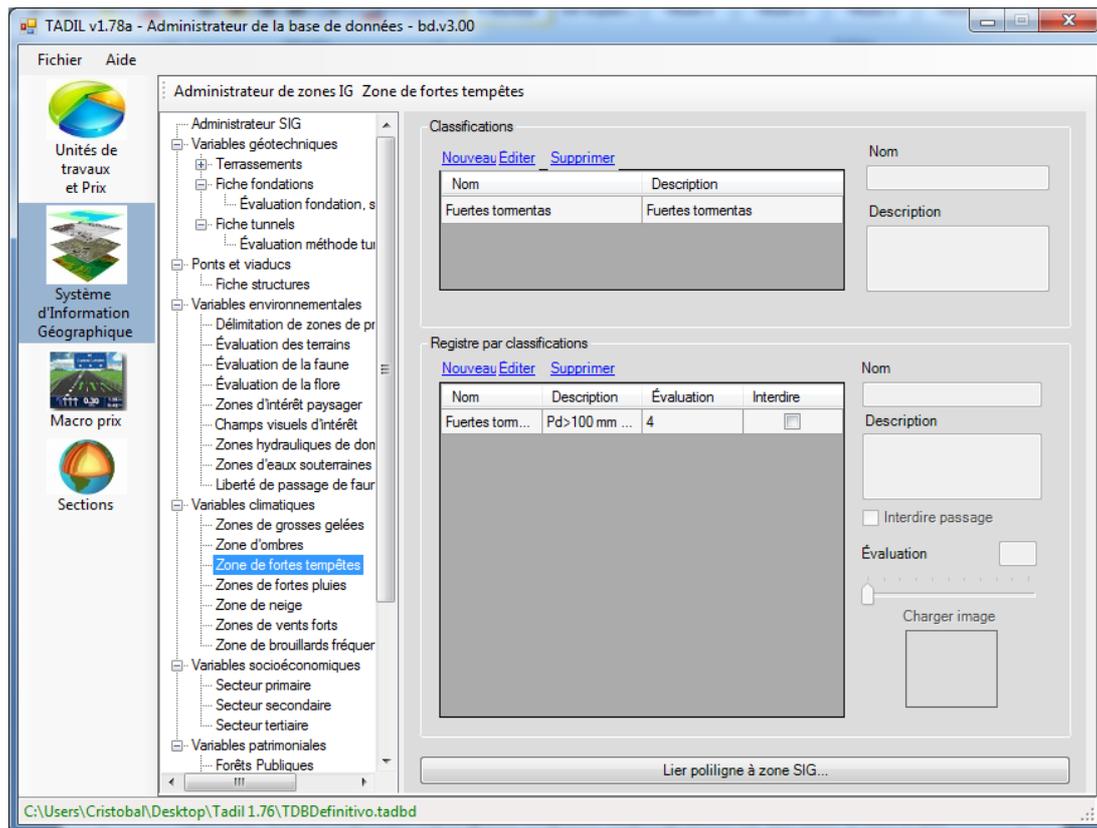


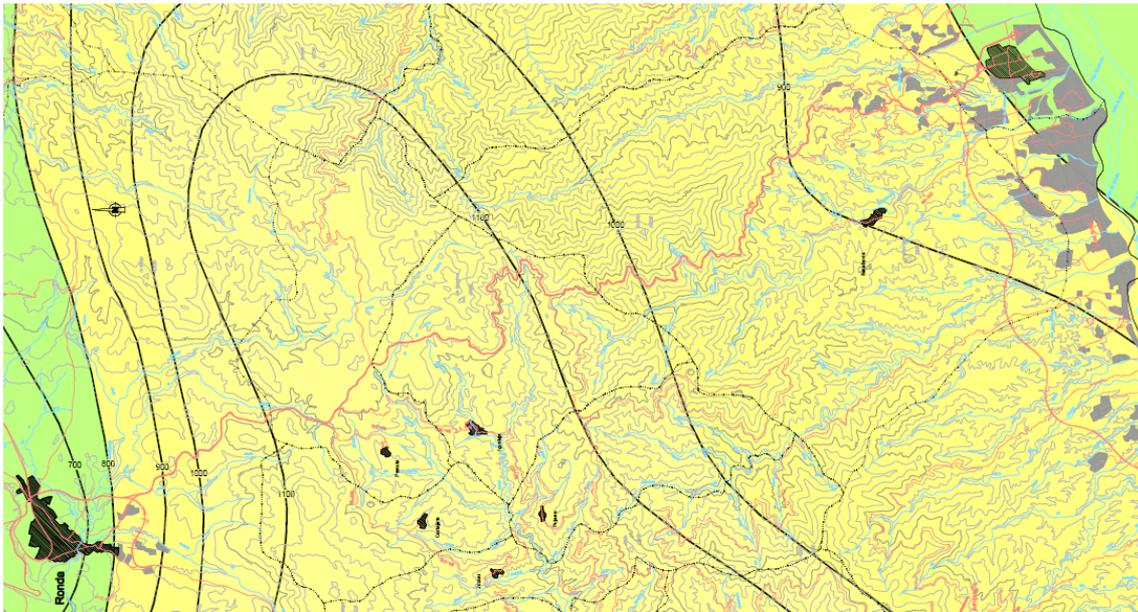
Image 2-47. Structure du menu des zones de tempêtes fréquentes.

#### **1.4. Zones de pluies intenses**

Avec cette variable, on pénalise la plus grande fréquence de précipitations sur une zone. L'effet d'une plus grande quantité annuelle de précipitations sur une infrastructure se traduit en:

- un plus grand besoin de protection de talus et/ou une verticalité moindre de ces derniers inférieurs.
- un plus grand besoin de maintenance.
- un plus grand besoin de drainage sous la couche supérieure du terrain.
- un plus grand besoin de purges.

Au niveau local, on peut noter généralement des différences dans la pluviométrie entre les zones de haute montagne et les zones de basse montagne. L'évaluation se fait, par conséquent à partir de la moyenne annuelle des précipitations. Une autre option est celle de l'évaluation à partir du nombre de jours de pluie à l'année.



Precipitacion Media en M/M	Clasificacion
 > 800.....	HUMEDO
 600 - 800.....	SUBHUMEDO

Image 2-48. Exemple de délimitation des zones selon la précipitation annuelle.

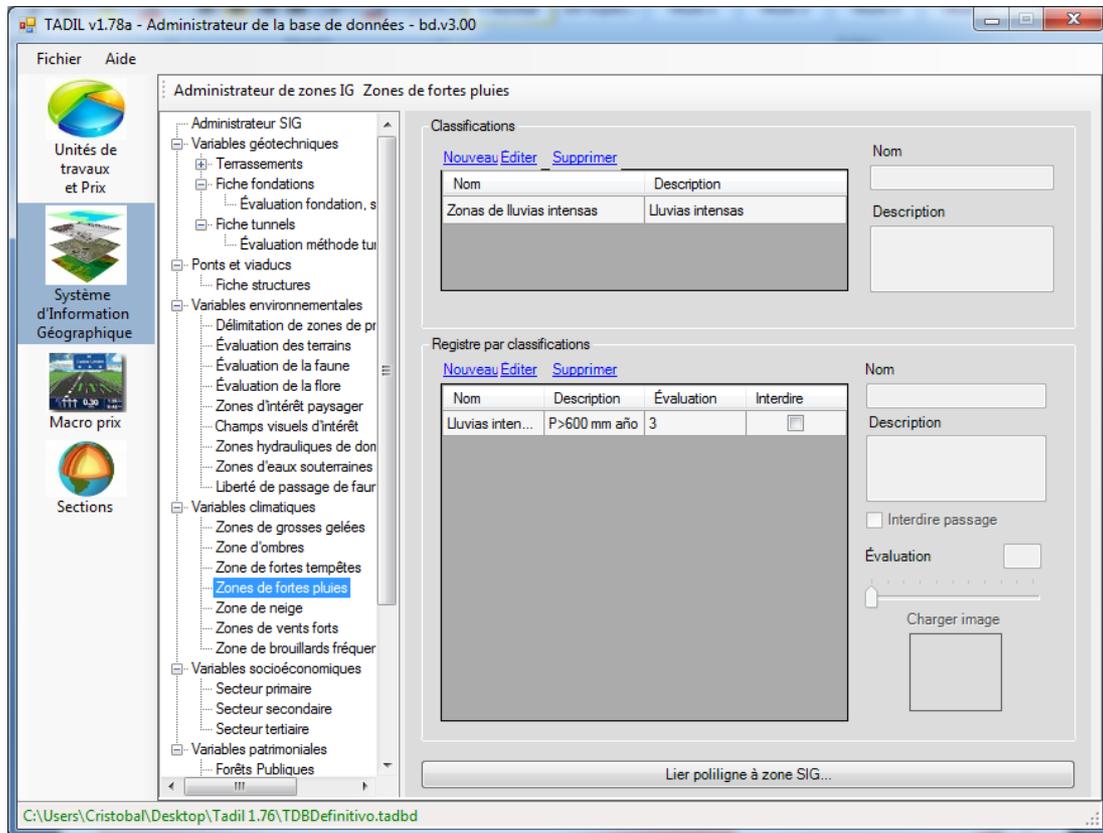


Image 2-49. Structure du menu des zones de pluies intenses.

### 1.5. Zones de neiges

Avec cette variable, on pénalise les zones où se produisent fréquemment des chutes de neige, susceptibles de s'accumuler sur la couche supérieure du terrain extérieur et en conséquence, pouvant rendre l'infrastructure non opérationnelle.

L'évaluation de la variable se fait en fonction du nombre de jours à l'an où sont enregistrées des précipitations neigeuses.

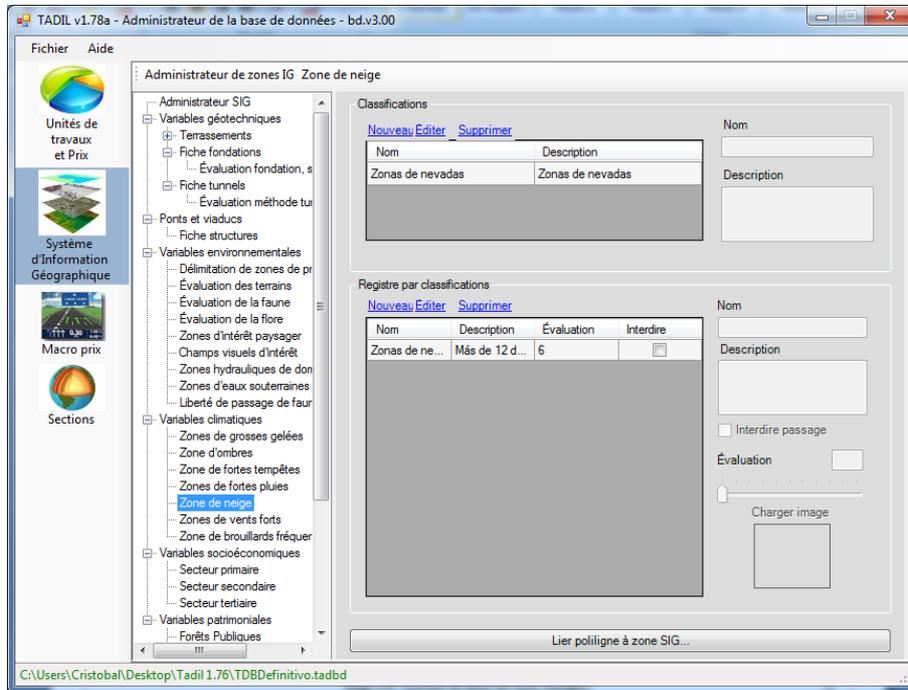


Image 2-50. Structure du menu des zones enneigées.

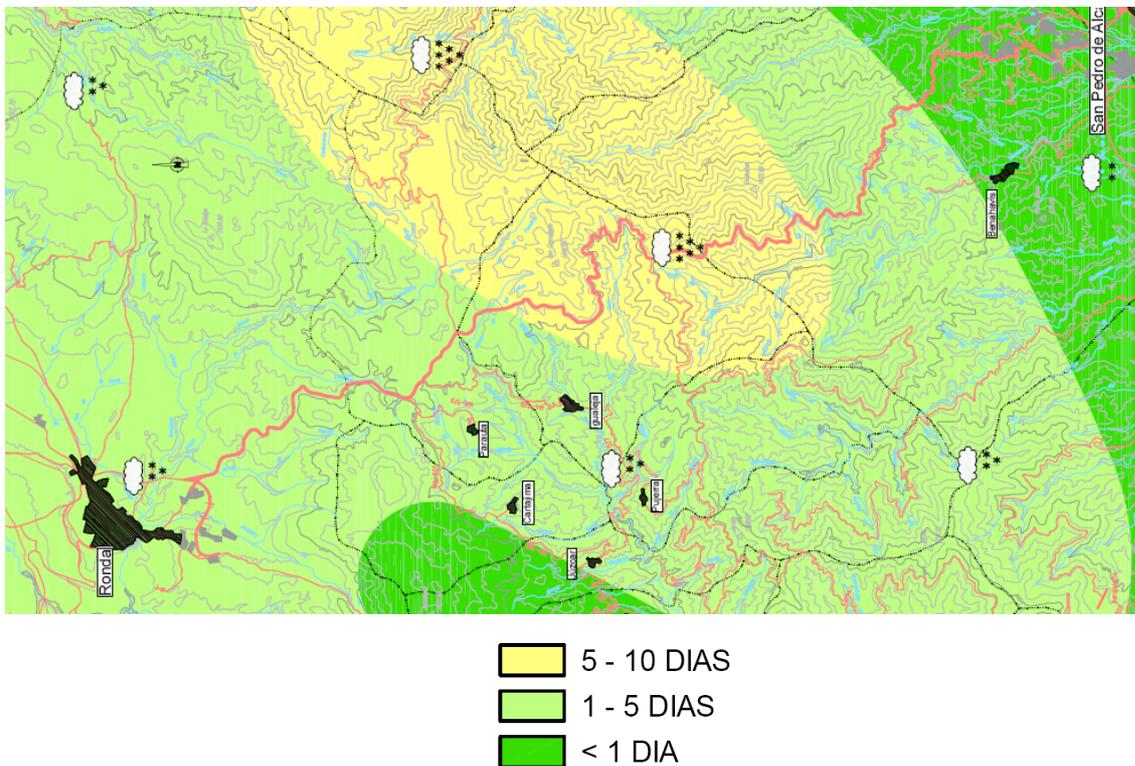


Image 2-51. Exemple de zones selon les jours de chute de neige.

### 1.6. Zones de vents forts

Elles correspondent aux zones où la fréquence des vents constitue un facteur de risque dans la conduction, ce pourquoi l'évaluation de cette variable sert d'avantage pour les infrastructures des routes. Elles correspondent normalement aux sommets des montagnes avec une plus grande proéminence géographique ainsi qu'à certaines zones du littoral.

En général, on établit une évaluation unique pour toutes les zones de vents forts, sauf si l'utilisateur préfère différencier les zones géographiques avec les différentes casuistiques climatiques.

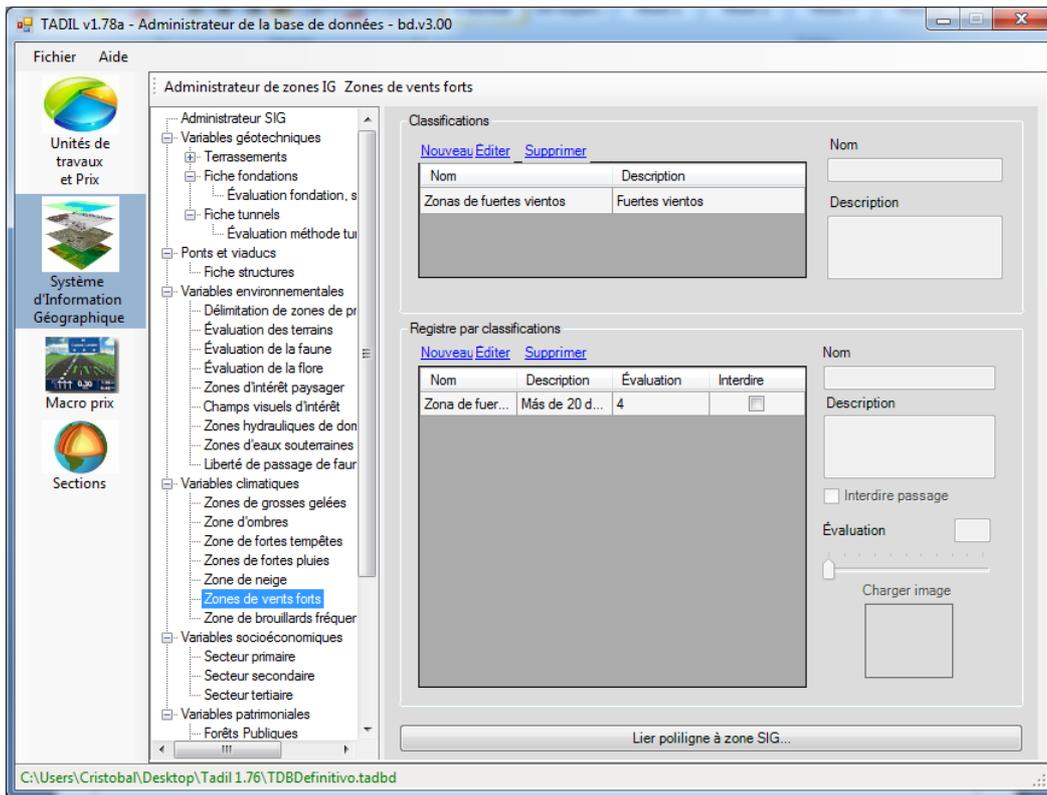


Image 2-52. Structure du menu des zones de vents forts.

### 1.7. Zones de brouillards fréquents

Elles correspondent aux zones où les brouillards sont fréquents; il est à noter les brouillards de la vallée ou de versant, par concentrations d'air froid retenu entre les contreforts montagneux, et les brouillards de radiation ou advection qui coïncident avec les zones où le refroidissement du sol pendant la nuit, crée la concentration de l'humidité dans la zone basse de l'atmosphère, ce qui normalement se produit dans les vallées fertiles et les plateaux.

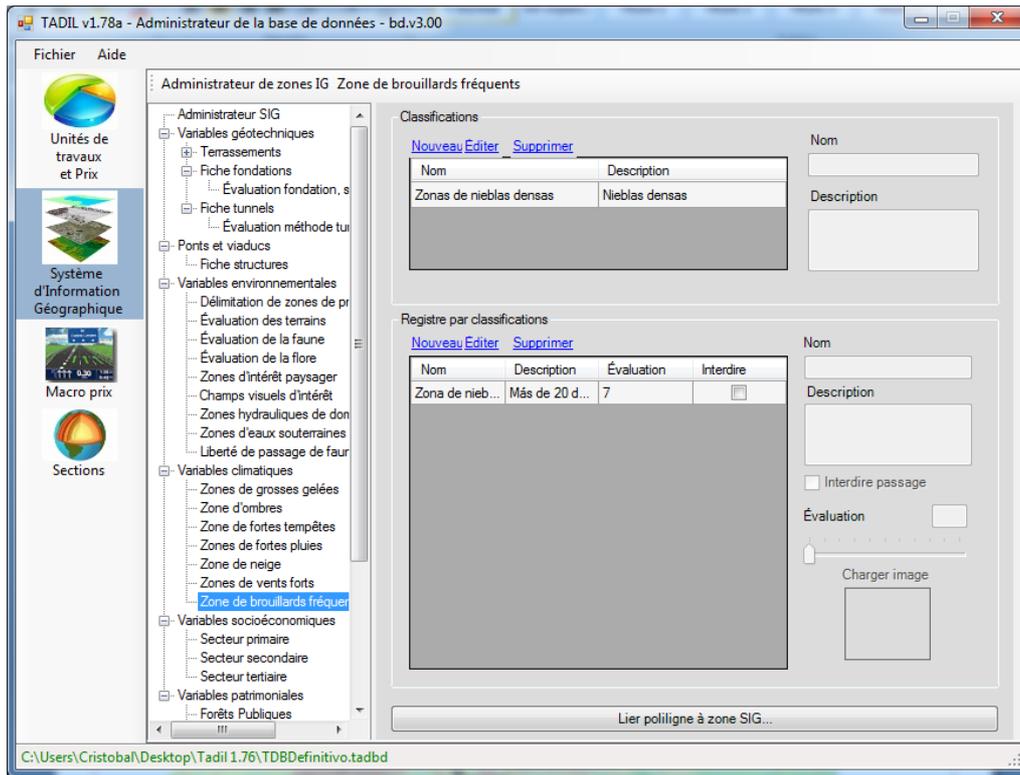


Image 2-53. Structure des zones de denses brouillards.

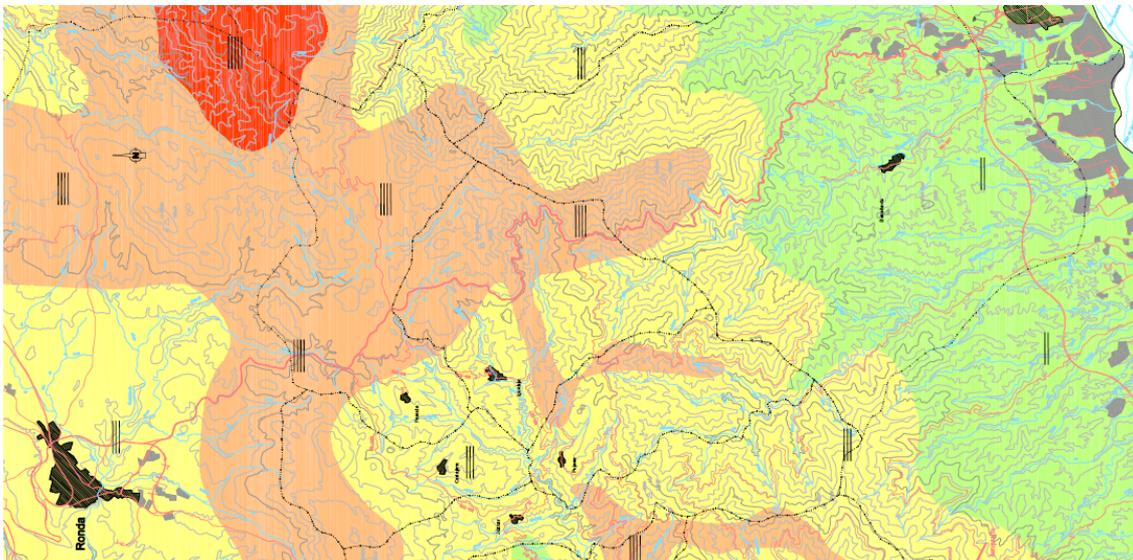


Image 2-54. Exemple de zonage selon les jours de brouillard.

LE SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE.  
SOUS-CHAPITRE 6. VARIABLES SOCIOÉCONOMIQUES

## 0. Introduction

Dans le chapitre présent, on décrit les variables socioéconomiques, leur implémentation et leur évaluation qualitative.

## 1. Variables Socioéconomiques

Les variables socioéconomiques prétendent analyser la plus ou moins grande valeur du sol sur la base de la productivité, en primant la non attribution pour l'implantation d'infrastructures dans les espaces de grande productivité et qui sont associés à des paramètres d'emploi ou autres paramètres socioéconomiques d'importance.

C'est pourquoi, l'utilisateur avec ses évaluations devra détacher les zones importantes pour leur productivité dans les secteurs primaires, secondaires ou tertiaires.

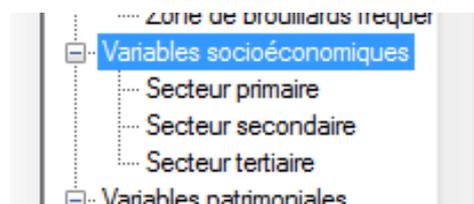


Image 2-55. Sélection du secteur.

Les secteurs économiques permettent la division de l'activité économique d'un territoire, en fonction du type de processus productif existant. Les secteurs se divisent en un secteur primaire, secondaire, tertiaire et depuis peu aussi, en un secteur quaternaire, cependant, ce dernier ne sera pas compté, puisqu'il correspond à des services hautement intellectuels comme la recherche, le développement, l'innovation et l'information, très détachés des aspects localisateurs, c'est pourquoi il sera intégré dans le secteur tertiaire.

### 1.1. Secteur primaire

C'est celui qui obtient les produits directement de la nature, les matières premières, les créations, etc.

- secteur agricole (origine végétale)
- secteur fermier (origine animale)
- secteur pêche (de rivière ou de la mer)
- secteur minier (mines et plusieurs compléments rocheux)
- secteur forestier (forêt)

L'utilisateur pourra créer des zones avec différentes évaluations; ainsi ce ne sera pas la même chose une parcelle de terrain non-irriguée que des terres irrigables ou une parcelle de culture sous plastique; de la même manière une parcelle destinée aux pâturages sera différente d'une parcelle pour plantation de peupliers.

L'utilisateur pourra utiliser les bases de données cadastrales et les incorporer au programme.

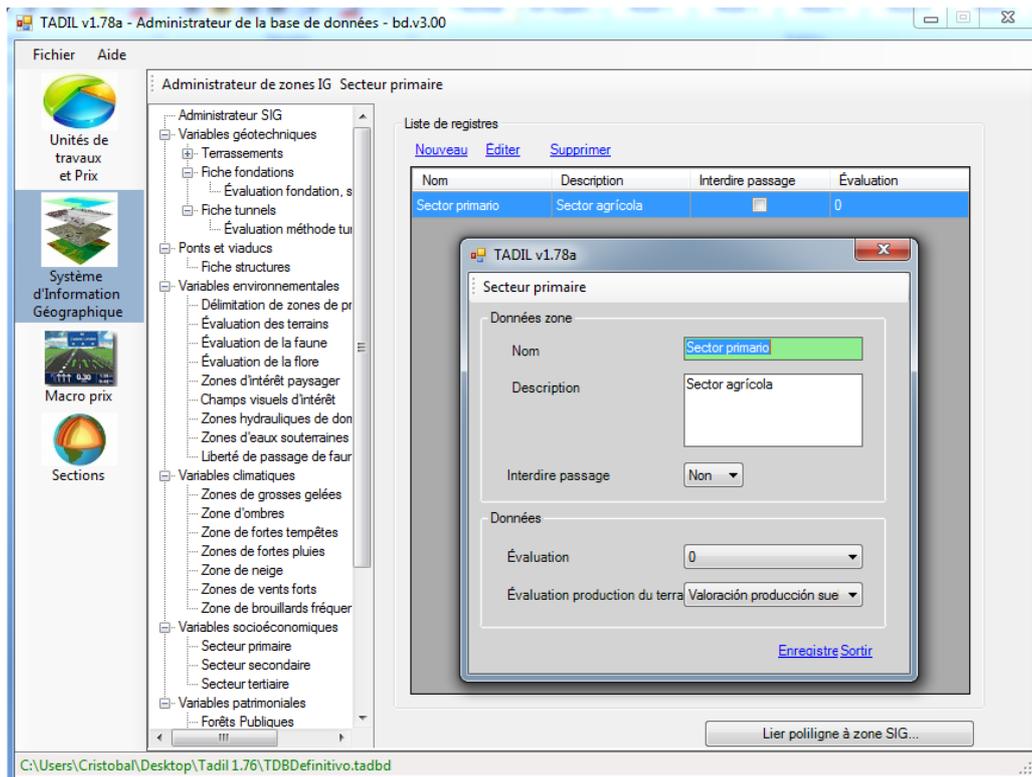


Image 2-56. Structure d'implantation des zones du secteur primaire.

On peut indiquer que dans le menu antérieur, le code permet d'associer les prix de la base de données à considérer dans le coût de l'expropriation, exclusivement pour le facteur de production. Les coûts pour l'expropriation du sol seront tenus en compte dans les variables patrimoniales.

### 1.2. Secteur secondaire

C'est celui qui transforme les matières premières en produits terminés ou semis élaborés:

- secteur industriel
- secteur énergétique
- Secteur minier (on le considère également comme une partie du secteur secondaire parce qu'à partir de la minerie on peut créer différents produits)
- secteur de la construction

En général, on évite les secteurs industriels en cours de production dans le projet des infrastructures linéaires, c'est pourquoi l'utilisateur devra indiquer l'obligation de "non passage". Cependant, dans certaines situations, on pourra s'intéresser à l'expropriation totale ou partielle de certain complexe secondaire afin d'optimiser l'infrastructure. Si tel est le cas, l'utilisateur devra indiquer, à travers le code, le coût pour expropriation de la valeur de la production.

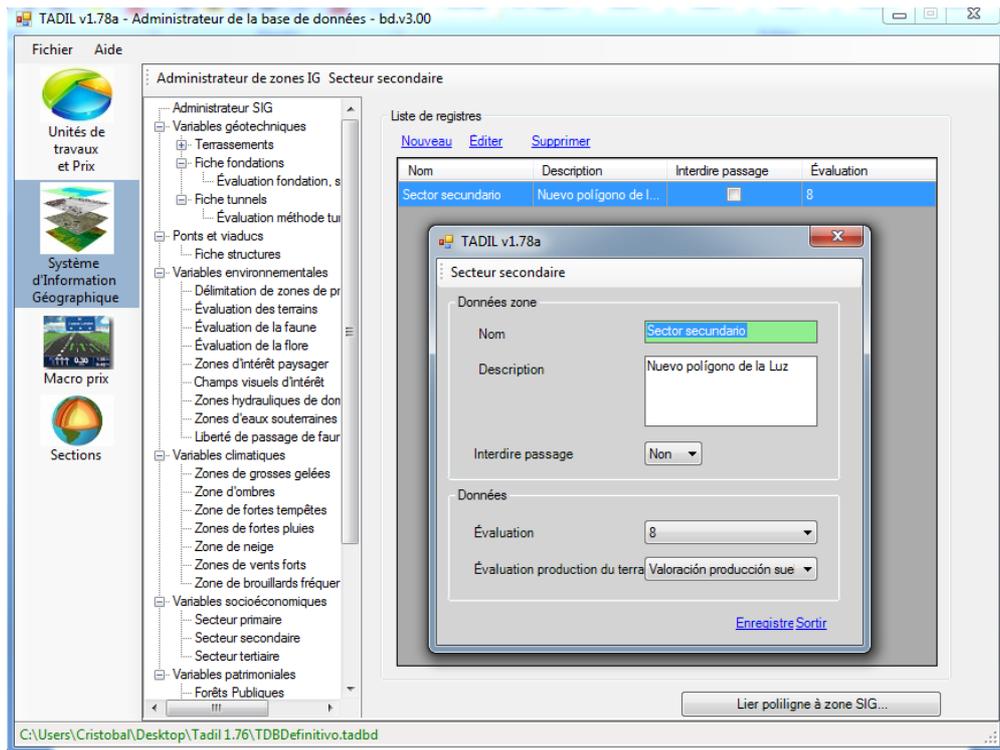


Imagen 2-57. Structure du menu d'implantation des zones du secteur secondaire.

### **1.3. Secteur tertiaire**

C'est celui qui est aussi considéré comme le secteur de services, puisqu'il ne produit pas de biens, sinon des services.

- secteur transports
- secteur communications
- secteur commercial
- secteur touristique
- secteur sanitaire
- secteur éducatif
- secteur financier
- secteur de l'administration

Dans ce cas, l'utilisateur désignera les espaces tels que les parcs technologiques, les complexes éducatifs ou les zones universitaires, et grands complexes hospitaliers, etc.

De même, l'utilisateur pourra marquer l'interdiction de passage ou indiquer le coût de l'expropriation relatif à la production.

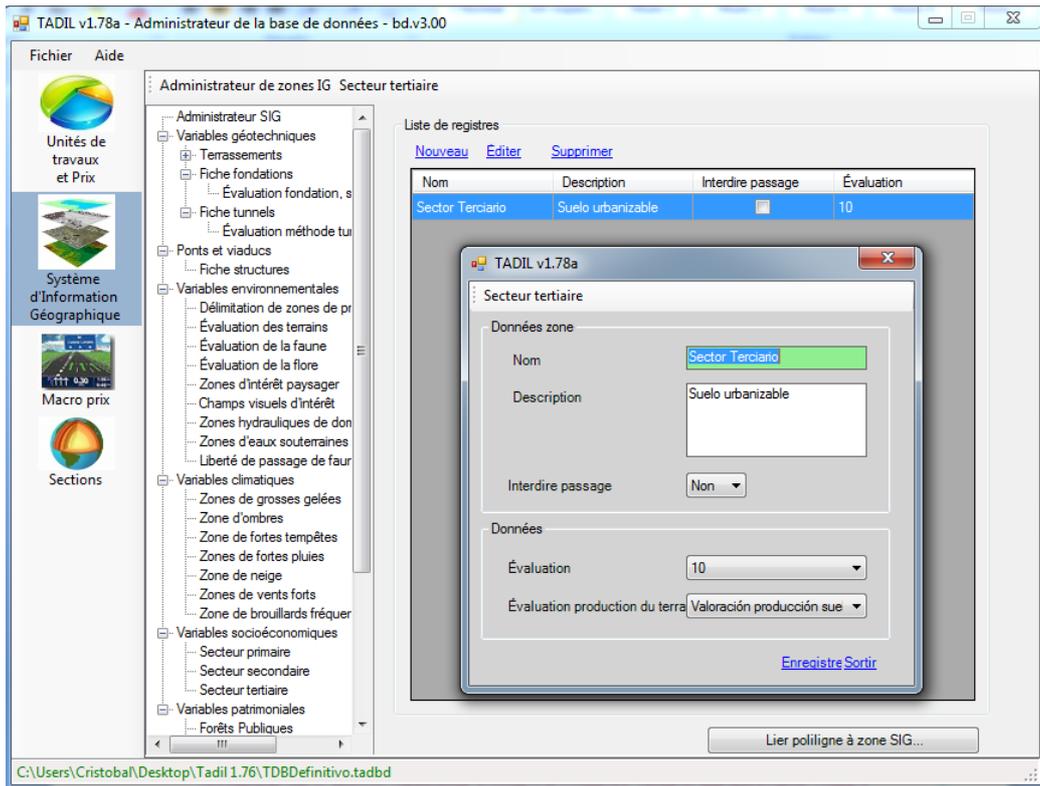


Image 2-58. Délimitation des zones du Secteur Tertiaire.

LE SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE.

SOUS-CHAPITRE 7. VARIABLES PATRIMONIALES

## 0. Introduction

Dans le présent chapitre, on décrit le dernier ensemble ou groupe de variables patrimoniales. On intègre un total de neuf variables.

## 1. Variables patrimoniales

Dans ce groupe, on inclut les éléments du patrimoine, qu'il s'agisse de biens côtés de propriété publique ou privée, ou de biens qui, pour leur intérêt stratégique ou culturel, doivent être obligatoirement conservés. Pour les premiers, il sera possible d'attribuer une valeur économique tandis que pour les seconds, l'évaluation faite par l'utilisateur permettra de privilégier les éléments de plus grande valeur ou bien prévoir l'établissement de zones de non-passage.

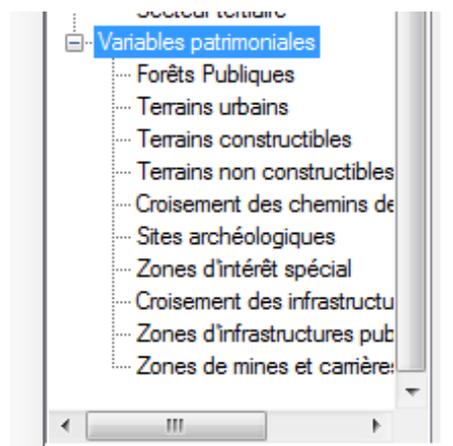


Image 2-59. Structure de la sélection des variables patrimoniales.

### 1.1. Les Domaines Publics

On inclut ici, montagnes de titularisation municipale ou publique. La protection de ces montagnes répondra à des critères de planning municipal ou régional, (règlements ou plans spécifiques). A moindre valoration de ces domaines, plus grande protection. L'utilisateur pourra aussi marquer l'interdiction de passage.

Il faut souligner que l'évaluation qui s'établit dans ce cas, répond à des critères exclusivement patrimoniaux puisque d'autres critères, comme par exemple, ceux de l'environnement seront tenus en compte dans le paragraphe des variables environnementales.

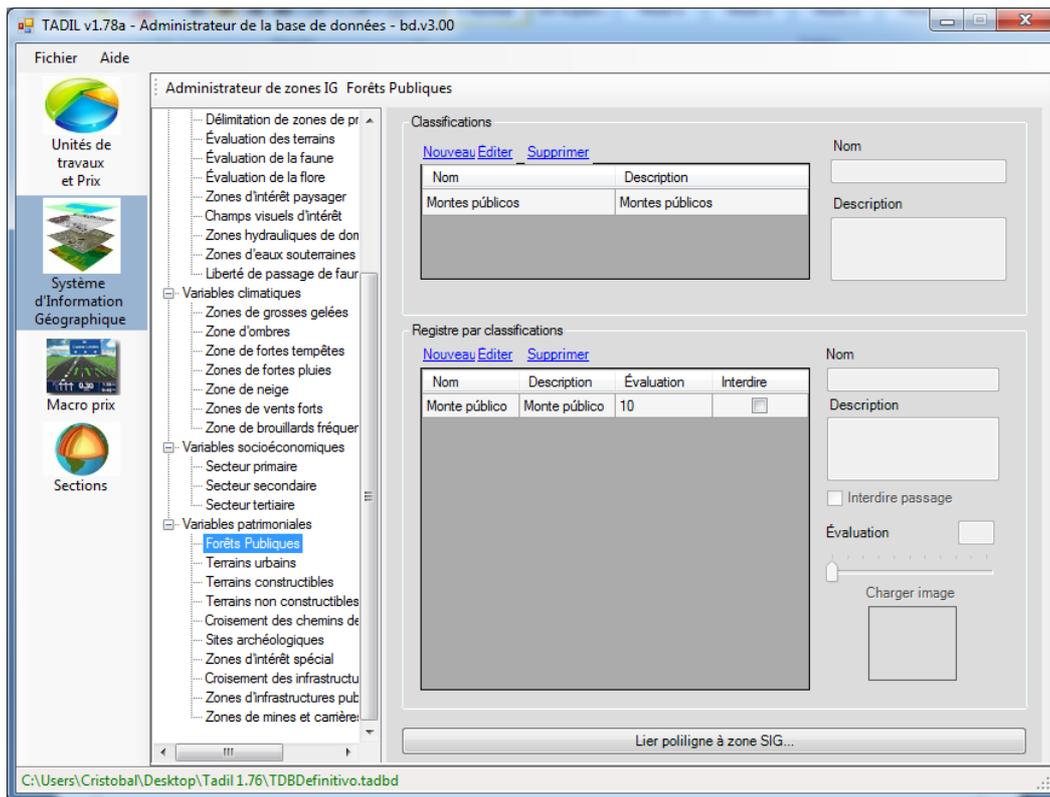


Image 2-60. Structure du menu des domaines publics.

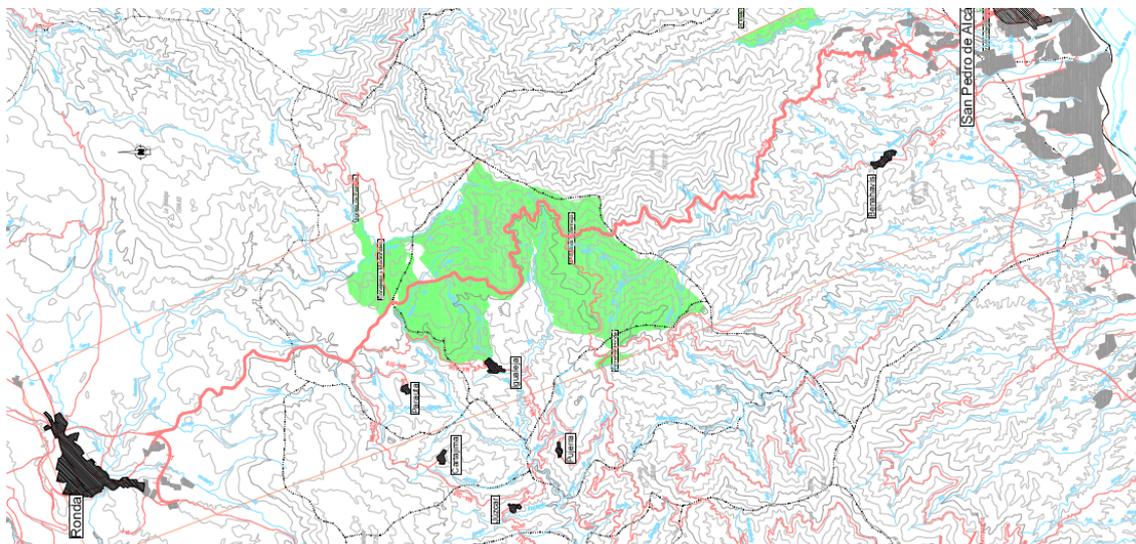


Image 2-61. Exemple de la délimitation des zones du domaine public.

## **1.2. Sols urbains**

On inclut ici, les sols urbains consolidés comme ceux non consolidés. L'utilisateur pourra marquer l'interdiction de passage ou dans le cas contraire de permission de passage, il pourra sélectionner la typologie qui permet l'application d'un prix d'expropriation. Ce prix inclura la valeur immobilière du terrain et des constructions qui y sont comprises. Il inclura aussi, le coût des démolitions et des démentèlements de services ou de la machinerie nécessaire.

Le coût antérieur s'ajoutera, le cas venu, au coût de production indiqué par les variables socioéconomiques.

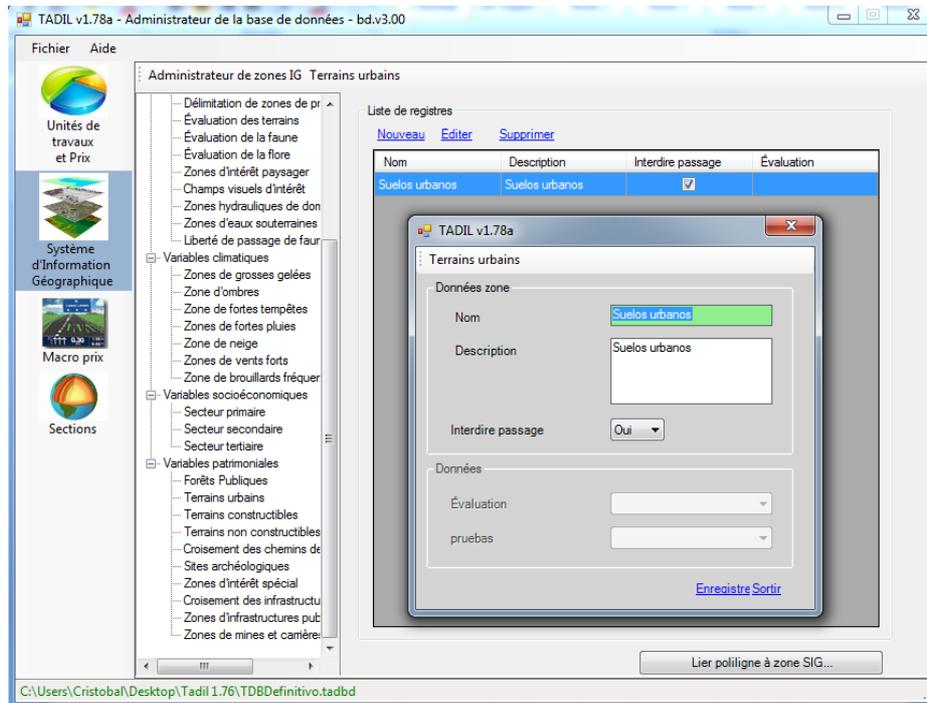


Image 2-62. Structure de logiciel du menu de sol urbain.

Il faut indiquer que les évaluations subjectives qui s'introduisent doivent être en accord avec la valeur patrimoniale du secteur ou de la zone qui est définie.

## **1.3. Les terrains constructibles**

De la même façon, sont comprises toutes les classifications possibles de terrains constructibles. On pourra inclure aussi, l'estimation économique des sols en introduisant un code ou par la désignation recueillie dans la base des prix du logiciel, afin de calculer le coût des expropriations.

L'utilisateur pourra créer des évaluations selon les différentes classifications de terrains constructibles, ou le cas échéant, établir des zones d'interdictions de passage.

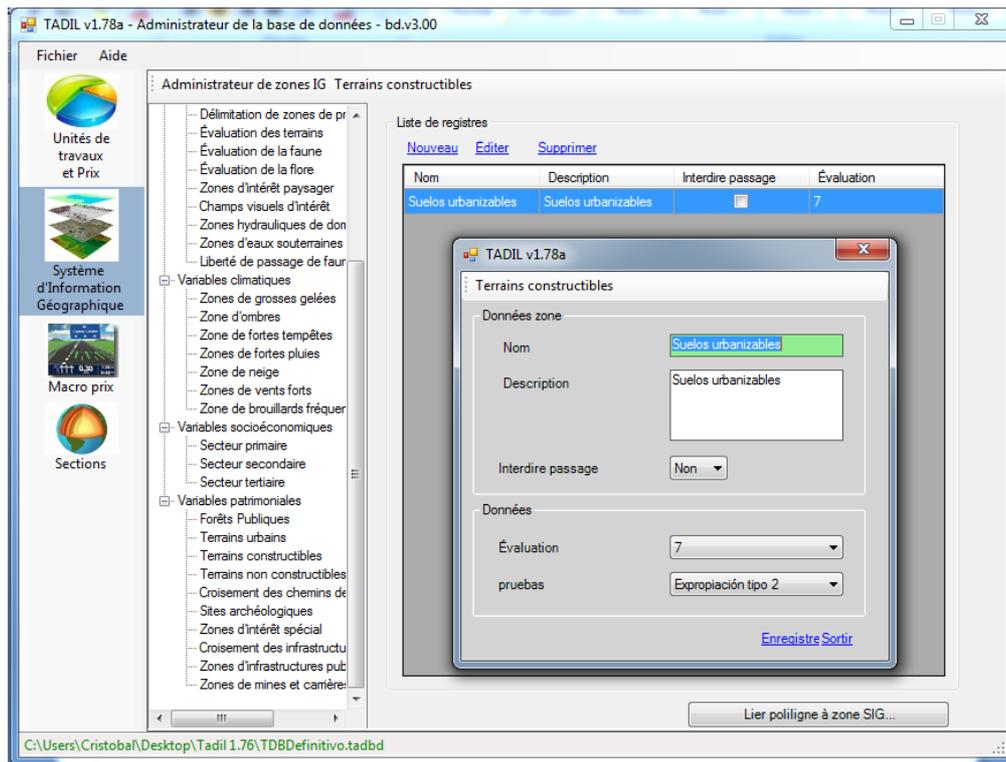


Image 2-63. Structure du logiciel du menu de terrain constructible.

#### 1.4. Terrains non constructibles

L'utilisateur pourra aussi déterminer le coût d'expropriation des parcelles qui s'ajoutera au coût d'expropriation pour productivité. L'évaluation subjective sera en accord avec la valeur patrimoniale stipulée.

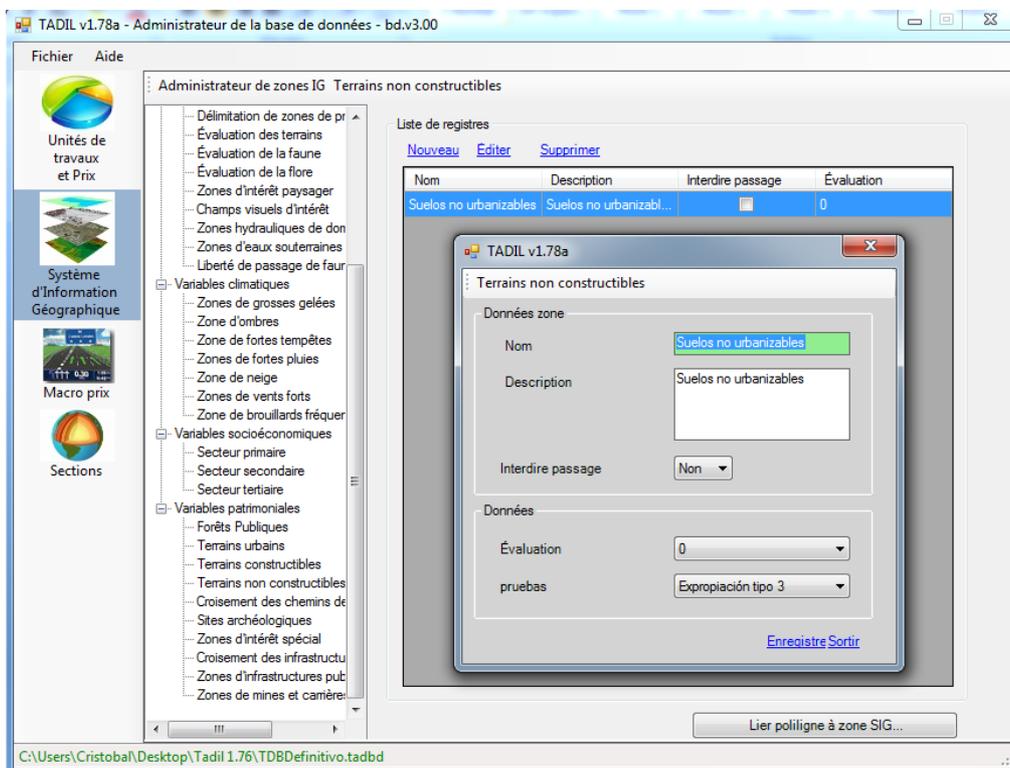


Image 2-64. Structure du logiciel du menu de terrain non constructible.

### 1.5. Délimitation des sites archéologiques

Pour cette variable, le logiciel permet aussi l'établissement de sous-classifications, autant que divers ensembles de sites archéologiques soient possibles, en fonction du degré de protection, (Biens d'Intérêt culturel, Zones de protection, Zones de précaution, etc.), en fonction du type, (préhistoriques, époque romaine, etc.).

L'utilisateur peut marquer l'interdiction de passage.

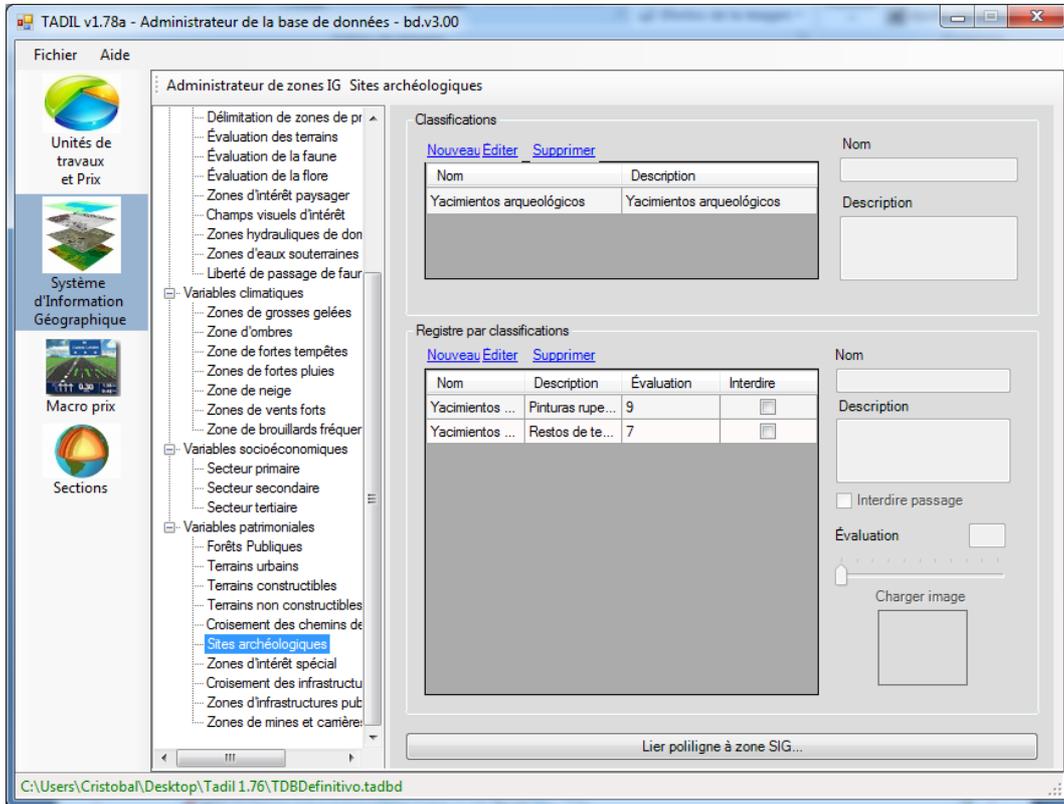


Image 2-65. Structure du logiciel du menu des sites archéologiques.

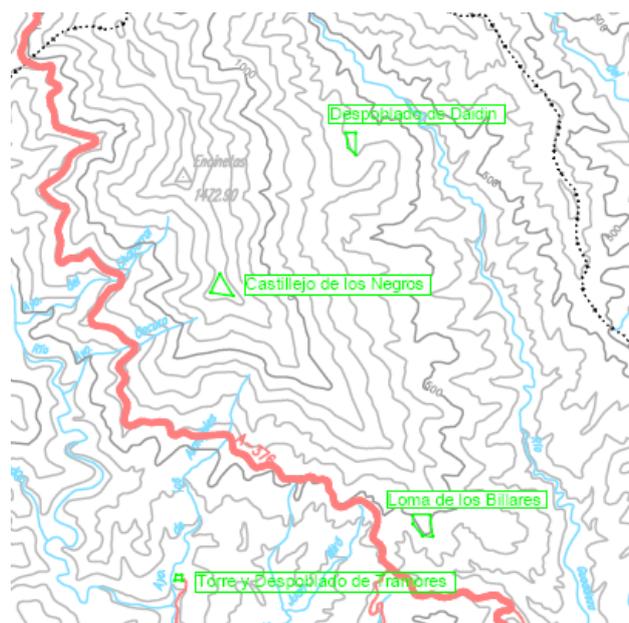


Image 2-66. Exemple de localisation des sites archéologiques.

### **1.6. Délimitation des zones de spécial intérêt**

Dans ce cas on considère les zones de spécial intérêt stratégique contenues dans les plans territoriaux ou les plans d'infrastructures, mais qui n'ont pas encore été réalisés, comme par exemple les zones de logistique, les réserves d'espace pour les infrastructures, les zones d'implantation de panneaux solaires, etc.

L'évaluation économique du sol n'est pas comprise pour l'introduction du code, l'évaluation étant exclusivement subjective.

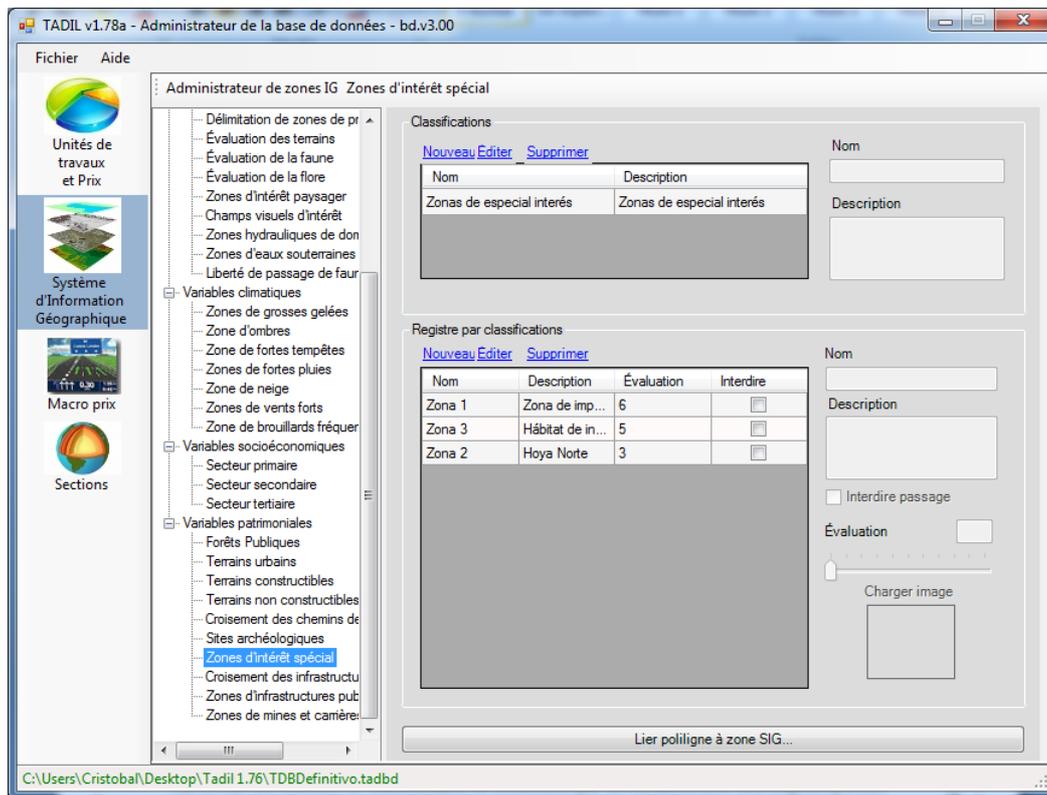


Image 2-67. Structure du menu de définition des zones de spécial intérêt.

### **1.7. Croisement des chemins de transhumance**

Comme pour les gisements archéologiques, dans ce cas on permet que l'utilisateur crée des sous-classifications, (sentiers, chemins, ravins, etc.)

Au niveau des chemins de transhumance le croisement par les infrastructures sera toujours permis.

De son côté, l'évaluation subjective considèrera la typologie de chemins de transhumance et sera prise en compte conjointement avec le numéro des chemins de transhumance traversés.

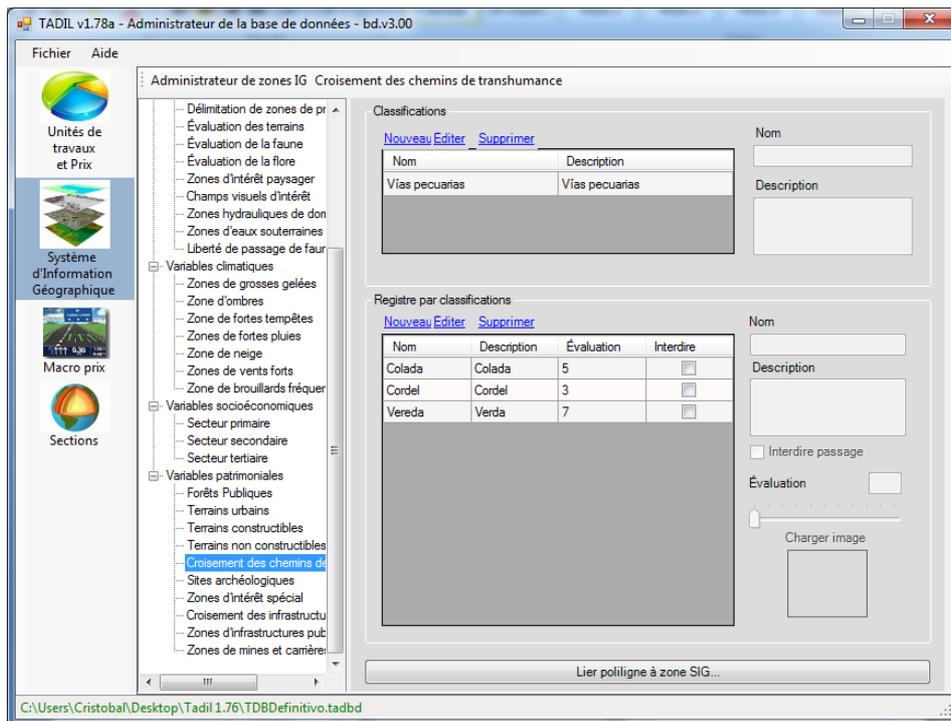


Image 2-68. Structure de menu de la définition des chemins de transhumance.

### ***1.8. Croisement des infrastructures linéaires***

Comme dans le cas des chemins de transhumance, les infrastructures linéaires peuvent se regrouper selon différentes classifications, (routes, canaux, chemins de fer, etc.); pour cette raison le menu, permet différentes classifications.

D'autre part, l'évaluation subjective considèrera la typologie des infrastructures qui sera tenue en compte conjointement avec le numéro de croisement.

Cette variable est la seule déterminante car on peut exiger un gabarit minimum dans le croisement de l'infrastructure.

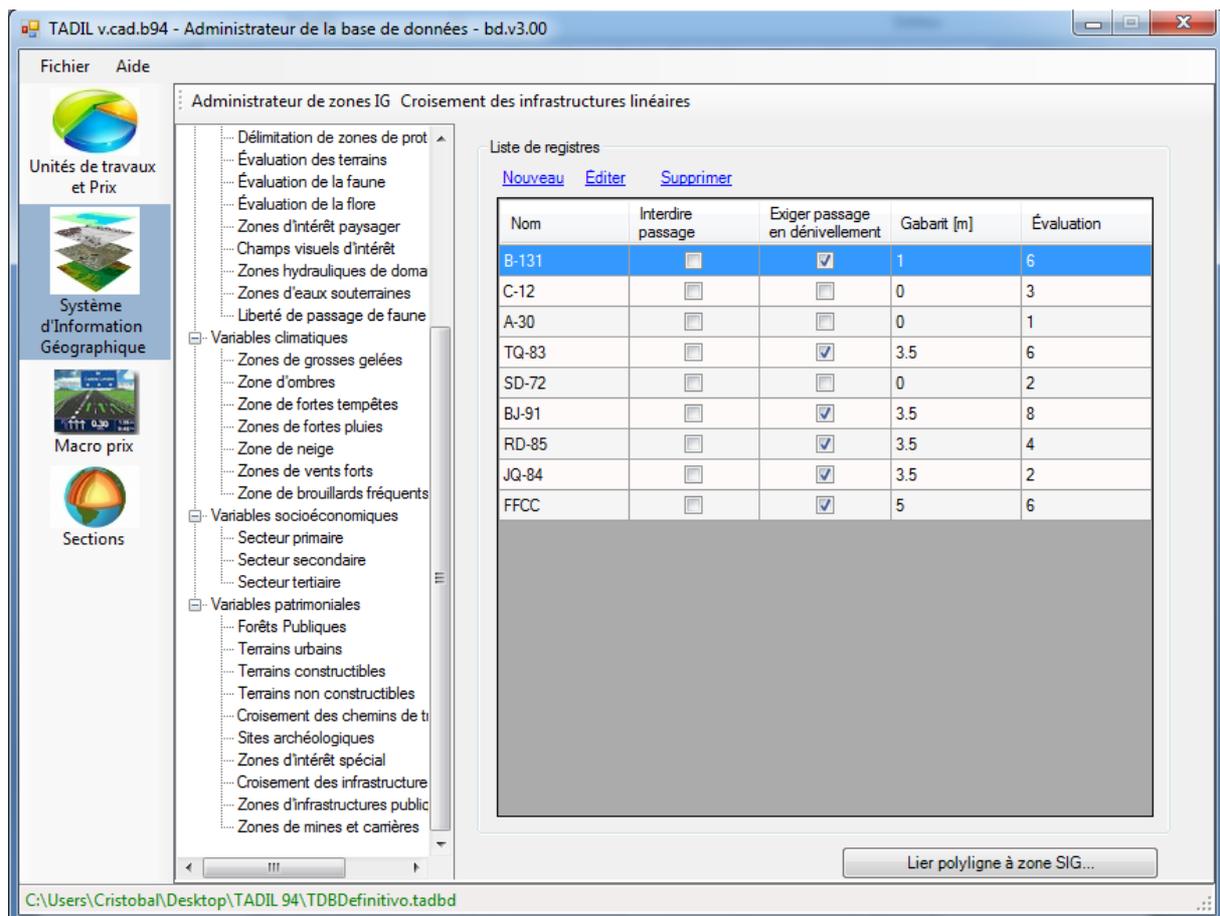
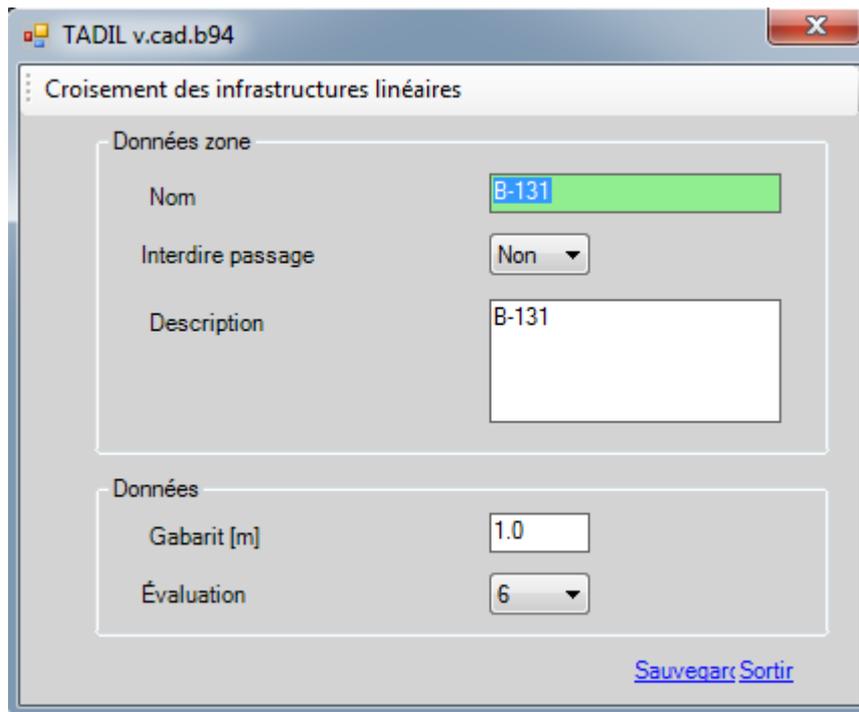
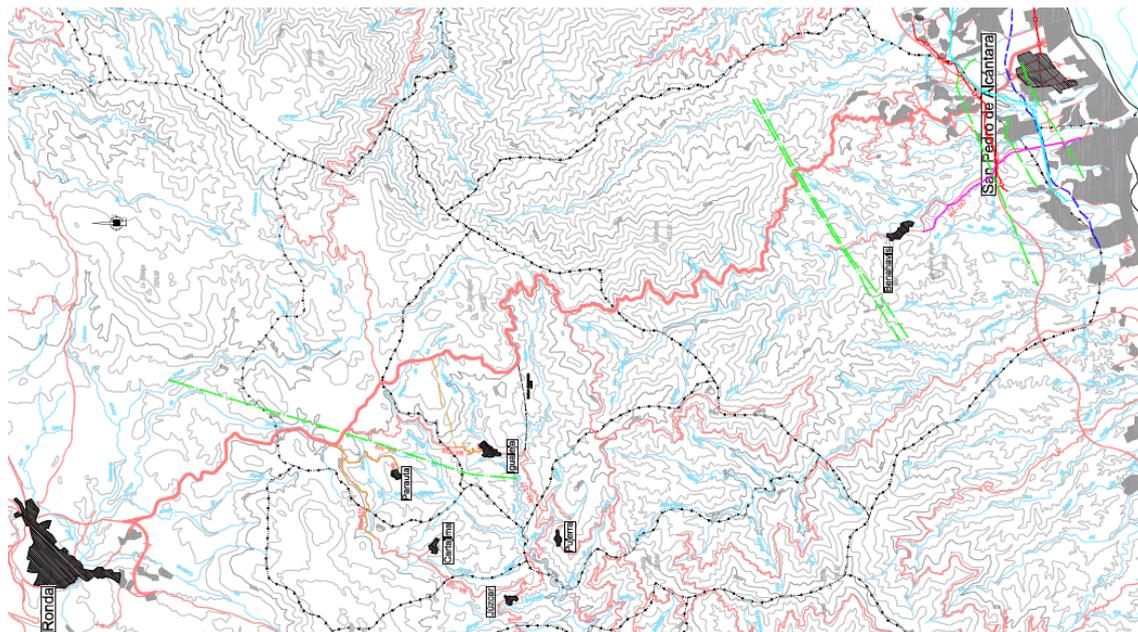


Image 2-69. Structure du menu des infrastructures linéaires.



- — — — — ABASTECIMIENTO MUNICIPAL PE 60mm
- — — — — ALTA TENSION
- — — — — ABASTECIMIENTO AGUA TUBERIA COSTA DEL SOL
- — — — — ABASTECIMIENTO AGUAS RECICLADAS
- — — — — CONDUCCION DE GAS
- — — — — CONDUCCION DE TELEFONIA

Image 2-70. Exemple de définition des infrastructures linéaires.

### **1.9. Zones d'occupation des infrastructures publiques**

Cette variable du SIG fait référence aux infrastructures publiques qui ne peuvent pas être désigner comme linéaires. Telles que les aéroports, les eaux stagnantes, les stations d'épuration des eaux résiduaires, les stations de traitement d'eau potable, etc.

L'utilisateur pourra établir l'interdiction de passage ou le cas échéant assigner une évaluation.

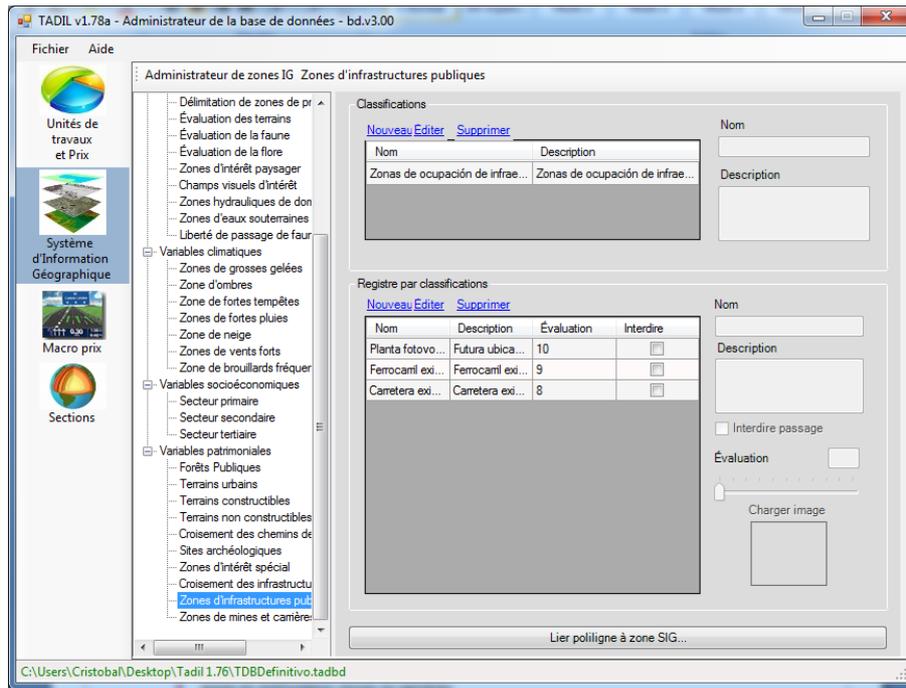


Image 2-71. Structure du menu des infrastructures publiques non linéaires.

### 1.10. Exploitations minières

On établit les exploitations minières comme une variable indépendante étant donnée la particularité de la législation en vigueur dans de nombreux pays où des droits d'exploitations minières peuvent s'établir sur des zones déterminées sans en posséder la propriété. Par conséquent, on distinguera deux zones identifiables nettement différenciées:

- zones en exploitation: mines ou carrières.
- zones sans exploitation mais avec les droits d'exploitation reconnus.

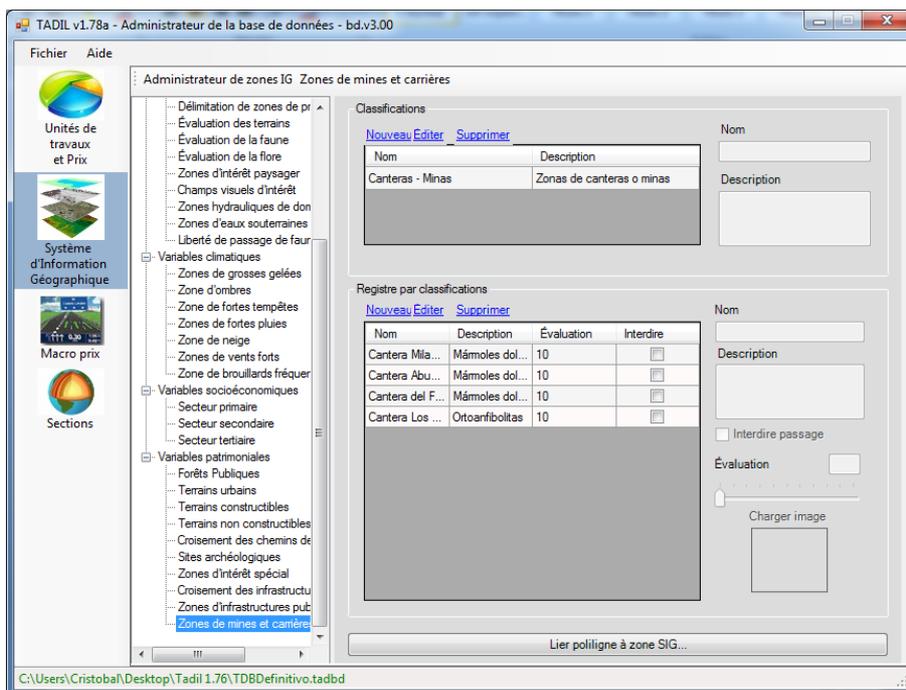


Image 2-72. Structure du menu des zones d'occupation par les exploitations minières.

LE SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE.

SOUS-CHAPITRE 8. STRUCTURES

**0. Introduction**

Dans ce chapitre, on décrit le dernier groupe de variables qui est à considérer: les structures. Leur définition a une incidence sur l'évaluation qualitative des solutions et sur le budget des alternatives.

**1. Structures**

Pour la définition des fiches structures on procède de façon similaire aux fiches géotechniques, en permettant la définition d'une fiche générale pour tout le territoire et de fiches spécifiques pour les zones plus réduites.

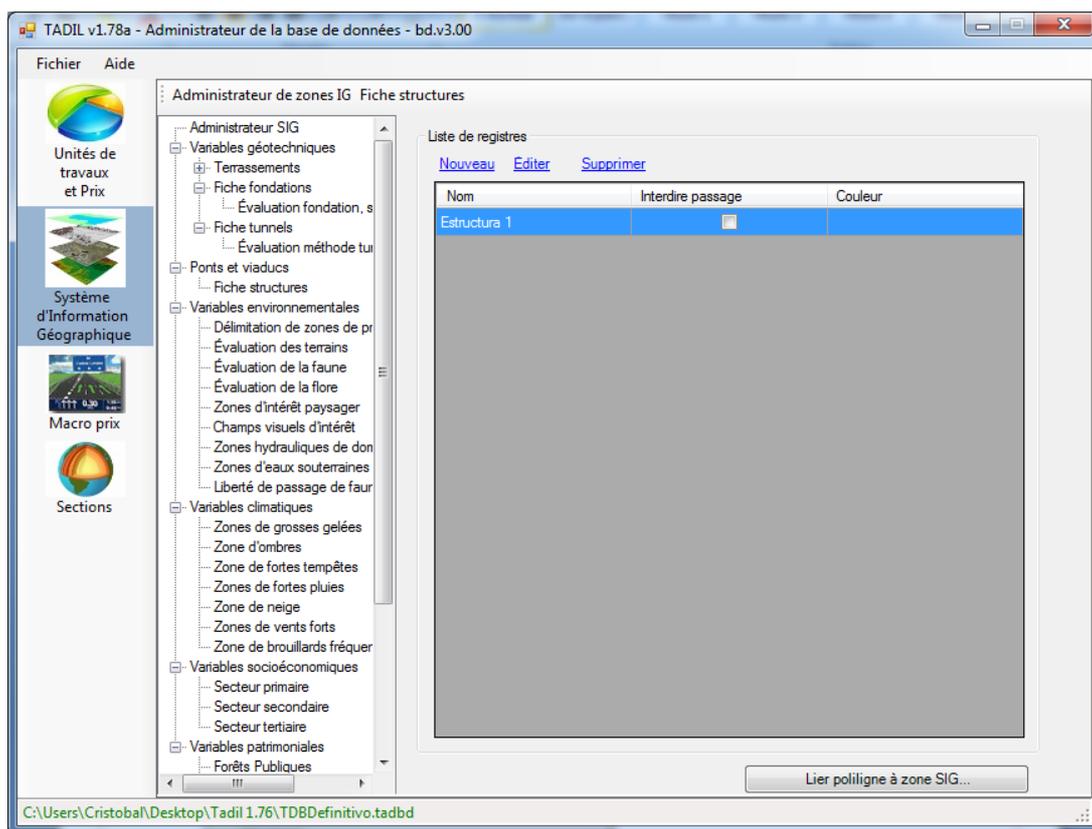


Image 2-73. Sélection de la fiche générale ou spécifique.

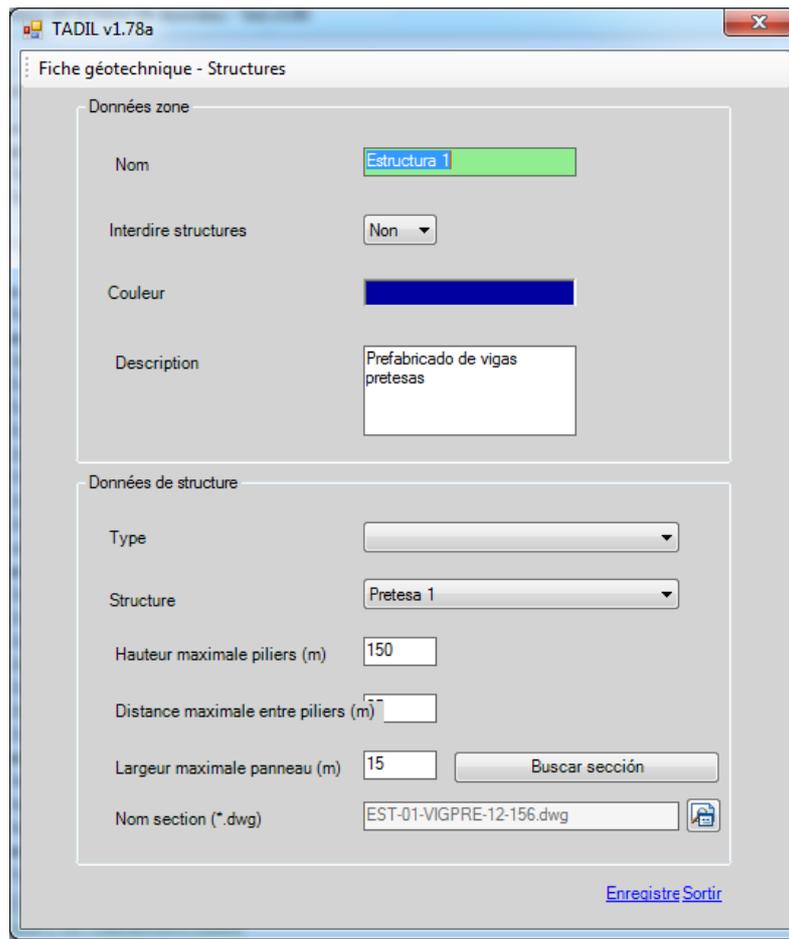


Image 2-74. Structure du logiciel du menu des structures.

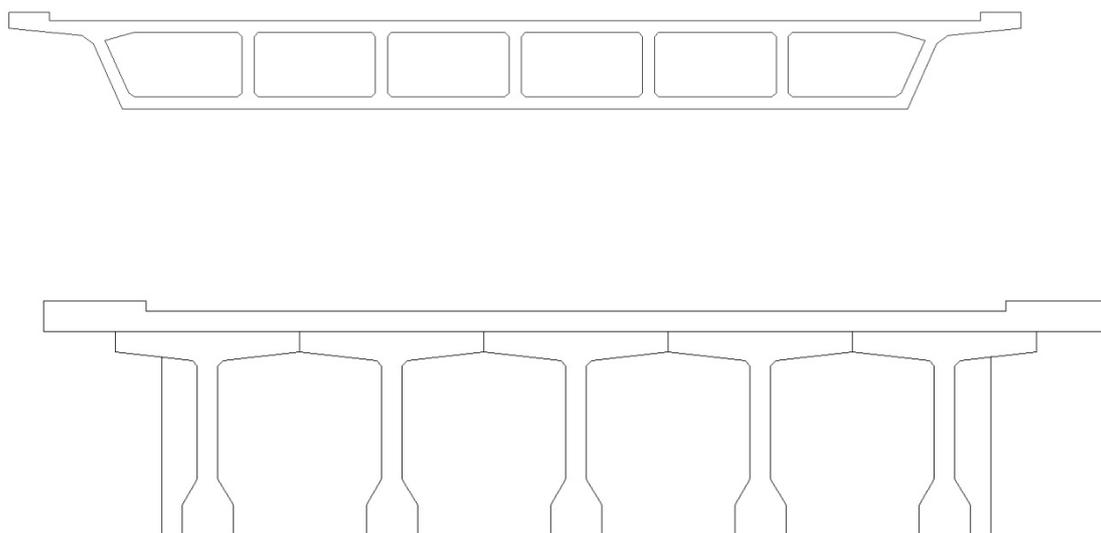
Dans la fiche des structures l'utilisateur pourra contrôler la hauteur maximum du pilier admissible ou directement empêcher la création de structures.

L'assignation d'un code ou le nom de la base des parties de travaux permettra la détermination d'un prix à la typologie de la structure sélectionnée.

Entre les typologies qui peuvent être sélectionnées, le logiciel offre les suivantes:

- Prefabriqué de poutres pré-tension.
- Dalles alvéolées en béton armé fabriquées in situ.
- Les voussoirs.
- Structure mixte ou en arc auto-ancré.
- Poutre d'épaisseur variable postcontrainte in situ.
- Poutre d'épaisseur constante postcontrainte in situ.
- Ponts à haubans.
- Ponts en arc auto-encré.
- Arc inférieur de panneau en treillis verticaux.

L'utilisateur doit indiquer les distances entre les piliers, ainsi que la largeur du panneau en vue de représenter les sections transversales correspondantes.



Graphique 2-3. Exemple des sections type implémentées dans le logiciel.

LOGICIEL TADIL  
TECHNIQUE DE L'AUTO-TRAÇAGE POUR LA CONCEPTION D'INFRASTRUCTURES LINÉAIRES

LE SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE.

SOUS-CHAPITRE 9. PLANS THÉMATIQUES.

**0. Introduction**

Dans ce sous-chapitre, on commente quelques aspects relatifs à l'établissement de plans thématiques et à l'introduction de zones thématiques.

**1. Implémentation de zones**

Une bonne définition du SIG du territoire a besoin d'une bonne délimitation antérieure de toutes les zones. En général, l'idéal serait de disposer à l'avance de couches thématiques en format CAD, avec les différentes zones à établir, déjà dessinées. Avec ce travail préalable, il suffira de sélectionner les polygones correspondantes pour qu'elles s'intègrent dans le SIG du logiciel TADIL.

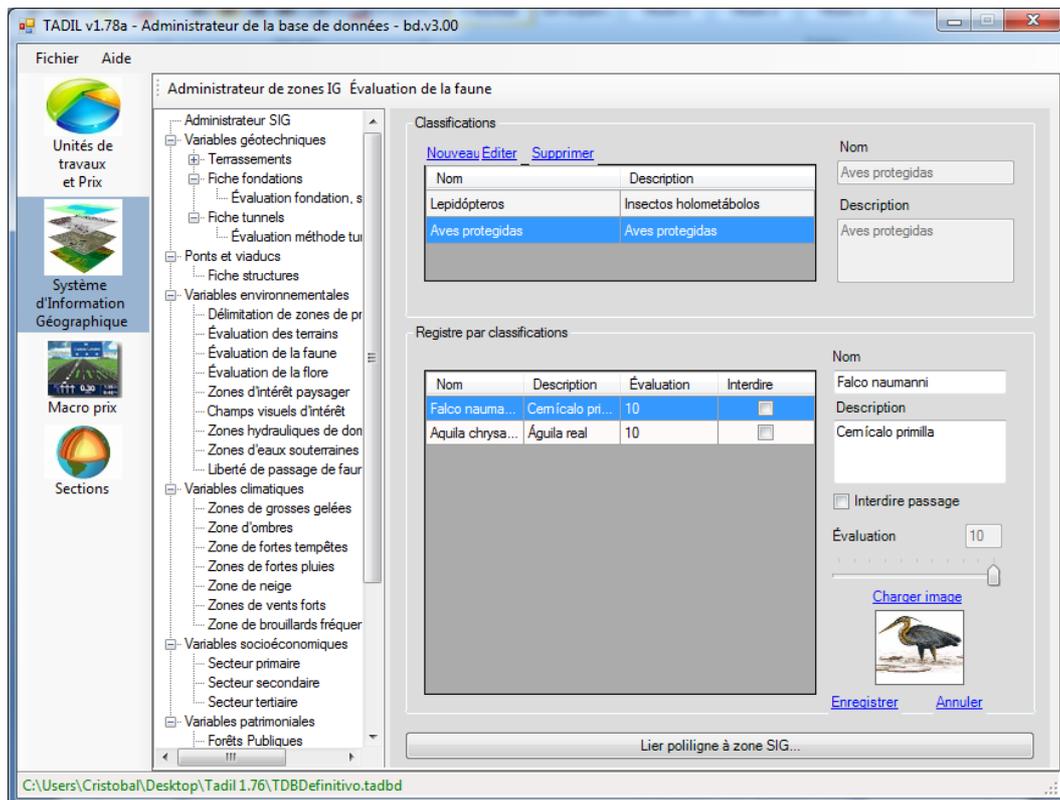


Image 2-75. Dans Éditer les zones on peut sélectionner Dessiner Polyligne ou Lier Polyligne.

## 2. Génération de plans thématiques

Les plans s'éditeront par les classifications définies dans chaque variable, (par exemple, les mammifères protégés, les invertébrés protégés, les oiseaux protégés, etc. à l'intérieur de la variable faune). Chaque classification génère une couche en cad qui pourra s'éditer pour faire des plans thématiques.

L'introduction d'images dans certaines variables permet leur représentation sur le plan thématique; cette image se représentera au centre de la zone de répartition.

A continuation, nous apportons des représentations des menus établis dans le logiciel TADIL par l'introduction des variables GIS.

Il est très important de faire remarquer ce qui suit:

Si par erreur l'usager dessine la superposition de deux zones à l'intérieur d'une variable, (par exemple, les zones géotechniques, zone 1 et zone 2), TADIL assignerait au point à l'intérieur de l'intersection l'appartenance à la zone de moindre superficie.

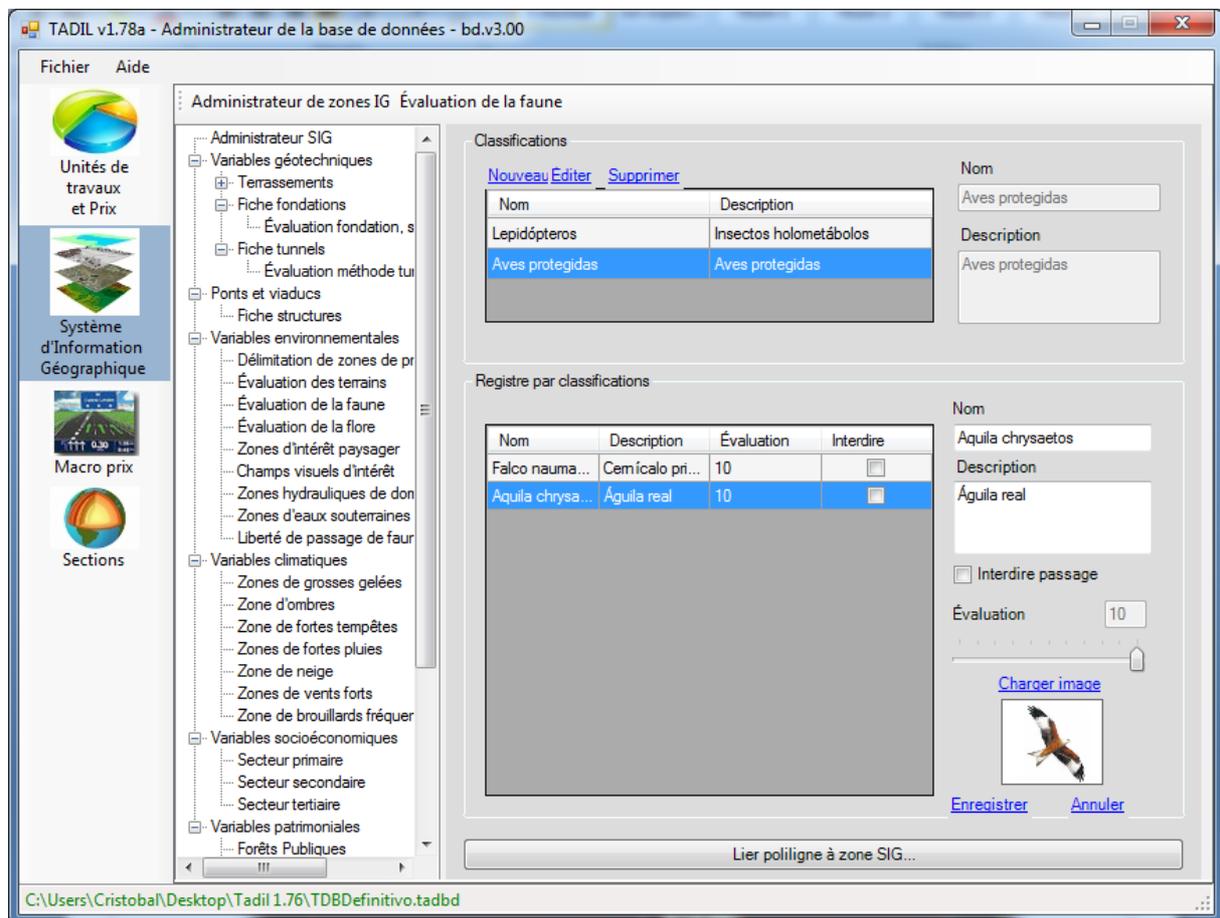


Image 2-76. Il s'établit un menu pour l'incorporation des graphiques à assigner aux variables.

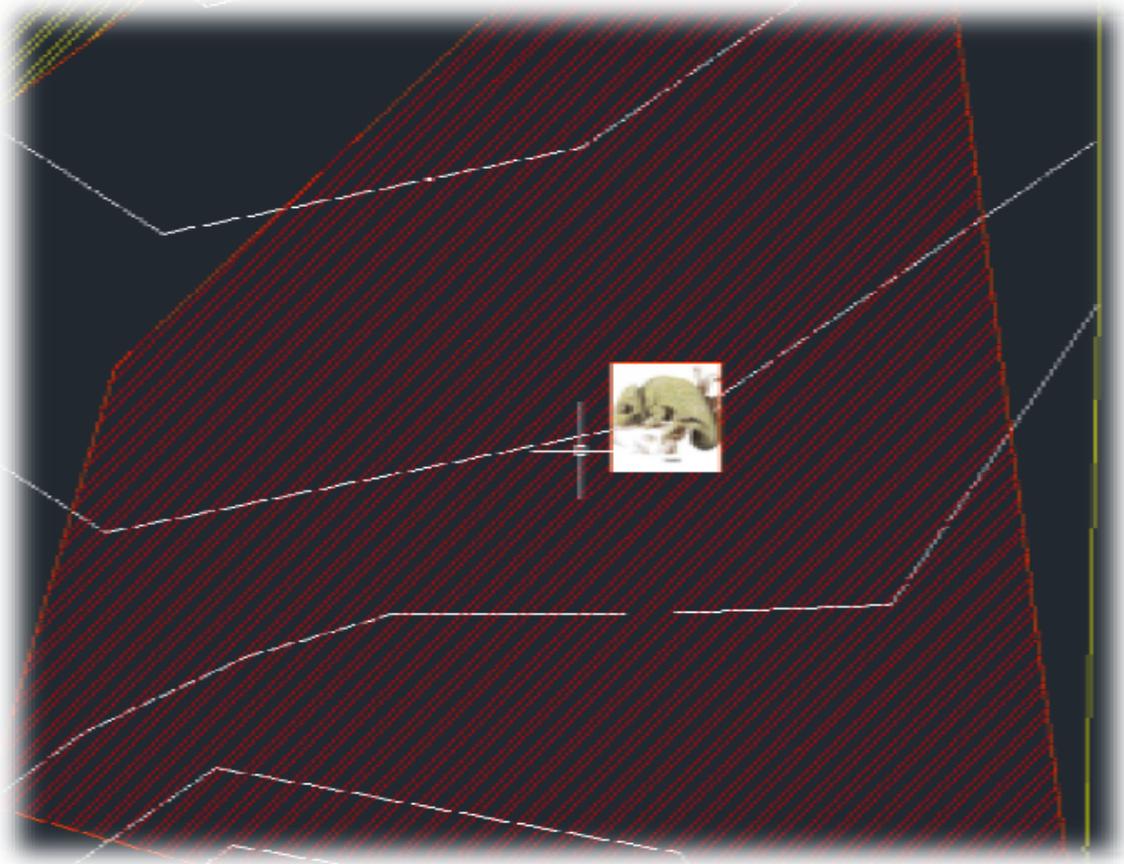


Image 2-77. Comme on peut voir l'iconographie apparaît représentée dans le polygone ou dans la zone d'application de la variable.

**LOGICIEL T.A.D.I.L.**

---

**TECHNIQUES D'AUTO-TRAÇAGE POUR LA CONCEPTION  
D'INFRASTRUCTURES LINÉAIRES.  
"TADIL."**

**GUIDE MÉTHODOLOGIQUE DE L'APPLIICATION.**

**CHAPITRE 3. LES UNITÉS DE TRAVAUX ET LES PRIX**

**AGROUPEMENT D'INTERÊT ÉCONOMIQUE PROJET T.A.D.I.L.**

LOGICIEL TADIL.  
TECHNIQUES DE L'AUTO-TRAÇAGE POUR LA CONCEPTION  
D'INFRASTRUCTURES LINÉAIRES

Guide Méthodologique de l'Application

CHAPITRE 3. LES UNITÉS DE TRAVAUX ET LES PRIX.

1<sup>o</sup> ÉDITION.

Dans ce chapitre, on décrit les unités de travaux qui s'utilisent pour la configuration du budget de chacune des alternatives prises en compte pour le chantier linéaire que l'on étudie, ainsi que pour la solution choisie.

On doit considérer que le programme permet l'obtention d'un budget au niveau de l'étude informative et non pas au niveau du projet, à cet effet il existera des unités de travaux qui se définiront selon le macro-prix. Quoiqu'il en soit, le programme permet d'aborder de manière exhaustive le mouvement des terres (défrichages, excavations, remblais, et assainissements), la mesure des murs, cunettes, et paquets de revêtements; ces mesures permettent, comme il est décrit dans les chapitres successifs, d'aborder l'équilibre des terrassements, c'est-à-dire la différence de volumes entre ce qui est fouillé et ce qui va être recyclé à partir de ces excavations pour les remblais et déblais, et par conséquent le besoin d'utiliser les matériaux d'emprunt (carrières, exploitations des terres, etc.) et les déversoirs. On considère ces données comme fondamentales pour élaborer le budget et pour déterminer la viabilité du chantier.

## LES UNITÉS DE TRAVAUX ET LES PRIX

### SOUS-CHAPITRE 0. PROCÉDÉ.

#### 0. Introduction

Dans ce chapitre, on décrit les unités de travaux qui interviennent dans la configuration du budget ainsi que l'assignation des prix de chacune d'elles.

#### 1. Méthodologie

On peut indiquer que l'introduction des unités de travaux et les prix correspondants prennent seulement leur sens quand l'utilisateur prétend élaborer une étude informative intégrale.

Si ce n'est pas le cas, et au contraire l'utilisateur prétend élaborer seulement une étude préalable, il suffira d'introduire les macros- prix considérés dans le menu d'établissement des tracés, bien que, dans ce cas, il ne pourra pas obtenir un budget pour chaque alternative, ni une évaluation comparative entre alternatives.

Dans le menu des unités de construction et les prix, on distingue deux groupes:

- Dans un premier groupe, nous avons les unités qui permettent une mesure exhaustive de la section transversale, ces unités sont:

- Défrichages
- Excavations
- Remplissages
- Matériaux de revêtement en provenance de centrale
- Fossés
- Murs

- Dans un second groupe, on trouve des unités qui s'évaluent en fonction des macro-prix; ces unités se découpent en général au niveau du projet, bien qu'au niveau d'étude informative, il suffit d'une évaluation globale de ces dernières:

- Structures (ponts et viaducs)
- Tunnels
- Drainage
- Signalisation
- Remplacement de services
- Corrections géotechniques
- Déviations provisoires
- Interventions complémentaires
- Mesures correctrices
- Sécurité et santé

Toutes les unités, avec prix ou macro-prix, incluent les ressources nécessaires de main d'œuvre, machinerie, matériaux, redevances, coûts divers et coûts indirects nécessaires pour l'exécution complète de la dite unité.

Enfin, il se doit de commenter que dans le menu des unités et des travaux on introduit aussi les évaluations du sol pour se qui est de sa capacité de production et sa valeur patrimoniale; les deux variables permettront d'estimer le coût d'expropriation d'un chantier linéaire.

## **2. Incidence sur la définition des tracés**

Comme il est indiqué dans le paragraphe antérieur, les unités et leurs prix correspondants répercutent seulement sur l'établissement automatique des alternatives, lorsque l'usager active l'option "étude informative"; dans l'étude préalable, l'usager ne pourra pas acquérir le budget des solutions de traçage obtenues.

Les algorithmes tant locaux comme généraux de mise en place de traçage évalueront les coûts de chaque point et sur la base de ces derniers, sélectionneront les meilleurs itinéraires.

## **3. Évaluation des alternatives**

Lorsque l'usager souhaite élaborer une étude informative complète, il devra compléter les unités nécessaires qu'il va utiliser pour son projet avec les prix correspondants. Cela permettra au logiciel les actions suivantes:

- a. Obtenir le budget de chaque alternative.*
- b. Obtenir le bilan des terres.*
- c. Élaborer l'étude de viabilité correspondante.*
- d. Évaluer les alternatives pour investissement, équilibre des terrassements et viabilité.*



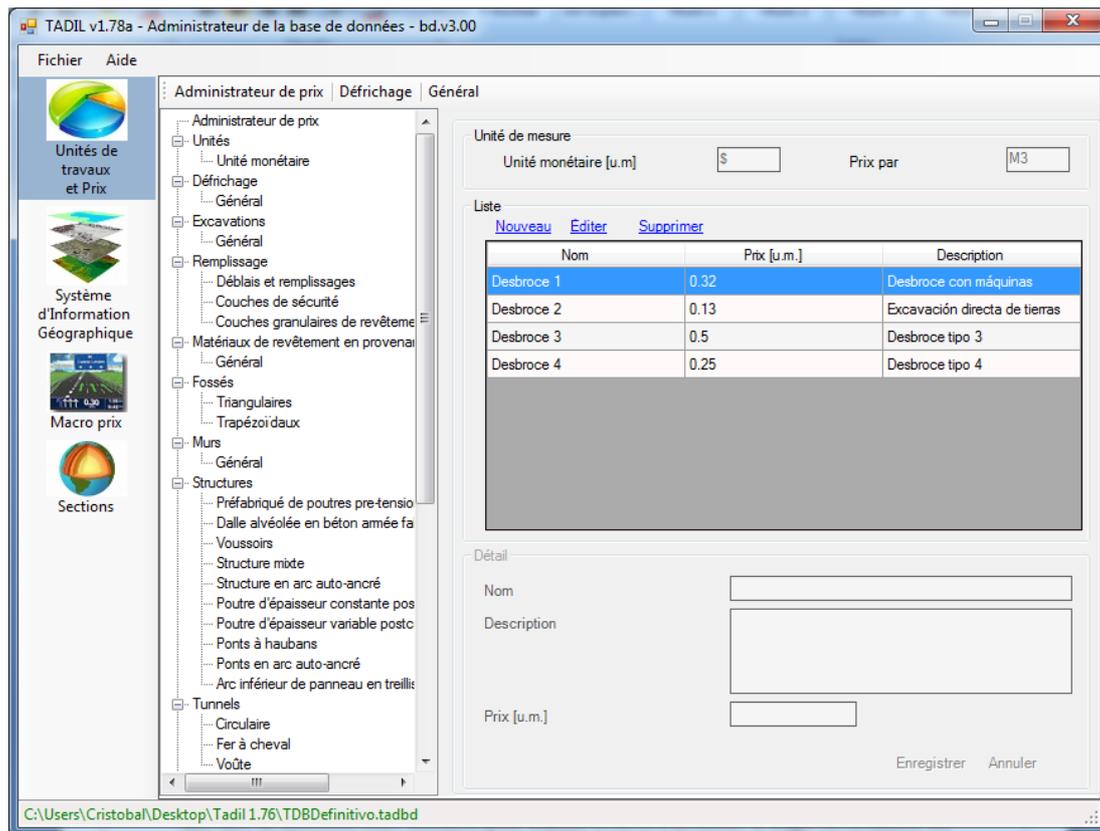


Image 3-2. Menu de défrichage.

A la différence des variables d'excavation et de déblai pour défrichage, on considère un prix unique, sans faire de différence entre utilisation pour chantier et envoi à déversoir. L'utilisateur devra calibrer les deux possibilités et apporter un prix qui soit valable tant pour l'utilisation complète sur le chantier, (restauration de talus, par exemple), comme pour le retrait complet au déversoir.

Le prix de défrichage se donne par m<sup>3</sup> et il inclut le retrait complet au déversoir ou sur le lieu d'utilisation du chantier. Il est entendu que ce prix doit inclure le défrichage que réalise normalement un bulldozer, (mesure par mètre carré), et l'excavation et transport de terre végétale, (mesure par mètre cube).

### 3. Excavations

Pour les excavations, comme il a été développé plus haut, le programme permet de différencier entre excavation pour utilisation et excavation pour déversoir.

En ce qui concerne l'excavation pour utilisation, le matériel en question s'utilisera pour compléter les couches granulaires, les couches de sécurité, les déblais ou les remblais de purge. Dans le cas de l'excavation dirigée au déversoir, le matériel est excédent ou n'a pas les caractéristiques adéquates pour son utilisation en remblais, c'est pourquoi il sera destiné au déversoir.

Il convient d'indiquer que le programme élabore le bilan des terres automatiquement en accord avec les indications données par l'utilisateur dans le menu des fiches géotechniques du Système d'Information Géographique. Pour cela, le programme prend en compte la hiérarchie des matériaux nécessaires en fonction de la séquence suivante:

*Couches granulaires à couches de sécurité à couches de déblais ou remblais de purges.*

Ainsi, si une excavation produit des graves comme couche granulaire, on comprend qu'elle pourra également être utilisée dans les couches de sécurité ou dans les couches de déblai ou pour remplissage quand il y a surplus.

Les excavations pour utilisation compléteront premièrement les couches granulaires, ensuite les couches de sécurité et enfin celles des déblais et remblais.

C'est pourquoi, il est très important que l'utilisateur étudie avec précision les groupes géotechniques qui interviennent dans la zone d'étude, et analyse les matériaux qui peuvent se produire dans les excavations. Sur la base de cette analyse, l'utilisateur doit définir une stratégie adéquate qui lui permet d'utiliser au maximum possible le matériel des excavations afin d'optimiser le chantier. Ainsi par exemple, si on sait que la plus grande partie du matériau d'excavation va être de type tolérable, et seulement une petite partie sera de sol adéquat ou de type sol sélectionné, il ne serait d'aucun sens d'exiger alors pour les couches de déblais l'option de sol adéquat car cela supposerait que la plus grande partie du matériel d'excavation sera dirigé au déversoir.

L'ingénieur devra dimensionner l'ensemble formé par le paquet de revêtement plus les couches de sécurité, plus le terrain naturel sous-jacent ou le déblai, en fonction des matériaux disponibles.

On doit se rappeler, par ailleurs, que dans l'équilibre des terrassements, le matériel d'excavation pour déversoir est affecté par le coefficient de foisonnement afin d'obtenir le volume total, tandis que le matériel que l'on utilise en déblais et remblais est affecté par le coefficient de passage en remblais.

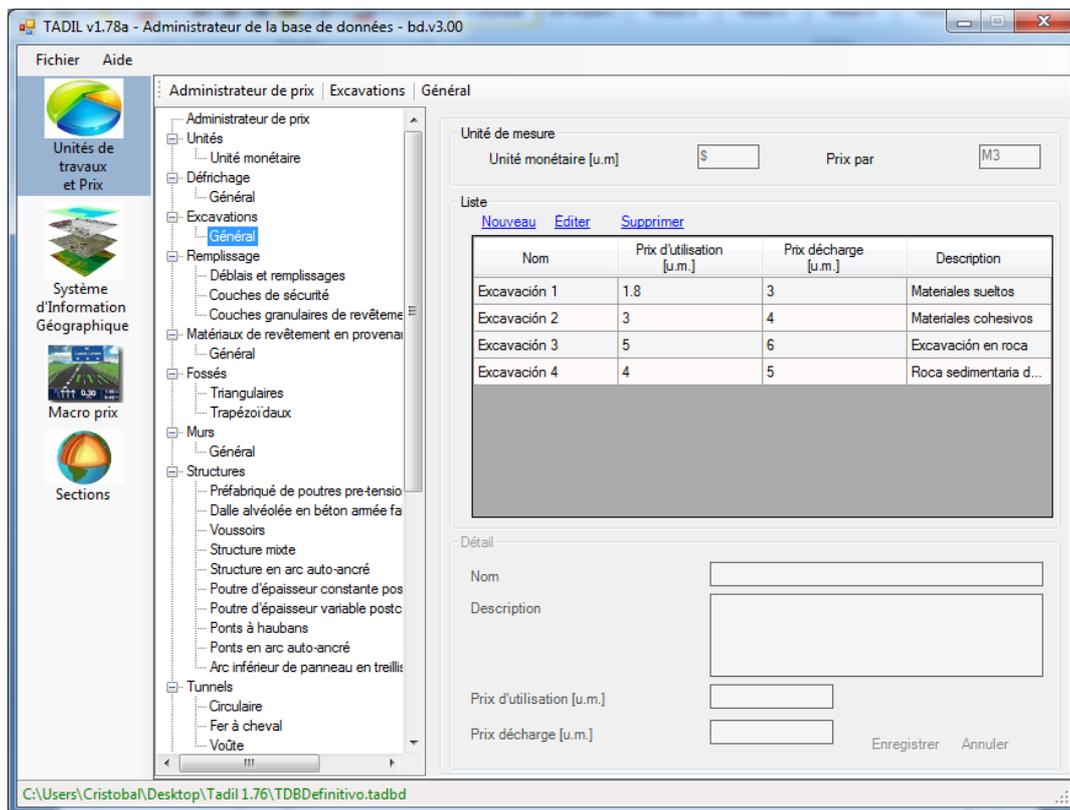


Image 3-3. Menu des excavations.

## 4. Remplissages

À l'intérieur du menu remplissages, on trouve trois sous menus: remblais et remplissages, couche de sécurité et couches granulaires de revêtement.

Pour les trois groupes antérieurs, la différence se fait aussi entre matériel d'utilisation et matériel d'emprunt. Le matériel d'utilisation, est celui que l'on utilise lors des excavations de chantier, tandis que le matériel d'emprunt provient de carrières ou d'exploitations extérieures au chantier.

Le programme élabore automatiquement le bilan des terres selon les assignations réalisées par l'utilisateur dans le menu géotechnique du système d'information géographique, et pour autant, assigne les prix correspondants aux volumes de remplissages avec le matériau provenant de chantier ou d'emprunt.

Il fait cette distinction tant pour les couches granulaires comme pour les couches de sécurité, les déblais et les remblais de purge.

Il faut souligner que souvent les matériaux provenant d'excavation et qui résultent aptes pour leur utilisation comme couches granulaires de revêtement, requiert normalement un traitement préliminaire pour leur utilisation sur chaussées, (centrale de concassage, par exemple). L'utilisateur devra différencier en fonction des différentes unités ce type de matériau à un prix correspondant aux moyens techniques et aux matériaux nécessaires.

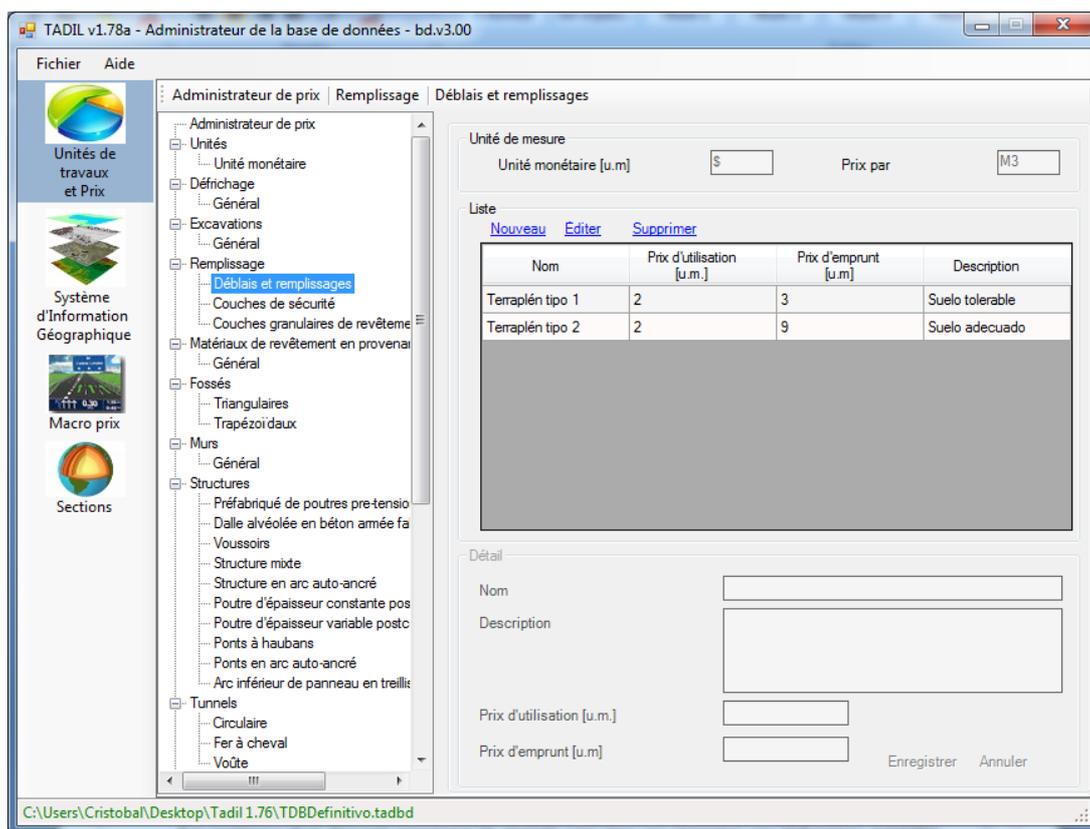


Image 3-4. Menu de remplissage.

## 5. Matériaux de la chaussée provenant de centrale

Les matériaux de la chaussée provenant de centrale sont ceux qui reçoivent une élaboration préalable dans la centrale de traitement et auxquels il est ajouté habituellement, un agglutinant, tels que, bétons, agglomérés, pavés, etc. ne sont pas inclus ici les couches granulaires, telles que, graves, macadam, graviers, sables, etc. qui devront être introduites dans le menu spécifique des couches granulaires.

Il faut ajouter ici aussi, les matériaux fabriqués à pied d'œuvre dans une centrale mobile. L'utilisateur devra calibrer correctement les coûts des matériaux composants et leur provenance, les coûts du transport depuis la centrale de fabrication ainsi que leur extension, mise en place et réalisation des travaux. Dans ce cas, il faut inclure en plus, tous les traitements de la couche, (risques d'adhérence, risques d'imprégnations, traitement siliceux superficiel pour bétons imprimés, etc.)

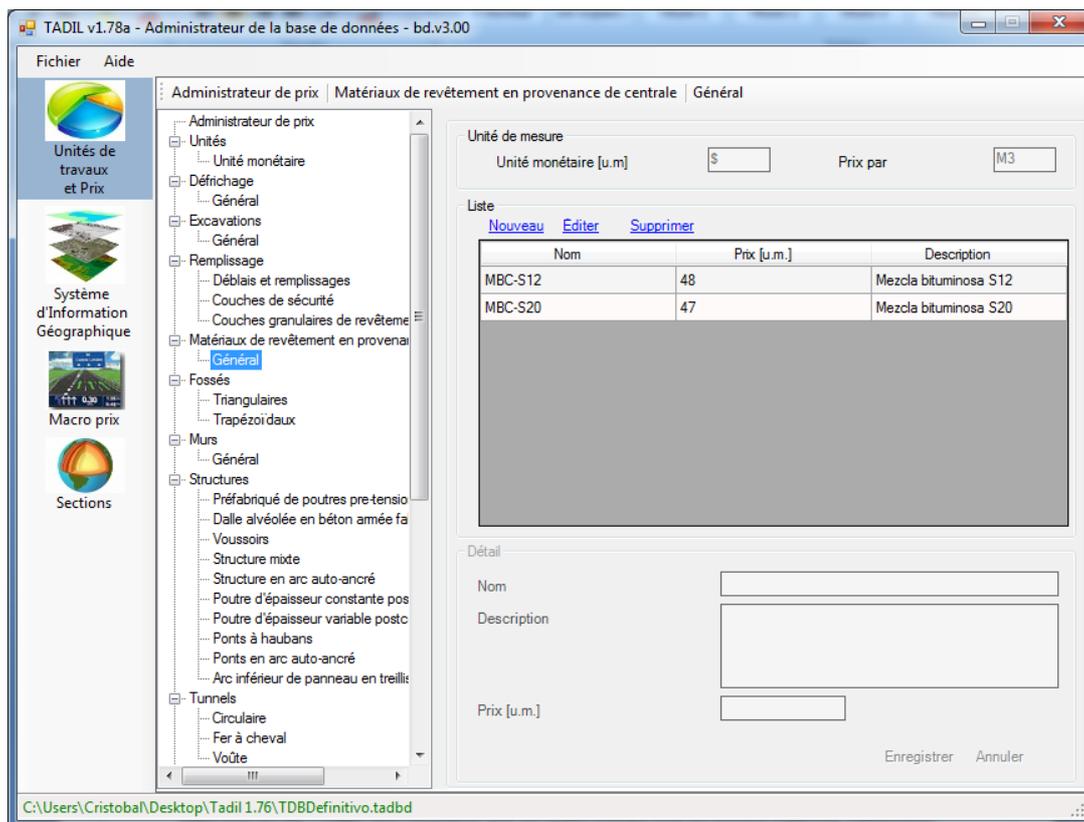


Image 3-5. Menu des chaussées provenant de centrale

## 6. Fossés

Dans ce cas, on définit les prix des fossés qui vont être utilisés dans la section type. A la différence des unités antérieures, les fossés se définissent dans la section transversale qui est unique pour tout le projet, et pour autant n'est pas une variable dépendante du système d'information géographique.

Le logiciel permet la différenciation entre les unités pour fossés triangulaires et les unités pour fossés trapézoïdales.

Dans tous les cas, l'utilisateur doit considérer que les unités incluent tous les moyens matériels, machinerie, main d'œuvre, prix auxiliaires, et coûts indirects pour l'exécution complète des travaux.

Les fossés à établir dans les médianes des sections de chaussée double, se définissent dans le présent menu ; l'utilisateur pourra choisir pour cela entre la géométrie triangulaire ou trapézoïdale.



Image 3-6. Différentes typologies de fossés et d'exécution de celles-ci.

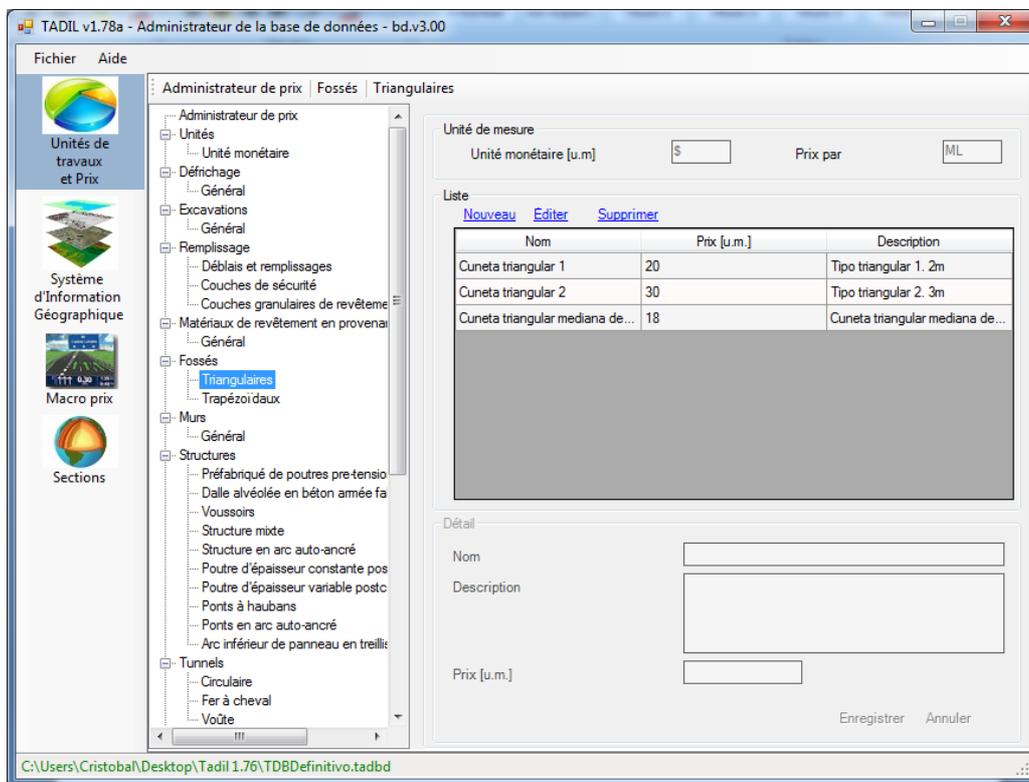


Image 3-7. Menu d'établissement de fossés.

## 7. Murs

Ces unités s'introduisent dans le Système d'information Géographique dans les fiches géotechniques, dans les sous-menus de configuration de la section en remblai et déblai.

Dans ces menus, on définit la géométrie de la section des murs qui va s'implémenter dans chaque section transversale; de la même façon, on sélectionne l'unité qui définit la typologie et le prix de ce mur.

Le logiciel permettra de choisir entre les unités établies dans le présent menu.

L'utilisateur pourra définir autant de typologies qu'il le souhaite.



Image 3-8. Différentes typologies de murs.

## LES UNITÉS DE TRAVAUX ET LES PRIX

### SOUS-CHAPITRE 2. GROUPE 2: UNITÉS DE TRAVAUX AVEC MACRO-PRIX.

#### 0. Introduction

Dans ce chapitre, on décrit les unités de travaux qui se définissent et établissent le budget avec un prix global, prix contenant toutes les unités nécessaires pour leur exécution.

Ce prix global ou macro-prix se base sur l'expérience existante du type concret de chantier qui est définit et de son cadre géographique d'exécution.

Cette évaluation globale permet une approche du coût du chantier, mais il ne peut, en aucun cas, permettre la configuration d'un budget exhaustif comme celui qui se réalise au niveau du projet. L'utilisateur ou l'ingénieur devra apporter ses connaissances et son expérience, et compter sur une importante base d'informations pour définir ces macro-prix.

Le logiciel TADIL apportera une base de données détaillée, en considérant différentes typologies de structures, tunnels et travaux linéaires en général, qui peuvent servir à l'utilisateur.

#### 1. Unités avec macro-prix

Les unités qui se définissent avec macro-prix sont les suivantes:

- Structures (ponts et viaducs)
- Tunnels
- Drainage
- Signalisation
- Remplacement de services
- Corrections géotechniques
- Déviations provisoires
- Interventions complémentaires
- Mesures correctrices
- Sécurité et santé

A leur tour, les groupes de structures et tunnels se subdivisent en différentes typologies de la manière suivante:

- Structures (viaducs):
  - Poutres préfabriquées précontraintes
  - Dalles alvéolées en béton armé
  - Voussoirs
  - Structures mixte de béton et acier
  - Structures mixte en arc auto-ancré
  - Poutres d'épaisseur constante précontrainte in situ

- Poutres d'épaisseur variable précontrainte in situ
- Ponts à haubans avec pylône central
- Ponts en arc auto-ancré supérieur
- Panneaux de treillis verticaux de l'arc inférieur à transmission d'efforts

- **Tunnels:**

- Tunnels de géométrie circulaire.
- Tunnels en fer à cheval.
- Tunnels en voûte.

On va analyser, à continuation, chacune des unités antérieures.

### 3. Structures

On considère dans ce paragraphe, les typologies définies précédemment. Dans chaque typologie l'utilisateur pourra créer autant de sous types comme il le souhaite. L'évaluation de l'unité se fait par mètre carré et le coût correspond au budget d'exécution de matériel. Par exemple:

**Nom:** Poutres préfabriquées TYPE 1.

**Prix:** 800 € / m<sup>2</sup>

**Description:** Viaduc de poutres préfabriquées avec lumière maximum de 30m et hauteur maximum de pilier de 25m.

Il faut remarquer que dans chaque cas, l'utilisateur doit tenir en compte les caractéristiques du viaduc qui vont permettre la configuration dans le Système d'information Géographique; ainsi par exemple, si la orographie est très complexe et l'utilisateur décide de permettre une hauteur de tablier de jusqu'à 60 mètre, le coût pour la même typologie de viaduc ne sera pas comparable lorsque les piliers sont limités, par exemple à 25 m. C'est pourquoi, la définition des prix doit avoir un rapport logique avec les besoins de conception qu'imposent les caractéristiques géomorphologiques du territoire qui est étudié.

Comme on a vu dans le Menu du Système d'Information Géographique, le logiciel permet d'importer la section type de la structure à représenter avec l'ensemble des sections transversales.

À continuation on va voir un résumé des caractéristiques de chaque typologie:

- *Poutres préfabriquées pré-contraintes*

On considère les viaducs avec des poutres préfabriquées pré-contraintes en I et en pétrin, ceux dont les poutres procèdent de centrale de préfabrication et se montent sur des supports, (par exemple de frettage de néoprène), sur le chantier. Sur ces poutres se construit le tablier.



Image 3-9. Différentes typologies de ponts préfabriqués avec poutres de pètrin o sur I

- *Dalles alvéolées en béton armé*

Dans ce cas, on considère les tabliers de béton exécutés in situ avec l'inclusion d'allègements longitudinaux dans la section avec armature passive. Il faut souligner que l'absence d'armature précontrainte limite en général la longueur maximum des travées.



Image 3-10. Exemple de pont en dalle exécuté avec des allègements circulaires.

- *Voussoirs*

Dans ce cas, le tablier se configure par l'union des sections préfabriquées de béton qui postérieurement se renforcent sur le chantier par l'action de câbles en post tension.



Image 3-11. Exemple. Exemple de pont en dalle exécuté avec des allègements circulaires

- *Structure mixte de béton et acier*

On considère les structures où le tablier de béton s'appuie sur une structure d'acier constituée par des poutres longitudinales, caisson ou treillis métallique qui à leur tour s'appuient sur des piliers. Dans le cas de treillis, la structure métallique possède, normalement, des configurations traditionnelles (comme par exemple la poutre de Watt), qui, autrefois, ont eu un emploi important dans les infrastructures des chemins de fer, aujourd'hui, leur utilisation reste limitée aux routes avec ponts à haubans et implantation au moyen de techniques de poussée à partir d'un contrefort.



Image 3-12. Solutions de structures mixtes avec poutres métalliques, treillis et caisson.

- *Structure mixte avec arc supérieur d'acier*

À la différence de la typologie antérieure, dans ce cas, la structure métallique se dispose en atteignant une hauteur supérieure à celle du tablier du pont d'où elle reçoit les poids permanents et d'utilisation, au moyen de poutres et entretoises qui sont en connexion avec celui-ci. Le profil longitudinal de la structure métallique correspond généralement à la géométrie de l'arc en s'appuyant sur les piliers qui le délimitent.



Image 3-13. Différentes solutions de structures mixtes avec arc supérieur.

- *Poutre d'épaisseur variable précontrainte in situ.*

À la différence des ponts de dalles alvéolées en béton armé, les ponts aux poutres d'épaisseur constante précontraintes in situ incluent l'armature active avec une section d'allègements longitudinaux ou type caisson.



Image 3-14. Pont avec poutres d'épaisseur constante précontraintes in situ.

- *Poutre d'épaisseur variable précontrainte sur place*

À la différence de la typologie antérieure, dans ce cas le profil inférieur de l'angle du tablier est en général de forme parabolique, circulaire, ou peut comprendre trois volés dans chaque travée, avec celui du centre de l'angle constant.

Comme dans le cas précédent, l'exécution du pont peut se réaliser par des méthodes très différentes en fonction des conditions d'accès et de viabilité technique, (cintre, construction cantilever à partir du pilier, etc.)



Image 3-15. Pont avec poutre d'épaisseur variable précontrainte in situ.

- *Ponts à haubans avec pylône central*

Quand il s'agit de ponts à haubans, pour lesquels le concept de structure change radicalement par rapport aux précédents, car il existe un pylône central sur lequel repose les efforts du tablier du pont à travers des tirants.

Cette typologie permet d'atteindre de plus grandes lumières bien que le coût du chantier est généralement supérieur. Son utilisation est plutôt orientée au passage de grandes vallées et d'importants cours d'eau.

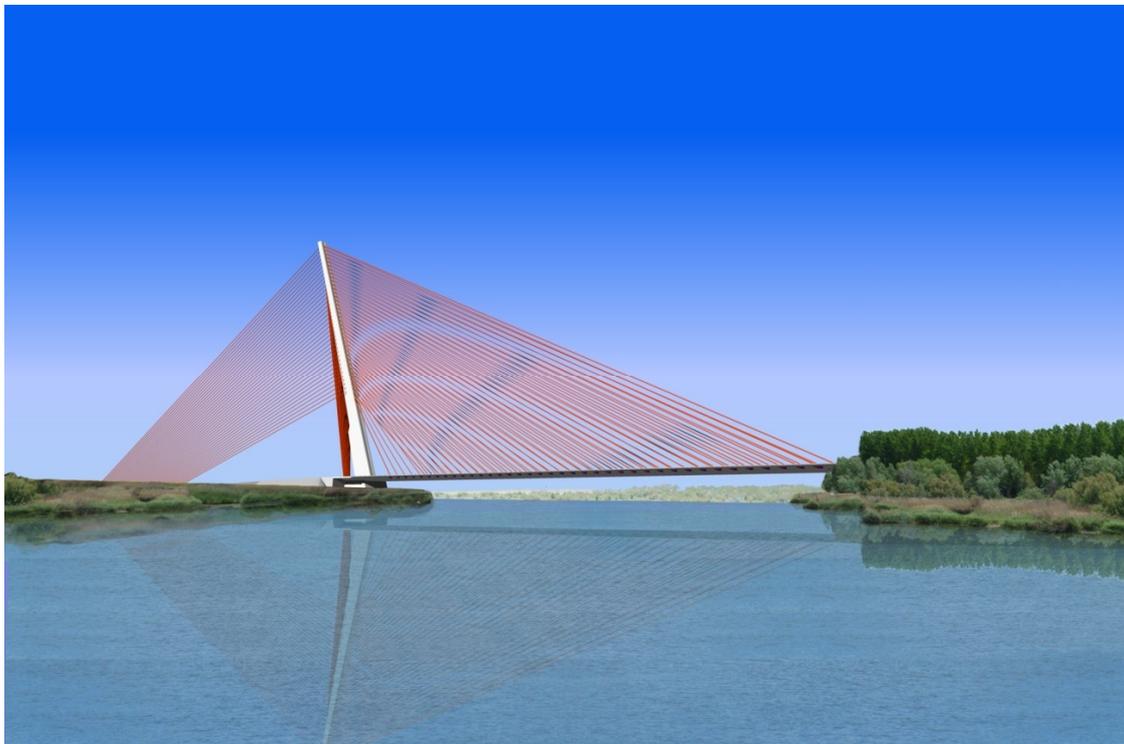


Image 3-16. Ponts à haubans avec un pylône central.

- *Pont en arc auto ancré supérieur*

A la différence de la typologie antérieure dans ce cas il s'agit d'un arc supérieur qui reçoit le poids du tablier du pont à travers des tirants.

Avec cette typologie, on a atteint des lumières supérieures à 120m.



Image 3-17. Ponts en arc auto-ancré.

- *Arc inférieur de panneau en treillis verticaux de transmission d'efforts*

Finalement, on a inclut la typologie traditionnelle de structure en arc inférieur de tablier, en recevant au moyen de montants ou « couteaux » verticaux les efforts du tablier du pont.

La structure pourra être métallique, mixte ou de béton.



Image 3-18. Pont en arc métallique.

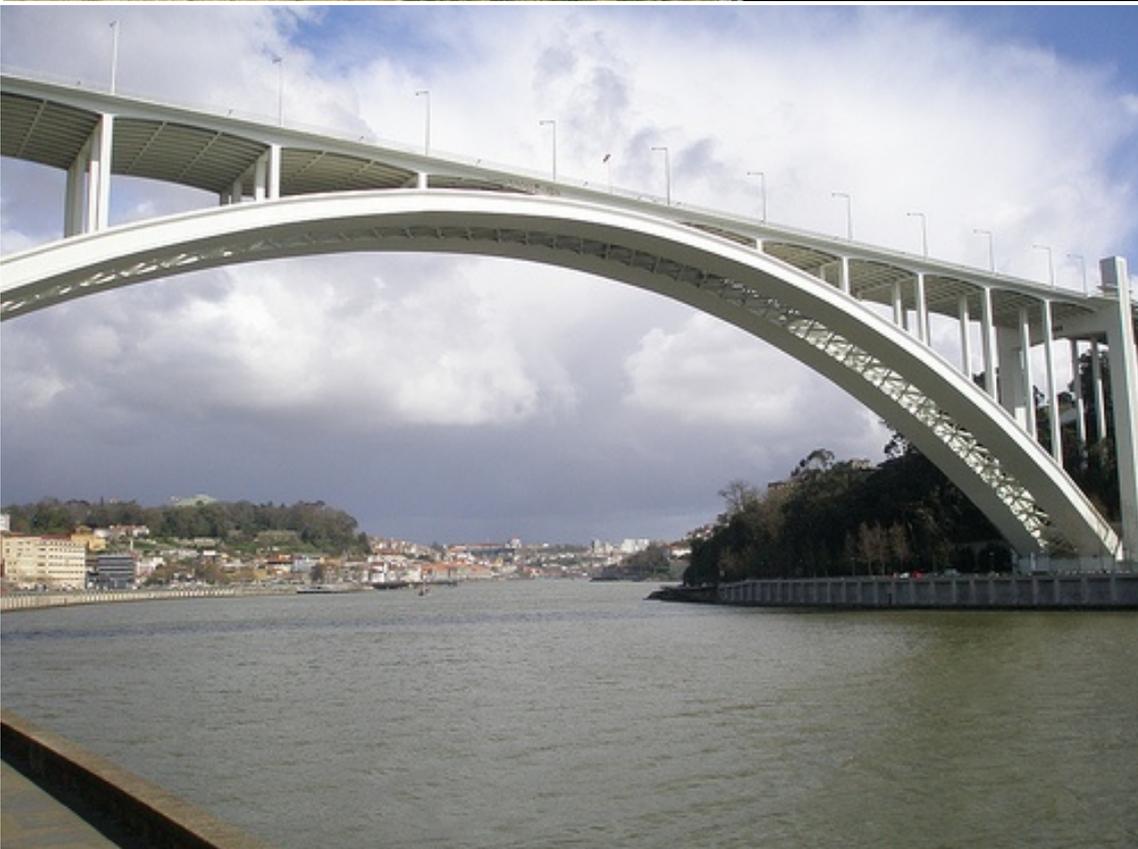


Image 3-19. Ponts en arc; image supérieure avec un arc métallique inférieur et béton.

#### 4. Tunnels

Comme il a été dit antérieurement, le logiciel structure les typologies de tunnels en trois types selon la géométrie: circulaire, en fer à cheval et en voûte.

Dans le menu du système d'information géographique, le logiciel permet aussi de définir la typologie nécessaire, comme les actions à réaliser sur le terrain, et permet, en fonction de la valeur du RMR, de proposer une solution de soutènement. En outre, l'utilisateur peut définir le revêtement qu'il souhaite, ou opter pour l'option de voûtes pour la géométrie circulaire.

L'utilisateur devra donc tenir en compte les caractéristiques géotechniques du territoire ainsi que les procédés de construction, étant donné que la différence du coût peut être considérable en fonction de la solution qui est prévue.

Le macro-prix se définit par km de tunnel en incluant tous les moyens matériaux, machinerie, main d'oeuvre, prix auxiliaires, et coûts indirects nécessaires pour l'exécution du tunnel



Image 3-20. Tunnel circulaire en voûtes et parc de fabrication des voûtes.



Image 3-21. Différentes images de tunnels avec géométrie de voûte.



Image 3-22. Différentes images de tunnels avec géométrie en fer à cheval.

## 5. Macro-prix qui ne sont pas rattachés au système d'Information Géographique

Dans cette section on considère ratios conventionnels de coûts des chapitres du budget complets de travaux pour unité de longueur de l'infrastructure ou comme pourcentage en fonction du budget d'exécution matérielle du chantier.

L'usager devra considérer les caractéristiques de l'infrastructure comme du territoire au moment d'attribuer de tels ratios.

Les ratios s'appliqueront de la même manière à toutes les alternatives considérées dans l'étude informative, quand elles seront activées dans le menu budget. Par conséquent, ces prix sont indépendants du système d'information géographique, en tendu qu'au moment de les créer l'usager devra considérer l'adéquation à l'environnement et au type de chantier.

Les chapitres du budget auxquels on assignera les macro-prix sont:

- Drainage
- Signalisation
- Remplacement de services
- Corrections géotechniques
- Déviations provisoires
- Interventions complémentaires
- Mesures correctrices
- Sécurité et santé

Ensuite on va commenter brièvement chacun des chapitres antérieurs.

**Drainage:** on inclue ici tout l'investissement nécessaire dans le chantier linéaire, pour les drainages transversaux, drainage longitudinal, (fossés non compris), drainage de fond et canalisations qui seront nécessaires. La pluviométrie du lieu, la fréquence des rigoles, et du débit de ces derniers doivent orienter l'usager sur le ratio du coût à considérer pour l'étude informative.



Image 3-23. Différentes images de travaux de drainage transversal.

**Signalisation:** ce macro-prix comprendra tant la signalisation horizontale comme la verticale, ainsi que les panneaux de signalisation et les bornes de limitation. L'utilisateur considèrera un plus grand coût de cette unité quand les croisements d'infrastructures seront fréquents.



Image 3-24. Différentes images de panneaux de travaux.



Image 3-25. Différentes images de signalisation horizontale et verticale.

**Remplacement de services:** on inclura tous les services concernés par l'infrastructure, que ce soit risques, électricité, téléphonie, gaz, conduites d'eau, etc. L'utilisateur devra pondérer cette variable en fonction de la densité des services existants dans la zone.



Image 3-26. Différentes images de Remplacement provisoire de services sur chantier.

**Corrections géotechniques:** il est inclut ici tous les travaux additionnels de stabilisation qui sont prévisibles durant le chantier et qui ne peuvent pas être évalués par les unités définitives de la section transversale, que ce soit rip raps, murs écologiques, ensemencements hydrauliques, consolidation par vibration du terrain, etc.

L'utilisateur prendra en compte la géotechnique du territoire pour évaluer la plus ou moins grande intensité de cette unité.



Image 3-27. Détail de la correction géotechnique en talus.

**Déviations provisionnelles:** la valeur de ce macro-prix sera en fonction de l'intensité des infrastructures linéaires à traverser ou du degré de coïncidence avec les infrastructures existantes.

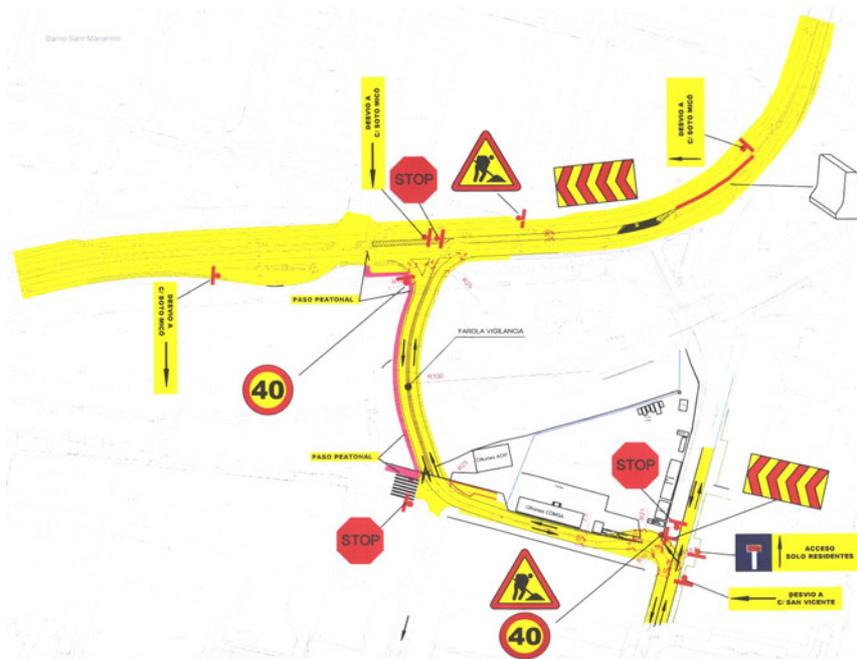


Image 3-28. Détail de la déviation de travaux.

**Interventions complémentaires:** dans ce groupe seront inclus tous les travaux relatifs aux chemins de service parallèles à l'infrastructure ou à l'environnement du chantier; l'utilisateur prendra en compte la nécessité de prévoir des chemins de service ; ainsi un chantier situé dans un environnement agricole, sera différent d'un chantier situé dans une zone forestière. Dans ce groupe seront comprises des unités qui ne sont pas considérées dans les chapitres antérieurs.



Image 3-29. Images des infrastructures avec des chemins de services.

**Mesures correctrices:** dans ce chapitre l'utilisateur inclura toutes les interventions en relation à l'utilisation de la terre végétale dans les talus et sa maintenance durant le chantier, jalonnement en stock, greffe d'espèces arborées, arrosage anti-poussière en chantier, prospections archéologiques préalables, un réservoir pour la réception des huiles de la machinerie, adéquation des travaux de drainage pour le passage de faune, revêtement en bois de glissière de sécurité, mobilier urbain dans les zones de repos et aires d'attente, etc. L'utilisateur évaluera le besoin d'inclure ces interventions et jusqu'à quel point il doit intervenir.

Il est capital de tenir compte qu'à l'intérieur de cette unité on doit considérer les passages de faune en dénivellement. Quand l'utilisateur a introduit dans le système d'Information géographique les zones où l'administration compétente exige l'implantation des passages en dénivellement, il devra pondérer correctement la possible incidence économique dans le budget du chantier ; on doit considérer que les passages de faune, normalement se matérialiseront par de faux tunnels dont les longueurs doivent être, en général, supérieures à cinquante mètres.



Image 3-30. Image de passage de faune.

**Sécurité et santé du travail:** cette variable se comprend comme un pourcentage par rapport au budget d'exécution matérielle du chantier. L'utilisateur doit considérer qu'à un plus grand nombre d'infrastructures et de tunnels, un plus grand pourcentage sera à considérer en fonction de l'ensemble des travaux.



Image 3-31. Signalisation de la sécurité et la santé du travail.

LES UNITÉS DE TRAVAUX ET LES PRIX

SOUS-CHAPITRE 3. LES UNITÉS POUR L'ÉVALUATION DES EXPROPRIATIONS.

**0. Introduction**

Dans ce chapitre, on décrit les unités qui permettent l'évaluation des expropriations que requiert le chantier linéaire.

L'occupation du terrain viendra définie par la superficie du chantier, (bord de déblai ou remblai), plus la marge établie, de chaque côté, par l'administration. Dans le menu budget, on définira cette distance.

Quand l'usager prévoit le besoin de construire des chemins de service, il devra augmenter la l'importance antérieure.

**1. Evaluation de la production**

L'expropriation d'un terrain productif qu'il soit agricole, industriel ou de services, suppose une rupture des ratios économiques de la production de l'entité qui l'exploite. Ce fait qui, en général, n'est pas pris en compte dans la majorité des travaux, a une incidence plus ou moins grande selon que l'exploitation soit plus ou moins rentable.

L'usager devra considérer la norme locale et la forme d'évaluer la perte économique qui se crée et les indemnisations correspondantes. Pour cela, il devra prendre en compte la carte de l'utilisation des sols introduits dans le système d'information géographiques.

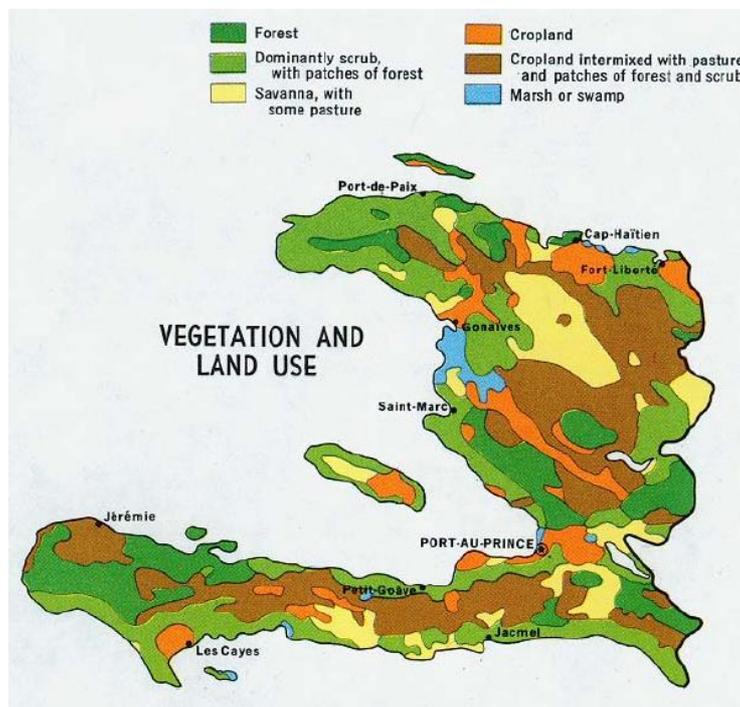


Image 3-32. Exemple de cartes géographiques des usages.

## 2. Évaluation du sol

Dans ce cas, l'utilisateur doit considérer la valeur patrimoniale du sol, selon qu'il s'agisse de sol non constructible, constructible ou urbain et dans chaque groupe, selon leur catégorie.

La somme de l'évaluation de la production du sol et l'évaluation patrimoniale permettra d'obtenir la valeur de l'expropriation



Image 3-33. Terrain non irrigué versus terres irrigables.

# **LOGICIEL T.A.D.I.L.**

---

**TECHNIQUES D'AUTO-TRAÇAGE POUR LA CONCEPTION  
D'INFRASTRUCTURES LINÉAIRES.  
"TADIL."**

**GUIDE MÉTHODOLOGIQUE DE L'APPLICATION.**

**CHAPITRE 4. SECTIONS TYPES**

LOGICIEL TADIL  
TECHNIQUES DE L'AUTO-TRAÇAGE POUR LA CONCEPTION  
D'INFRASTRUCTURES LINÉAIRES

Guide Méthodologique d'Application

CHAPITRE 4. SECTIONS TYPES.  
EDITION 1.

Dans ce chapitre, on décrit les différentes les Sections types qui peuvent s'implémenter avec le logiciel TADIL pour les routes.

La définition de section type comprend les éléments qui définissent la géométrie de l'infrastructure en superficie, qui sont essentiellement les largeurs et les pentes transversales, ainsi que la typologie de fossé longitudinal. L'utilisateur pourra choisir entre section simple ou double, et dans les doubles, entre section type de voie express ou autoroute et section de voie express sans terre-plein central. Il faut tenir en compte que la définition des sections a pour objet d'habiliter le développement des études informatives, ce pourquoi il existe des limitations dans la définition de certains éléments de la section ; dans tous les cas, à effet d'évaluation des alternatives et analyses au niveau des études informatives, le détail de la section transversale est considéré comme suffisant.

## SECTIONS TYPES

### SOUS-CHAPITRE 0. PROCÉDÉS.

#### **0. Introduction**

Dans ce chapitre, on décrit le procédé pour définir les différentes solutions de Sections types qui sont habilitées pour le développement des études informatives.

#### **1. Méthodologie**

La méthodologie passe par le procédé suivant:

- a. Définition des fossés incluant les menus tant pour les fossés triangulaires comme pour les fossés trapézoïdaux.
- b. Définition des sections types incluant les fossés définis précédemment.

Le programme permet de garder les fossés avec un nom et postérieurement les introduire dans la section transversale en la sélectionnant.

Quand l'utilisateur n'aura pas élaboré de fossé le programme créera les sections transversales sans aucun fossé.

Il doit être indiqué que les autres éléments comme les murs ou les bermes sont comprises dans les talus latéraux de déblai à partir du fossé signalé.

SECTION TYPE

SOUS CHAPITRE 1. DÉFINITION DES FOSSÉS

**0. Typologie des fossés envisagée pour le logiciel TADIL**

Le programme permet d'introduire des fossés triangulaires et des fossés trapézoïdaux. Pour la définition de chaque typologie on propose deux menus, où les données géométriques sont introduites, leur nom et leur description, les matériaux et l'assignation des unités de budget se feront dans le menu de chaque section type habilitée et non dans le menu des fossés. La raison repose sur la possibilité de définir les fossés à géométrie identique mais composés de matériaux différents et par conséquent à prix différents.

**1. Fossés triangulaires**

Le fossé triangulaire se définit par la largeur supérieure, la profondeur au centre et l'épaisseur du matériel. Le menu permet une description du fossé et assigner un nom. Le nom permettra l'identification postérieure et l'inclusion du fossé dans les sections.

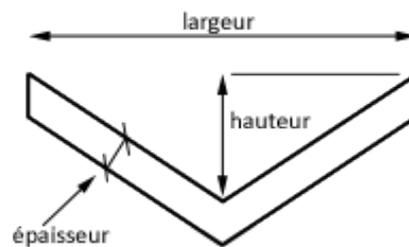


Image 4-1. Géométrie de fossé triangulaire

**2. Fossés trapézoïdaux**

Le fossé trapézoïdal se définit par la largeur supérieure, largeur inférieure, la hauteur et l'épaisseur du matériel. Comme dans le cas précédent, le menu permet une description du fossé et assigner un nom, pour l'importation postérieure du fossé dans les sections.

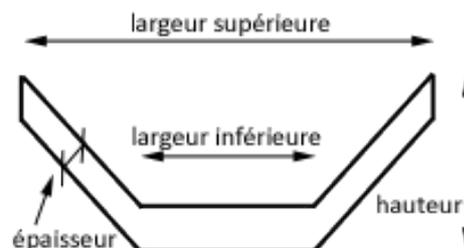


Image 4-2. Géométrie du fossé Trapézoïdal

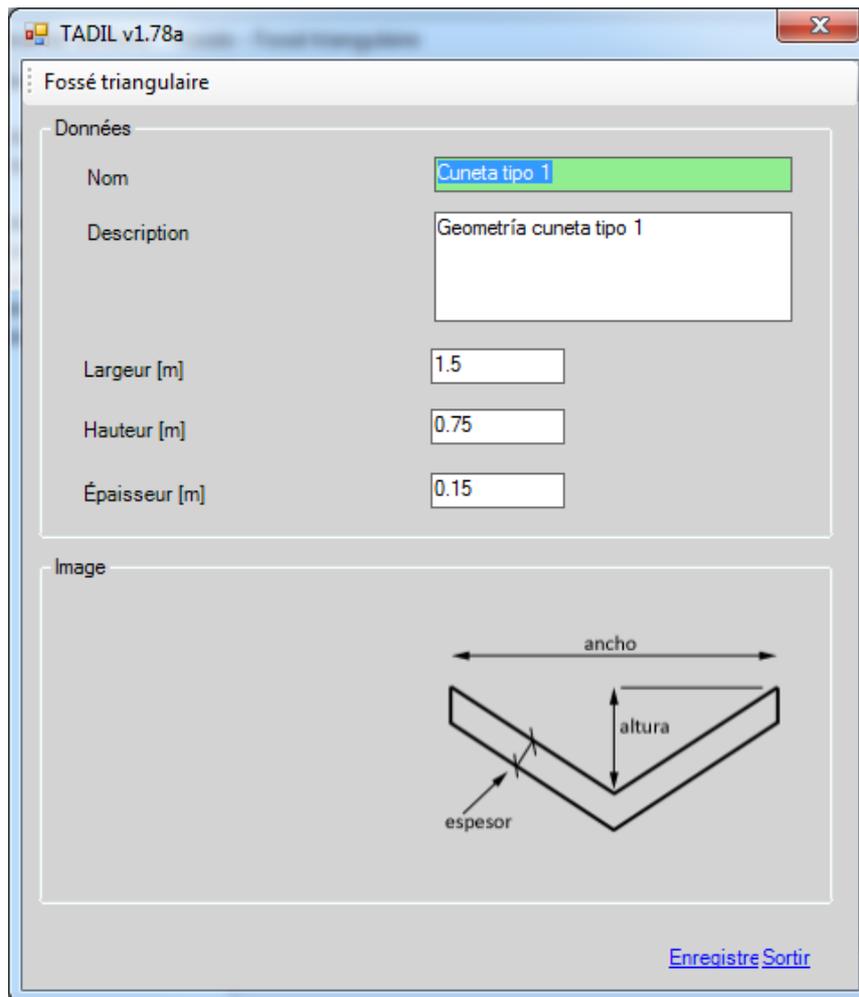


Image 4-3. Menus des fossés triangulaires et trapézoïdaux

## SECTIONS TYPES

### SOUS CHAPITRE 2. DÉFINITION DE SECTIONS TYPES

#### 0. Typologies des Sections types

Les menus qui sont inclus permettent la définition des types de routes suivantes:

- Section simple.
- Section double:
  - Avec terre plein central
  - Sans terre plein central

#### 1. Définition de section type simple

Les données qui définissent la section simple sont:

- Nom de la section et description.
- Type de fossé, (triangulaire ou trapézoïdal).
- Matériel du fossé, (unité de travaux qui est assignée pour configurer le budget).
- position, (sur chaussée ou sur berme) Sur chaussée, cela indique que le fossé se situe à un niveau inférieur de la chaussée sous le terrain de fondation. Sur berme indique que le fossé commence au bord de la berme.
- Géométrie de la section:
  - largeur de la voie (en mètres).
  - numéro de voies avec marge à gauche (unités).
  - numéro de voies avec marge à droite (unités).
  - largeur de la bande d'arrêt d'urgence (en mètres).
  - largeur de la berme (en mètres).
  - pente de la berme en crête.
  - talus de la chaussée, (par rapport à l'horizontal); il faut souligner que, pour simplifier, le programme assigne ce talus à toutes les couches intérieures de revêtement pour chaussée et pour la bande d'arrêt d'urgence et aussi aux talus extérieur de la berme.
  - prolongation du revêtement de la chaussée sur l'la bande d'arrêt d'urgence.

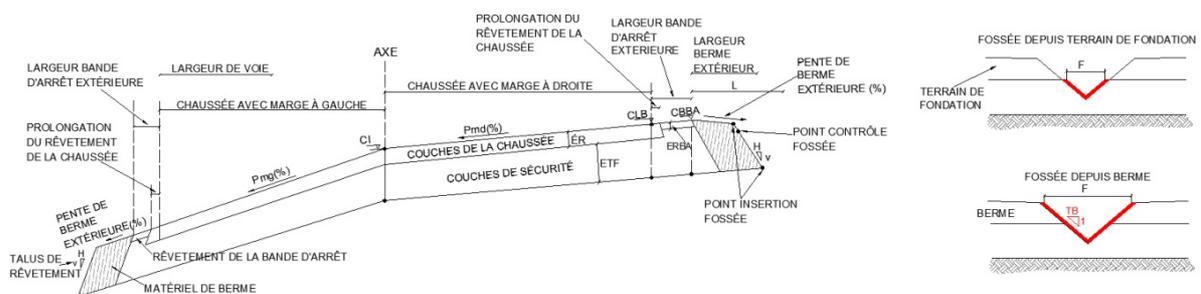


Image 4-4. Section type simple (surhaussements transversaux en escalades)

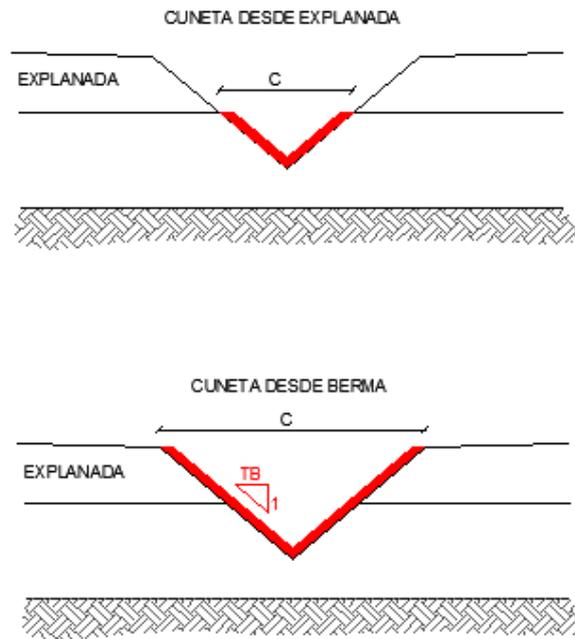


Image 4-5. Emplacements possibles de fossé.

The image shows a software window titled 'TADIL v1.78a' with a subtitle 'Chaussée unique - Type général'. The window is divided into two main panels: 'Données' and 'Géométrie'.  
 In the 'Données' panel:  
 - 'Nom' is a text box containing 'Sección tipo 1'.  
 - 'Description' is a text box containing 'Calzada única vía rápida 80 km/h'.  
 In the 'Données fossé' panel:  
 - 'Type' is a dropdown menu set to 'Fossé triangulaire'.  
 - 'Géométrie' is a dropdown menu set to 'Cuneta tipo 1', with a sub-dropdown set to 'Cuneta triangular 1'.  
 - 'Position fossé' is a dropdown menu set to 'Sur berme'.  
 In the 'Géométrie' panel:  
 - 'Largeur de voie [m]' is a text box with '3.5'.  
 - 'Voies avec marge à gauche [unités]' is an empty text box.  
 - 'Voies avec marge à droite [unités]' is a text box with '1'.  
 - 'Prolongation du revêtement de la chaussée si' is a checkbox that is checked.  
 - 'Largeur de bande d'arrêt extérieure [m]' is an empty text box.  
 - 'Largeur de berme extérieure [m]' is a text box with '1'.  
 - 'Pente de berme extérieure [%]' is a text box with '2'.  
 - 'Talus de la chaussée [Th: 1v]' is a text box with '2'.  
 - 'Bombement [%]' is a text box with '2'.  
 At the bottom left is a button 'Voir Section...'. At the bottom right is a button 'Enregistre Sortir'.

Image 4-6. Menu pour l'introduction des données dans la section simple.

## 2. Définition de section type double

### 2.1. SECTION D'AUTOROUTE OU VOIE EXPRESS

Pour définir la section double de voie express, ou autoroute, les données additionnelles suivantes sont requises:

- En plus du fossé extérieur, on ajoute la définition du fossé intérieur, au moyen de la définition de la typologie, la géométrie et l'unité de travaux qui lui est attribué. Dans la section transversale le fossé s'introduit au final de la berme intérieure.

- Les données additionnelles de la géométrie de la section de voie express par rapport à la section simple sont:

- La largeur du terre plein central, (exprimé en mètres), qui inclue le fossé et les voies de berme intérieures de chaque côté du fossé de terre plein central.
- La largeur de la bande d'arrêt d'urgence intérieure, (en mètres).

L'axe se matérialise par l'axe du fossé et l'inclinaison au point de rencontre de la bande d'arrêt d'urgence avec le terre plein central. Cet aspect est très important quand il s'agit de définir les conditions lors des intersections tant au point de départ comme au point d'arrivée. La géométrie de la section se définit par l'image suivante:

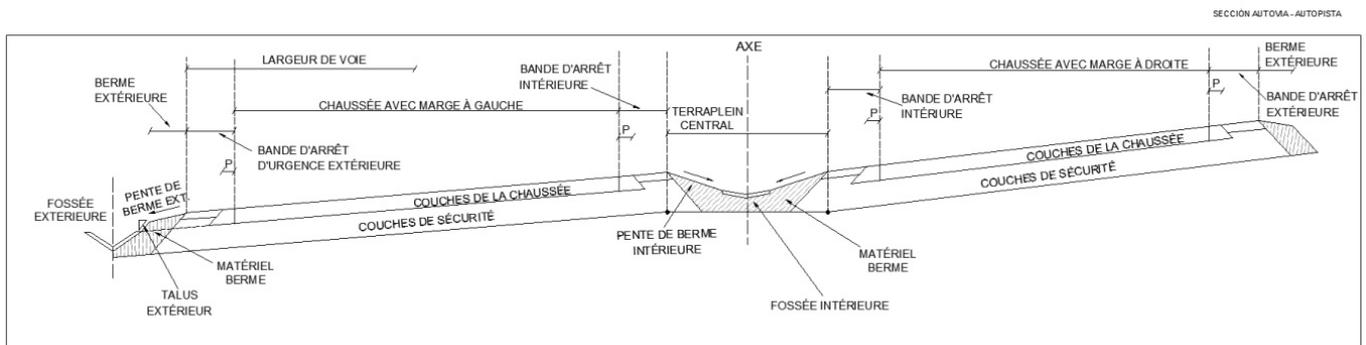


Image 4-7. Section pour voies express et autoroutes.

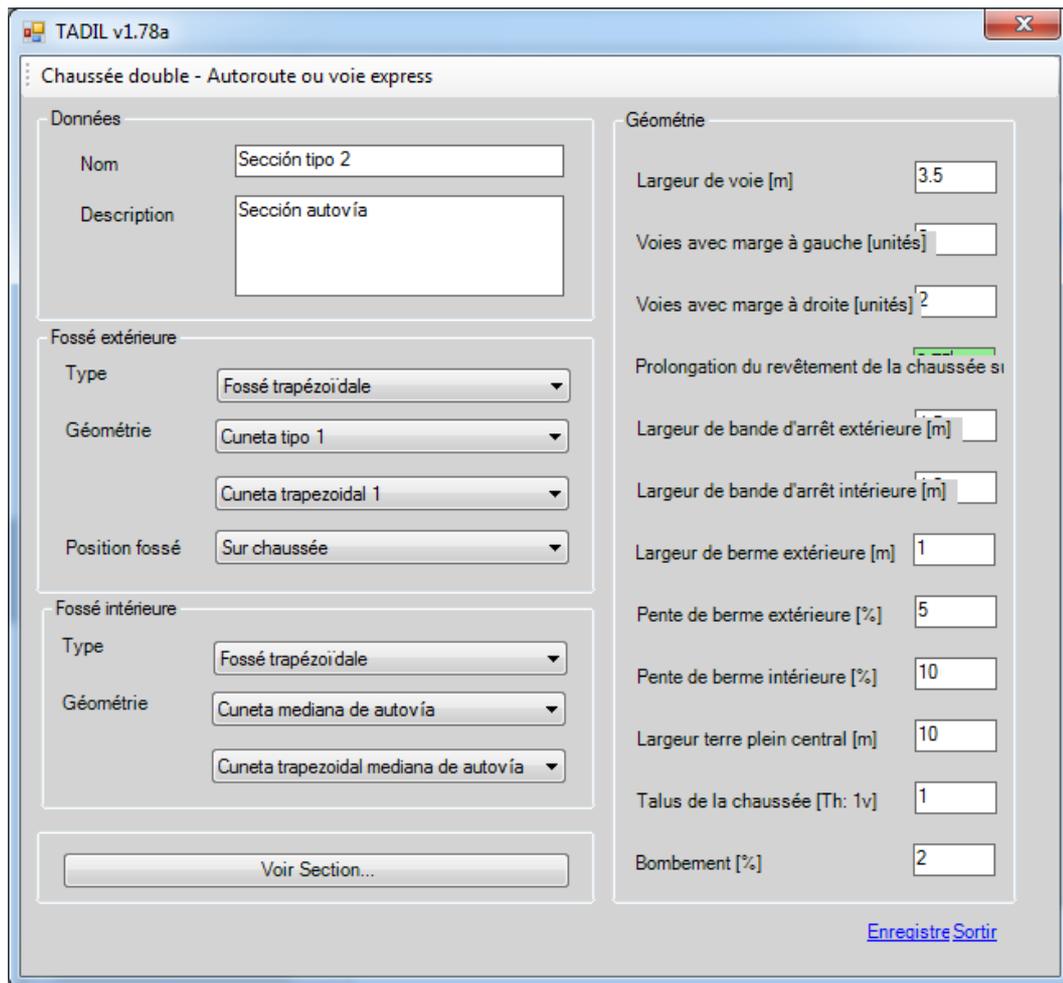


Image 4-8. Menu pour l'introduction des données dans la section double de la voie express ou autoroute.

## 2.2. SECTION DOUBLE SANS TERRE PLEIN CENTRAL

La section double se configure comme la précédente avec l'exception qu'il n'existe pas de terre plein central et par conséquent, il n'existe pas non plus de fossé intermédiaire. Au centre de la section, coïncidant avec l'axe, on introduit une barrière que l'utilisateur peut sélectionner avec le format .dwg. Par défaut le programme propose un détail. Dans la section double, l'axe coïncide avec le point de jonction des bandes d'arrêt d'urgence intérieures et la cote de l'inclinaison se définit par rapport à ce point.

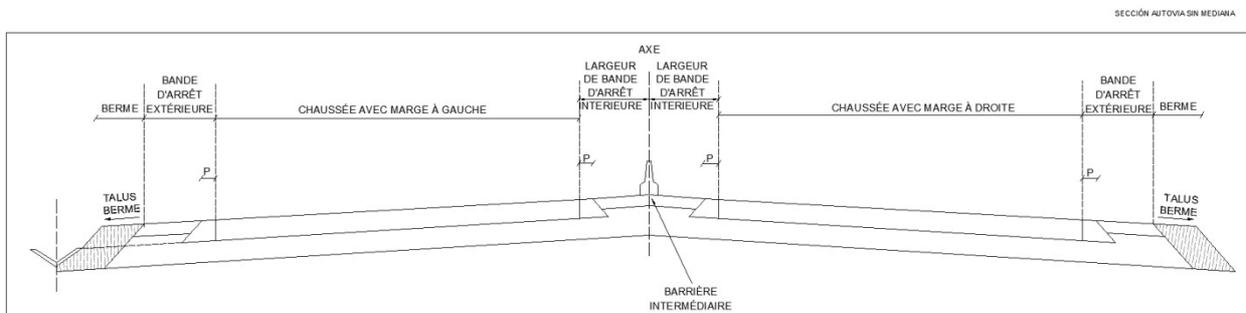


Image 4-9. Section double pour voie express sans terre plein central.

TADIL v1.78a

Chaussée double - Autoroute sans terre plein central

Données		Géométrie	
Nom	Autovía sin mediana	Largeur de voie [m]	3.5
Description	Autovía sin mediana	Voies avec marge à gauche [unités]	
Données fossé		Voies avec marge à droite [unités]	2
Type	Fossé trapézoïdale	Largeur de bande d'arrêt extérieure [m]	
Géométrie	Cuneta tipo 1	Largeur de bande d'arrêt intérieure [m]	
	Cuneta trapezoidal 2	Prolongation du revêtement de la chaussée s	
Position fossé	Sur chaussée	Largeur de berme extérieure [m]	0.5
Barière		Pente de berme extérieure [%]	2
Section [dwg]	barrera.dwg	Talus de la chaussée [Th: 1v]	2
		Bombement [%]	2
		Voir Section...	
		<a href="#">Enregistrer</a> <a href="#">Sortir</a>	

Image 4-10. Menu pour l'introduction des données dans la section double sans terre plein central.

# **LOGICIEL T.A.D.I.L.**

---

## **TECHNIQUES D'AUTO-TRAÇAGE POUR LA CONCEPTION D'INFRASTRUCTURES LINÉAIRES. "TADIL."**

### **GUIDE MÉTHODOLOGIQUE DE L'APPLICATION.**

#### **CHAPITRE 5. BUDGET ET RENTABILITÉ**

**AGROUPATION D'INTÉRÊT ÉCONOMIQUE T.A.D.I.L.**

LOGICIEL TADIL  
TECHNIQUES DE L'AUTO-TRAÇAGE POUR LA CONCEPTION  
D'INFRASTRUCTURES LINÉAIRES

Guide Méthodologique d'Application

CHAPITRE 5. BUDGET ET RENTABILITÉ  
1ère ÉDITION.

Ce paragraphe sera possiblement celui qui sera de plus grand intérêt, pour l'utilisateur représentant une administration publique ou une entreprise de promotion d'exploitation d'infrastructures.

Avec cette application, on prétend répondre à des questions telles que: la construction de notre infrastructure est-elle rentable? Quelle est l'investissement nécessaire? Ces deux questions peuvent se poser tant du point de vue de l'investissement privé, comme public. Dans tous les cas, que ce soit un investissement réalisé par une administration publique ou par une entreprise privée, il faudra analyser la rentabilité sociale ou générale, c'est-à-dire, on devra déterminer si la construction est avantageuse ou non pour les usagers destinataires et pour l'administration qui les représente. Ainsi une autoroute de péage, par exemple, bien qu'elle oblige au paiement d'un péage et/ou à être subventionner par l'administration, peut être avantageuse dans la mesure où elle permet une réduction des coûts de fonctionnement ou des temps de parcours (mesurés en termes économiques), une réduction des coûts de conservation et entretien pour l'administration etc.

De la même manière, le logiciel se configure pour l'analyse des investissements strictement privés ou bien publics-privés, avec la possibilité que le promoteur prenne en charge une partie ou la totalité de l'investissement.

## CHAPITRE 5. BUDGET ET RENTABILITÉ

### SOUS CHAPITRE 0. PROCÉDÉ.

#### 0. Introduction

Dans ce chapitre, on décrit le procédé qui est suivi pour la configuration du budget et postérieurement pour l'étude de la viabilité économique.

#### 1. Méthodologie

Lorsque l'utilisateur arrive à cette phase du projet, il est entendu que le logiciel a été capable de générer les mesures des travaux, ne restant plus que l'assignation des unités qui s'établissent comme macro-prix.

Pour cela, le programme donne l'option de configurer et garder des groupes de macro-prix à combiner selon le type de travaux. Les macro-prix emploieront les unités introduites dans le menu "unités" pour les chapitres suivants:

- Drainage longitudinal et transversal
- Signalisation, balisage et défenses
- Remplacement de services
- Corrections géotechniques
- Déviations provisoires
- Interventions complémentaires
- Mesures correctrices
- Sécurité et santé

On pourra ainsi générer une combinaison de macro prix pour les unités antérieures que l'on pourra utiliser dans n'importe quel projet. Pour garder les combinaisons des macro-prix TADIL suggère quatre grandes classifications qui coïncident avec les groupes de sections type.

- Section unique
- Section double voie express ou autoroute
- Section double voie express ou autoroute sans terre plein central

Une fois définis les macro-prix, le programme est capable d'apporter le budget d'exécution matériel du projet.

- Pour établir le budget, base de la licitation et le budget à présenter à l'administration, l'utilisateur devra introduire tous les pourcentages correspondant
- Budget Base de la Licitacion.
  - Totaux des coûts
  - Bénéfice industriel
  - Contrôle de qualité
  - TVA
- Budget à présenter à l'Administration:

- Conservation du patrimoine
- Coûts additionnels de contrôle de qualité
- Restauration du paysage
- Autres
- Zone de servitude, largeur en mètres: permettra le calcul du coût des expropriations

L'utilisateur doit considérer quels pourcentages il doit utiliser en accord avec la norme qu'il doit respecter, ainsi que les valeurs correspondantes.

Avec les valeurs antérieures, l'utilisateur pourra connaître le budget et donc commencer le calcul de la rentabilité, en indiquant le caractère public ou privé du promoteur, et en introduisant les données de trafic et de gestion économique qui définissent l'investissement. Les paramètres qu'utilise le logiciel TADIL dans son analyse économique sont relatifs au bénéfice/coût et VAN.

CHAPITRE 5. BUDGET ET RENTABILITÉ  
*SOUS CHAPITRE 1. OBTENTION DU BUDGET*

**1. Relation des macro-prix**

Comme on a indiqué précédemment, l'utilisateur pourra créer des combinaisons de macro-prix en accord avec le type d'infrastructure qu'il va projeter, et les classer selon la typologie de la section type.

Les combinaisons des macro-prix se feront par rapport aux concepts suivants:

- Drainage longitudinal et transversal
- Signalisation, balisage et défenses
- Remplacement de services
- Corrections géotechniques
- Déviations provisionnelles
- Interventions complémentaires
- Mesures correctrices
- Sécurité et santé

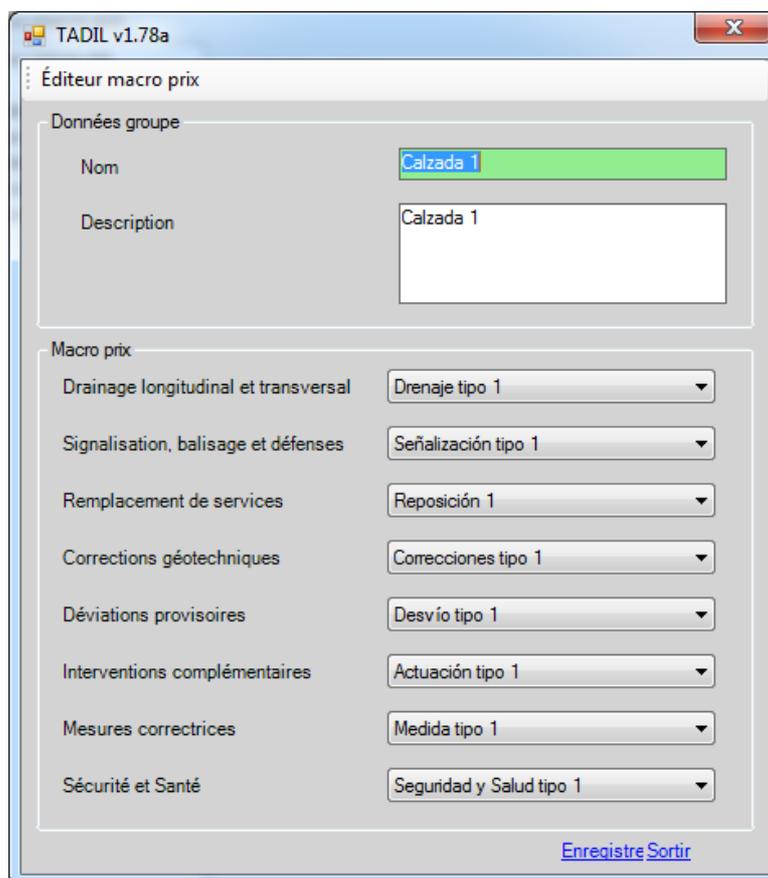


Image 5-1. Menu des groupes de macro-prix.

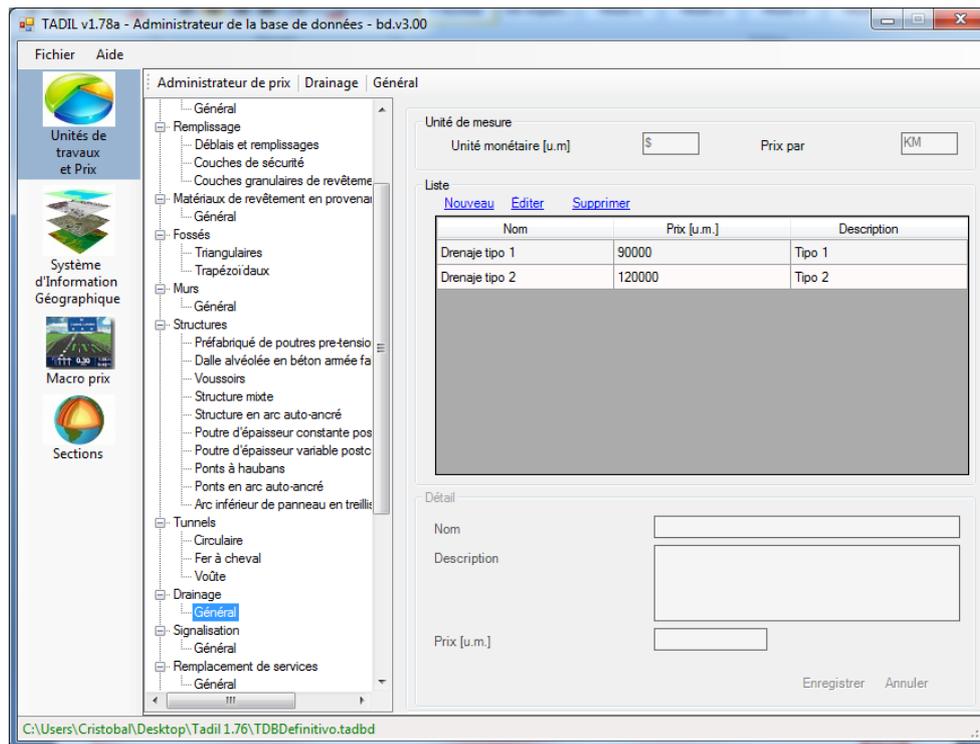


Image 5-2. Introduction de macro-prix.

L'utilisateur pourra sélectionner la combinaison de macro-prix qu'il souhaite en accord avec le type de travaux qu'il projette.

## 2. Budget base de licitation

Une fois introduits les macro-prix et après avoir calculé les mesures des travaux, TADIL obtient automatiquement le budget d'exécution matériel, (pem). Pour obtenir le budget base de licitation, (PBL) l'utilisateur devra introduire les données suivantes comme pourcentage par rapport au PEM:

- Totaux des coûts.

- bénéfice industriel
- contrôle de qualité
- TAV

Les valeurs antérieures sont appliquées à toutes les alternatives que l'utilisateur a définit et qui vont être achetées.

**Budget base de licitation**

Dépenses générales [%]

Bénéfice industriel [%]

Contrôle de qualité [%]

Image 5-3. Menu d'introduction des données pour l'obtention du PBL.

### 3. Budget pour l'Administration

Ainsi, l'utilisateur introduira les données suivantes pour obtenir le Budget pour l'Administration, (BA):

- Conservation du patrimoine, (comme pourcentage para rapport au BEM)
- Contrôle de qualité, (comme pourcentage para rapport au BEM)
- Restauration du paysage, (comme pourcentage para rapport au BEM)
- Autres tels que les mesures compensatrices, actions correctrices, etc. (comme pourcentage para rapport au BEM)
- Zone de servitude, largeur en mètres, permettra le calcul du coût des expropriations, en employant les valeurs introduites dans le menu SIG du coût de production dans les variables socioéconomiques et de la valeur du sol dans les variables patrimoniales.

Budget pour l'Administration	
Conservation patrimoine [%]	1
Contrôle de qualité [%]	1
Restauration du paysage [%]	0.6
Autres [%]	0
Zone de servitude [m]	8

TVA	
T.V.A. [%]	21

Enregistrer Annuler

Image 5-4. Menu de l'introduction de données pour l'obtention du BA

CHAPITRE 5. BUDGET ET RENTABILITÉ  
SOUS CHAPITRE 2. ÉTUDE DE RENTABILITÉ

## 1. Étude de rentabilité

### 1.1. PROCÉDE

Le procédé que l'on va suivre pour déterminer la rentabilité de la construction de l'infrastructure passe par déterminer le bilan des coûts entre l'option 0, c'est à dire maintenir la connexion actuelle, et la construction de l'alternative considérée, et il suit la séquence suivante:

- Détermination des coûts des accidents.
- Détermination des coûts de fonctionnement.
- Détermination des coûts de temps.
- Pondération des coûts en fonction du pourcentage de véhicules lourds, la distribution actuelle et future du trafic.
- Détermination des coûts d'exploitation, conservation de la route, assurances, péages et subventions.
- Étude de rentabilité sociales et/ou privée en fonction des bilans des coûts entre la situation actuelle, (option 0), et chacune des alternatives.

Il doit être mentionné que, pour le développement de l'étude de rentabilité, il faut compter sur un pronostic de l'évolution du trafic, en déterminant l'augmentation et la distribution du trafic dans la nouvelle infrastructure et dans la connexion déjà existante, au cas où elle est maintenue.

De suite, on va commenter les menus et les opérations de calcul des coûts et la rentabilité selon les étapes antérieurement mentionnées.

### 1.2. COÛTS DES ACCIDENTS

Pour tenir en compte le coût dérivé des accidents, on a utilisé un modèle quantitatif, où l'on attribue, à chacune des alternatives, les coûts probables pour les accidents qui devraient se produire, dans la région ou selon le type de route, en fonction des statistiques des accidents publiées et seront pris en charge directement et subsidiairement par les usagers à travers les assurances obligatoires et assurances privées accordées. La comparaison devra se faire en fonction des coûts réels qui se produisent dans la connexion actuelle et qui peuvent être connues au moyen des publications de l'organisme correspondant ou s'estimer en fonction des valeurs moyennes.

L'évaluation pour réaliser l'analyse coût-bénéfice se réalise par la formule suivante:

$$CA = NM \cdot CM + NH \cdot CH$$

Où

CA = coût des accidents sur le tronçon complet pendant un an.

NM = numéro de décès sur le tronçon pendant un an.

NH = numéro de blessés sur le tronçon pendant un an.

CM = coût unitaire moyen d'un décès.

CH = coût unitaire moyen d'un blessé.

Pour la détermination du numéro d'accidents, on a utilisé une méthode de statistiques. Dans cette méthode, on considère que le numéro d'accidents chaque année et l'alternative sont ceux qui se produisent durant la dernière année avec des données d'accidents accrus en fonction de l'évolution du trafic. Cette hypothèse équivaut à considérer que les indices de danger et de mortalité ne varient pas tout au long de la période d'analyse

Dans la méthode statistique, le numéro de décès et de blessés se détermine avec les formules suivantes:

$$NM = 365 \cdot TJM \cdot L \cdot IM \cdot 10^{-8}$$

$$NH = K \cdot 365 \cdot TJM \cdot L \cdot IP \cdot 10^{-8}$$

où

NM = numéro de décès pendant un an sur le tronçon.

NH = numéro de blessés pendant un an sur le tronçon.

IMD = intensité journalière moyenne sur le tronçon.

L = longueur du tronçon.

IM = indice de mortalité.

IP = indice de danger.

K = numéro moyen de blessés par accident.

Pour certaines routes, comme il a été indiqué la valeur IP et IM est publiée. Quand elle ne l'est pas, il faudra normalement utiliser les valeurs moyennes publiées par province, état ou région.

Pour finir, le coût unitaire assigné aux accidents s'est réalisé en tenant compte l'actuel marché d'assurances, et les valeurs des polices dans le cas où se produirait le décès ou bien des blessés. Les valeurs souvent utilisées en Espagne sont les suivantes:

$$\text{DÉCÈS} = 150.000 \text{ €}.$$

$$\text{BLÉSSÉ} = 42.000 \text{ €}.$$

Et donc:

$$\text{COÛT de l'ACCIDENT: } NH \times CH + NM \times CM = NH \times 42.000,00 + NM \times 150.000$$

A l'heure de déterminer le bilan des coûts des accidents entre l'option 0 et l'alternative correspondante, l'utilisateur devra considérer le maintien ou non de la connexion actuelle; dans le cas du maintien de la route existante, il devra ajouter aux coûts des accidents de la nouvelle route, les coûts des accidents sur la connexion préexistante avec le trafic qu'elle contient.

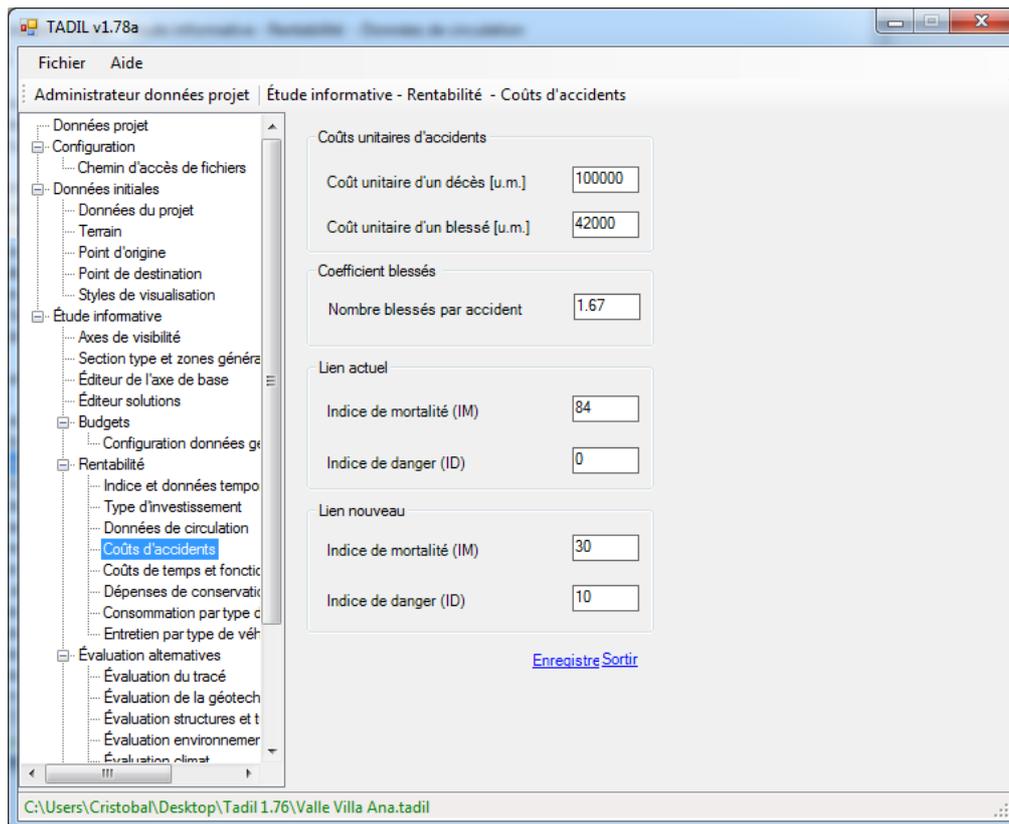


Image 5-5. Menu d'introduction des données pour le calcul des coûts des accidents.

### 1.3. COÛTS DE FONCTIONNEMENT

Les coûts de fonctionnement incluent les variables suivantes:

- Amortissement du véhicule.
- Combustible.
- Lubrifiants.
- Entretien du véhicule.
- Pneumatiques.

Toutes les dépenses antérieures peuvent se définir selon des formules plus ou moins complexes. TADIL utilise certaines des formules, les plus communes dans le champ de l'automobilisme. Dans tous les cas, toutes les données sont éditables par les usagers.

Ci-dessous, on analyse chacune des variables que définissent les dépenses de fonctionnement.

#### - Amortissement. Données par Km conventionnels

L'amortissement des véhicules s'exprime comme la relation entre le prix d'acquisition et les kilomètres de vie du véhicule. Les valeurs habituelles en Espagne sont:

Veh. Léger: 0,03 €/km

Veh. Lourd: 0,05 €/km

#### - Dépenses d'entretien du véhicule

L'entretien d'un véhicule est une valeur qui dépend de la vitesse du tronçon choisie par l'usager.

Comme dépenses de conservation, on a:

- Les freins.
- Révision.
- Petites réparations.

Pour les véhicules légers TADIL propose la traditionnelle formulation suivante de l'automobilisme:

$$CPK = 0,1034 \cdot V^{-0,44} \text{ (€/km)}, \text{ étant } V \text{ la vitesse de parcours en km/h.}$$

Pour les véhicules lourds, le coût s'exprime par:

$$CPK = 0,4034 \cdot V^{-0,44} \text{ (€/km)}, \text{ étant } V \text{ la vitesse de parcours en km/h.}$$

#### - Dépenses de combustible

Les coûts de combustible dépendent aussi du facteur vitesse.

Pour les poids lourds, on suppose les valeurs suivantes:

Vitesse (km/h)	Consommation de combustible
	Consommation.c.c./km
20	700,0000
30	675,0000
40	660,0000
50	680,0000
60	725,0000
70	750,0000
80	800,0000
90	850,0000
100	900,0000

Table 5-1. Exemple de données de consommation de combustible pour poids lourds

Pour les véhicules légers:

Vitesse (km/h)	Consommation de combustible
	Consommation.c.c./km
20	166,5000
30	146,3500
40	132,3200
50	127,1000
60	124,5700
70	129,2000
80	140,4000
90	154,5100
100	178,3200

Table 5-2. Exemple de données de consommation de combustible pour véhicules légers

L'usager pourra éditer les données précédentes en fonction de son expérience et ses connaissances.

Le prix du combustible varie d'un pays à un autre et présente de grandes oscillations tout au long de l'année.

#### - Dépenses de lubrifiant

Les dépenses de lubrifiants dépendent aussi de la vitesse du véhicule. los gastos de lubricantes también dependen de la velocidad del vehículo.

Les formules que propose TADIL sont les suivantes:

#### *A) VOITURE DE TOURISME*

$$CPK = 0,012 \cdot C \cdot PA$$

Etant:

CPK = Coût de l'huile par km. Pour les voitures de tourisme.

C = Consommation d'essence en litres.

PA = Prix du lubrifiant.

#### *B) CAMIONS*

$$CPK = 0,008 \cdot C \cdot PA$$

Etant:

CPK = Coût de l'huile par km. Pour les camions.

C = Consommation de gasoil en litres

PA = Prix du lubrifiant

Il est nécessaire d'indiquer que dans le cas du combustible comme dans le cas des lubrifiants, l'utilisateur devra considérer les coûts sans impôts. Puisque dans l'étude de rentabilité sociale, on considère que les dits impôts retournent à l'état qui participe avec les usagers, du bénéfice de la construction de l'infrastructure.

#### - Pneumatiques.

Il est à considérer pour:

Voitures de tourisme: 0,00875 €/km.

Camions: 0,06 €/km.

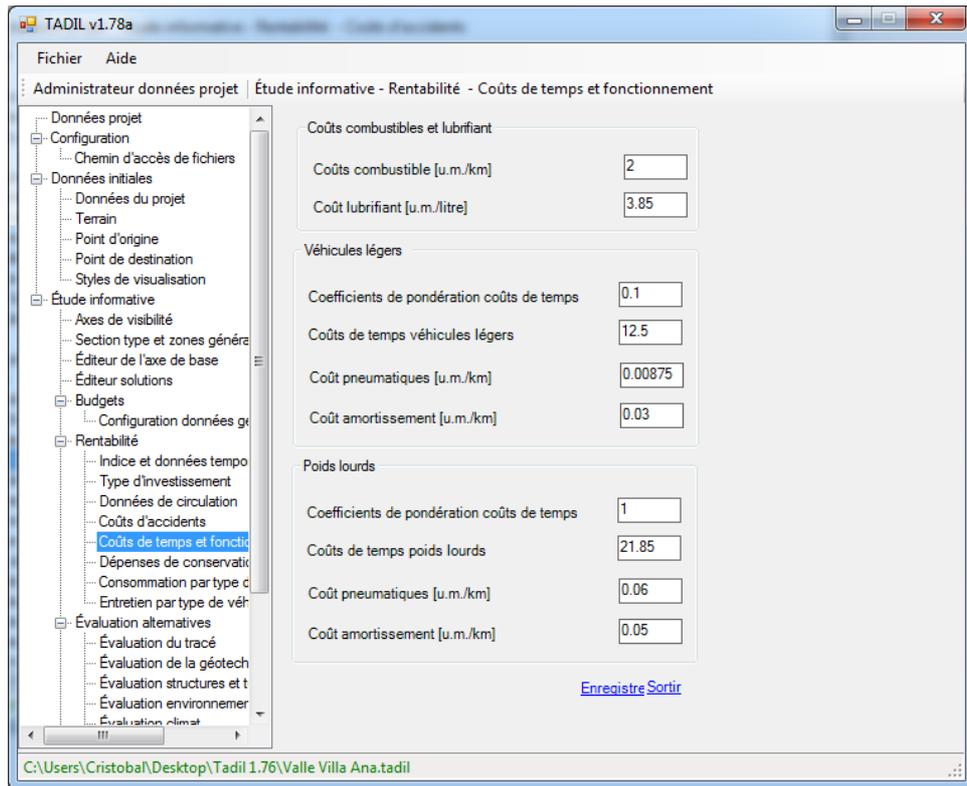


Image 5-6. Menu d'introduction des données du coût de fonctionnement et du temps

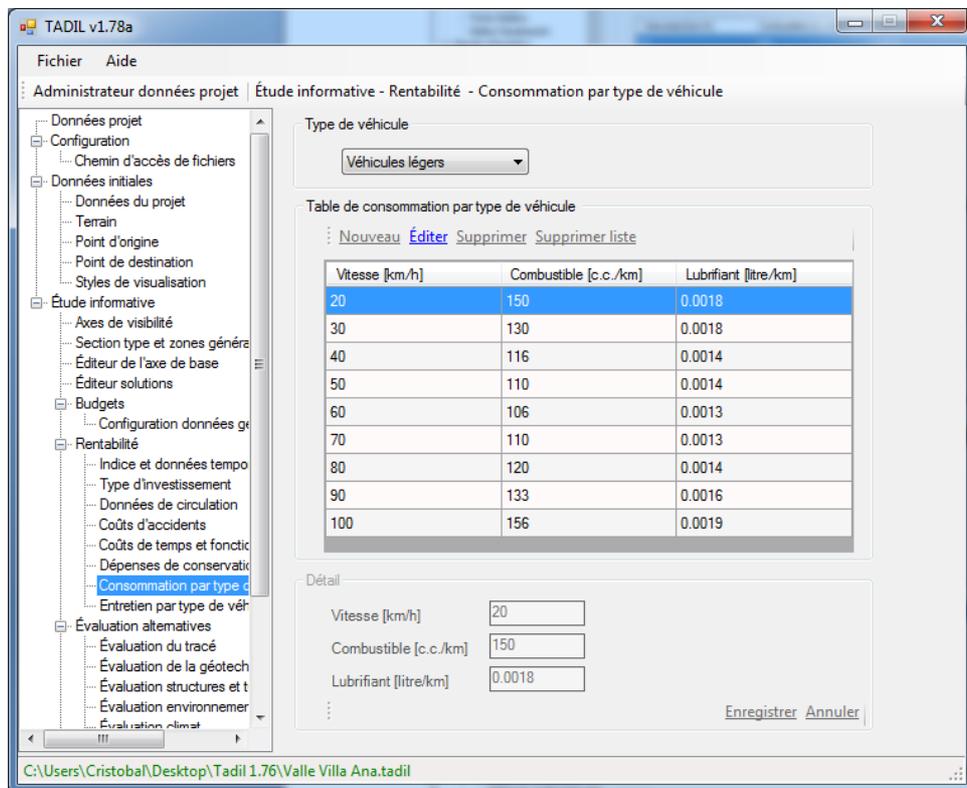


Image 5-7. Menu de configuration des coûts de fonctionnement pour les véhicules légers

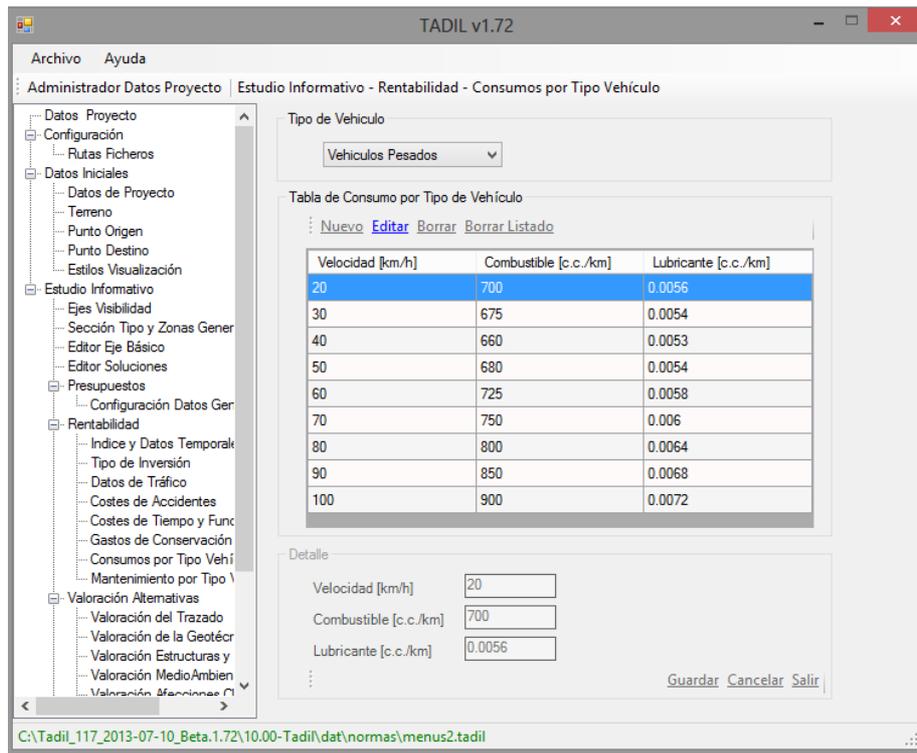


Image 5-8. Menu de configuration des coûts de fonctionnement pour les véhicules lourds

#### 1.4. COÛTS DE TEMPS

La réduction du temps de parcours devient l'aspect le plus significatif de la série de bénéfices produits par un nouveau tracé, pouvant atteindre quelquefois entre les 70 ou 80 %.

L'expression du coût, pour chaque alternative est la suivante:

$$CPT = T \cdot P,$$

Étant,

CPT = coût pour Temps du tronçon

T = Temps de parcours du tronçon, en heures

P = Valeur du temps en €/h.

Le temps passé sur un trajet donné se calcule selon:

$$T = L/V,$$

Où,

T = temps de parcours sur le tronçon, en heures

L = longueur du tronçon, en km.

V = vitesse moyenne du véhicule, en km/h

Traditionnellement en Espagne, on a relevé les valeurs suivantes

Véh léger: 12,75 €/h.

Véh. lourd: 21,85 €/h.

Bien qu'elles soient déphasées, l'usager indiquera la valeur qu'il estime en fonction de ses connaissances et de son expérience du marché où se trouve l'infrastructure.

En outre, TADIL incorpore un coefficient de pondération du coût des véhicules légers, de telle façon que, si on le définit par 0, il est sous-entendu qu'on ne peut attribuer un bénéfice quantifiable aux véhicules légers, pour économie de temps. Par conséquent, il serait seulement à considérer pour les véhicules lourds qui, on sait avec certitude, sont productifs, développant une activité professionnelle, dans ce cas de transport.

Ce coefficient avec des valeurs de 0 à 1, permettra de considérer que, seule une fraction déterminée d'usagers de véhicules légers le fait dans l'exercice de son travail professionnel. Ainsi par exemple, on ne peut comparer un usager qui, faisant usage de son temps libre, utilise l'infrastructure pendant le week-end pour aller à la plage, à un usager commercial ou représentant qui se dirige à son centre de travail pour y exercer sa fonction et qui dispose d'une valeur assignée par heure, en fonction de son salaire et sa production. Dans tous les cas, traditionnellement, la plupart des études de rentabilité ont considéré ce coefficient avec la valeur 1, entendu que l'immense majorité des usagers seraient « prêt à payer » pour réduire le temps de parcours, jusque à la valeur T P.

Avec ce coefficient pour les véhicules légers, le coût du temps s'exprime de la manière suivante:

$$CPT = T \cdot P \cdot R,$$

Étant

CPT = coût du temps du tronçon

T = Temps de parcours du tronçon, en heures

P = Valeur du temps en €/h.

R = Pondération du coût pour véhicules légers.

### **1.5. PONDERATION DE COÛTS**

Elle consiste à obtenir la valeur moyenne par kilomètre des coûts de fonctionnement et de temps, en considérant la distribution entre véhicules lourds et véhicules légers.

Connaissant les coûts des transports et le pourcentage de véhicules lourds sur la route, la pondération des coûts se fait appliquant la formule suivante:

$$C = CVL \cdot PVL + CVP \cdot PVP,$$

Étant:

CVL: coûts des véhicules légers.

PVL: pourcentage en temps pour chaque véhicule léger

CVP: coûts des véhicules lourds.

PVP: pourcentage en temps pour chaque des véhicule lourd.

## Ci-dessous, un exemple de calcul:

### Pondération des coûts des véhicules légers et des véhicules lourds

Pondération des coûts en temps véh. légers 0,5

Coût en temps véh. Légers 12,75 €/h

Coût en temps véh. lourds 21,85 €/h

Coût combustible 0,75 €/l

Coût lubrifiant 3,84 €/l

Pourcentage des véhicules lourds 3 %

#### VÉHICULES LÉGERS

Vitesse (km/h)	Consommation combustible		Consommation lubrifiants		Coût pneumatiques & amortissement Cons. €/km	Coûts de conservation Cons. €/km	Total coûts €/km	Coûts Du temps €/km	Total des coûts avec le temps €/km
	Conso.c./km	Cons.€/km	Cons. c.c./km	Cons. €/km					
20	150,0000	0,1125	0,0018	0,00691	0,0388	0,0277	0,1858	0,3188	0,5046
30	130,0000	0,0975	0,0016	0,00599	0,0388	0,0232	0,1654	0,2125	0,3779
40	116,0000	0,0870	0,0014	0,00535	0,0388	0,0204	0,1515	0,1594	0,3109
50	110,0000	0,0825	0,0013	0,00507	0,0388	0,0185	0,1448	0,1275	0,2723
60	106,0000	0,0795	0,0013	0,00488	0,0388	0,0171	0,1402	0,1063	0,2465
70	110,0000	0,0825	0,0013	0,00507	0,0388	0,0159	0,1423	0,0911	0,2333
80	120,0000	0,0900	0,0014	0,00553	0,0388	0,0150	0,1493	0,0797	0,2290
90	133,0000	0,0998	0,0016	0,00613	0,0388	0,0143	0,1589	0,0708	0,2297
100	156,0000	0,1170	0,0019	0,00719	0,0388	0,0136	0,1766	0,0638	0,2403

#### VÉHICULES LOURDS

Vitesse (km/h)	Consommation combustible		Consommation lubrifiants		Coûts pneumatiques & amortissement Cons.€/km	Coûts de conservation Cons. €/km	Total coûts €/km	Coûts Du temps €/km	Total coûts Avec temps €/km
	Cons. c.c./km	Cons. €/km	Cons. c.c./km	Cons. €/km					
20	700,0000	0,5250	0,0056	0,02150	0,1100	0,1080	0,7645	1,0925	1,8570
30	675,0000	0,5063	0,0054	0,02074	0,1100	0,0903	0,7273	0,7283	1,4556
40	660,0000	0,4950	0,0053	0,02028	0,1100	0,0796	0,7049	0,5463	1,2511
50	680,0000	0,5100	0,0054	0,02089	0,1100	0,0721	0,7130	0,4370	1,1500
60	725,0000	0,5438	0,0058	0,02227	0,1100	0,0666	0,7426	0,3642	1,1068
70	750,0000	0,5625	0,0060	0,02304	0,1100	0,0622	0,7578	0,3121	1,0699
80	800,0000	0,6000	0,0064	0,02458	0,1100	0,0587	0,7932	0,2731	1,0664
90	850,0000	0,6375	0,0068	0,02611	0,1100	0,0557	0,8293	0,2428	1,0721
100	900,0000	0,6750	0,0072	0,02765	0,1100	0,0532	0,8658	0,2185	1,0843

#### PONDÉRATION

Vitesse (km/h)	Consommation combustible		Consommation lubrifiants		Coûts Pneumatiques & amortissement Consumo €/km	Coûts de conservation Consumo €/km	Total coûts €/km	Coûts Du temps €/km	Total coûts Avec temps €/km
	Cons. c.c./km	Cons. €/km	Cons. c.c./km	Cons. €/km					
20	166,5000	0,1249	0,0019	0,00735	0,0409	0,0301	0,2032	0,3420	0,5452
30	146,3500	0,1098	0,0017	0,00643	0,0409	0,0252	0,1822	0,2280	0,4102
40	132,3200	0,0992	0,0015	0,00579	0,0409	0,0222	0,1681	0,1710	0,3391
50	127,1000	0,0953	0,0014	0,00554	0,0409	0,0201	0,1619	0,1368	0,2986
60	124,5700	0,0934	0,0014	0,00541	0,0409	0,0186	0,1583	0,1140	0,2723
70	129,2000	0,0969	0,0015	0,00561	0,0409	0,0173	0,1607	0,0977	0,2584
80	140,4000	0,1053	0,0016	0,00610	0,0409	0,0163	0,1686	0,0855	0,2541
90	154,5100	0,1159	0,0018	0,00673	0,0409	0,0155	0,1790	0,0760	0,2550
100	178,3200	0,1337	0,0020	0,00780	0,0409	0,0148	0,1972	0,0684	0,2656

Table 5-3. Exemple de pondération des coûts des véhicules légers et des véhicules lourds.

## 1.6. DEPENSES D'EXPLOITATION, CONSERVATION DE LA ROUTE, PEAGES ET SUBVENTIONS

### - Dépenses de conservation

Pour l'évaluation des coûts de conservation et d'entretien de la route, on considère les valeurs communes aux contrats de conservation des routes et d'entretien de l'Administration avec les entreprises privées concessionnaires. Ces valeurs dépendront du type d'infrastructure, du pays et de l'Administration qui est

considérée. Par exemple, en Espagne, pour les routes de titularisation autonome, on observe les valeurs similaires suivantes:

- Coûts de conservation et entretien: 1.800,00 €/km et année.
- Coûts de réhabilitation: 12.000,00 €/km chaque 10 ans.

Les coûts de conservation s'imputent annuellement, ceux de réhabilitation chaque 10 ans.

TADIL considère que, pendant la première année d'exploitation de la nouvelle infrastructure, quand l'infrastructure préexistante se maintient, on procèdera à la réhabilitation de cette dernière, en profitant que la majorité de la circulation se transférera à la nouvelle connexion. Par conséquent, l'Administration prendra en charge les coûts de réhabilitation de l'ancienne route. Les neuf années suivantes seront de conservation et de maintien de cette dernière et la dixième année, à nouveau réhabilitation, ainsi successivement chaque cycle de 10 ans.

Considérant que l'investissement de la nouvelle infrastructure peut être public ou privé, et que la route existante peut être maintenue ou éliminée, les combinaisons suivantes seront possibles:

- que la promotion de la nouvelle infrastructure soit privée et que se maintienne l'ancienne connexion.

Dans ce cas, l'Administration ne sera pas obligée de maintenir la nouvelle infrastructure, ni de la réhabiliter, mais par contre, de réhabiliter l'ancienne pendant la première année d'exploitation de la nouvelle

- que la promotion de la nouvelle infrastructure soit privée et que ne se maintienne pas l'ancienne connexion.

Dans ce cas, l'Administration n'aura à ne considérer aucun coût pour réhabilitation et entretien.

- que la promotion de la nouvelle infrastructure soit publique et que se maintienne l'ancienne connexion.

Dans ce cas, l'Administration prendra en charge les coûts de conservation et d'entretien de la nouvelle et de l'ancienne connexion. Mais attention, il est très important de se rappeler que, lors de la première année d'exploitation, pour l'ancienne route, les coûts seront de réhabilitation tandis que pour la nouvelle, ils seront d'entretien. Dans les deux cas, les cycles de 10 ans se respecteront.

- que la promotion de la nouvelle infrastructure soit publique et que ne se maintienne pas l'ancienne connexion, la première année, les coûts seront d'entretien.

Pour les investissements partiels ou complètement privés, TADIL considèrera toujours que les coûts d'exploitation de la nouvelle structure seront en charge par le promoteur privé.

Ces aspects sont fondamentaux pour l'obtention des bilans annuels d'exploitation et par conséquent, pour obtenir les ratios de rentabilité.

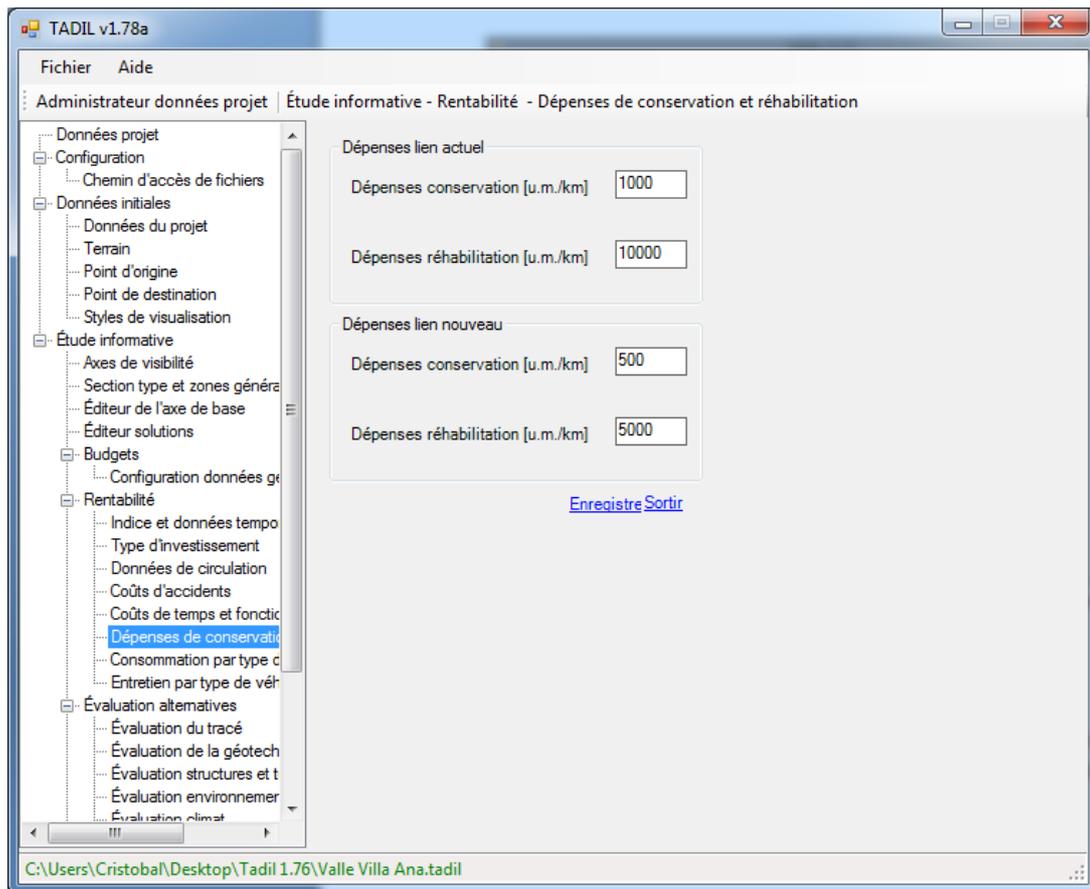


Image 5-9. Menu de l'introduction des dépenses d'entretien et de réhabilitation.

## - Coûts d'exploitation

S'il s'établit une concession privé de l'exploitation, pour l'étude économique de la rentabilité de l'investissement de l'entreprise, on devra considérer les coûts dérivés de cette exploitation. Ces coûts se basent sur le schéma d'organisation suivant:

### Gérance et administration de la concession

- Personnel: gérant, administratifs, et chef de comptabilité.
- Coûts, bureaux, véhicules, entretien, nettoyage.
- Contrôle d'accès encaissements.
- Personnel: employés des postes de péage, technicien de maintenance.
- Coûts maintenance et nettoyage des postes d'encaissement, loyer d'usine.

Ci-dessous, un exemple réel des coûts d'exploitation par an, considérés pour une étude de rentabilité développée l'année 1997 et convertis à l'Euro.

Personnel sur les postes d'encaissement:  $50 \times 11.000,00 \text{ €} = 550.000,00 \text{ €} / \text{an}$

Gérant: 42.000,00 € / an.

Chef de comptabilité: 25.000,00 € / an.

Administratifs:  $2 \times 12.000,00 \text{ €} = 24.000,00 \text{ €}$ .

Bureau: 7.000,00 € / an.

Véhicules:  $20.000 \times 2 / 10 = 4.000,00 \text{ € / an}$ .

Nettoyage: 6.000,00 € / an.

Technicien de maintenance: 30.000,00 € / an.

Usine: 7.000,00 € / an.

Dépenses générales: 25.000,00 €/an.

**TOTAL: 720.000 € / an.**

Postes de travail directs créés: 55.

#### - Assurances

Dans les études de rentabilité de l'option de gestion privée, on a considéré, en plus, la possibilité d'examiner les coûts relatifs au contrat d'une assurance générale pour accidents, au bénéfice des usagers de la route, de telle manière que, le paiement du péage inclut un contrat d'assurance vie et/ ou d'invalidité, indépendamment des assurances privées que l'utilisateur aurait pu souscrire. Cette option n'est pas fréquente dans la gestion des péages de la majorité des pays, bien qu'elle s'utilise dans certains pays de l'Union Européenne, ce qui suppose une amélioration des prestations pour l'utilisation de la route

Le coût de cette assurance serait à la charge du promoteur privé.

#### - Péage

C'est un coût dans l'analyse de rentabilité sociale, mais un revenu dans l'analyse de la rentabilité privée. Le coût total s'obtient en multipliant le total de véhicules par le tarif de péage.

#### - Subvention de l'Etat

Pour les options publiques-privées, les paiements se font, en général par an, en fonction d'une valeur définie par contrat ou actualisable selon IPC. Cette valeur sera le revenu annuel de l'entreprise concessionnaire.

Dans ce cas, en plus, il pourrait y avoir ou non un péage.

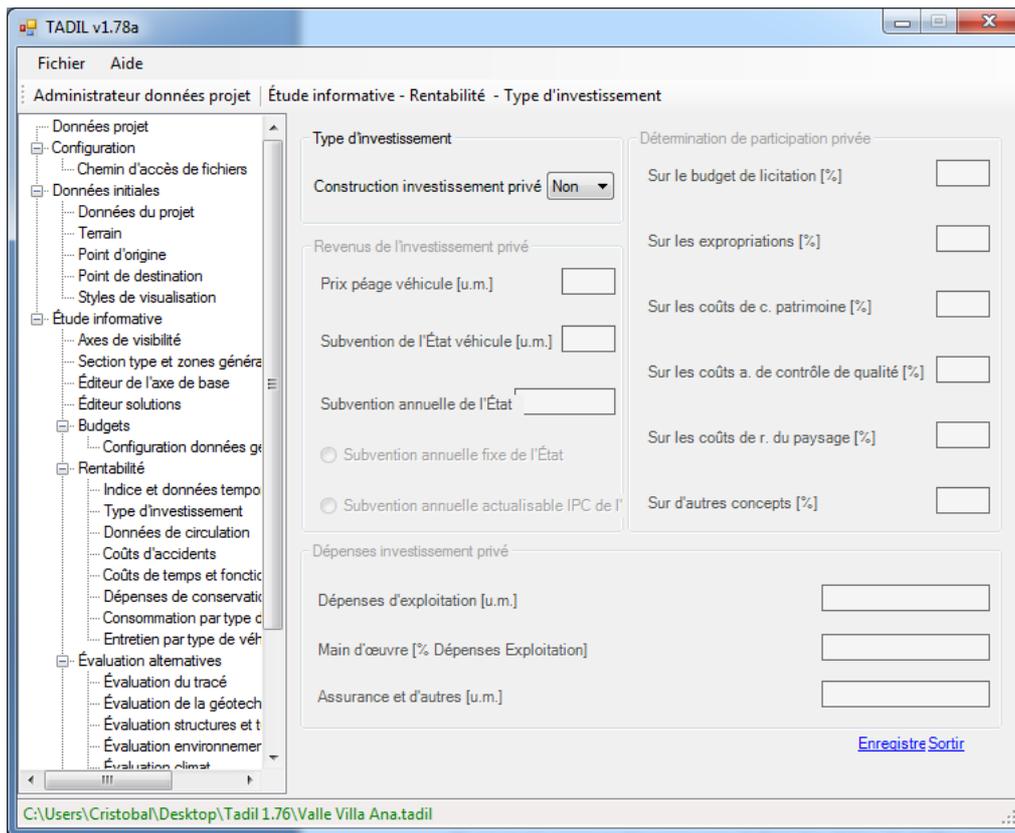


Image 5-10. Menu d'introduction des données inhérentes au type d'investissement.

## 1.7. Etudes de rentabilité

### 1.7.1. LE TAUX D'ACTUALISATION, L'IPC ET LE COEFFICIENT DE REVISION DES PRIX

Pour développer l'étude de rentabilités, on considère 3 données, le taux d'actualisation, l'IPC, et le coefficient de révision des prix de la construction.

Le taux d'actualisation prend en compte l'actualisation de l'argent dans le temps.

Le taux d'actualisation prétend donner la valeur du négoce, en évaluant la valeur de l'argent au moment actuel. Ainsi, gagner 1000 euros en 2012 n'est pas comparable à les gagner dans 20 ans quand sa valeur sera très inférieure. La valeur de 1000 euros, gagnés dans 20 ans, s'obtiendra en divisant 1000 par le taux d'actualisation élevé à la puissance 20.

Dans la pratique, certains économistes obtiennent la valeur du taux d'actualisation à partir de l'intérêt de la dette publique à long terme. Ainsi, si la dette est de 6% à 10 ans, on a un T. T.A de 0.06% (6%).

L'IPC prend en compte la valeur de la revalorisation des prix et des coûts.

CRP: coefficient de révision des prix de la construction, sera d'application sur les coûts de la construction et sur les autres dépenses associées. (Mesures compensatoires, Conservation du patrimoine, restauration du paysage) pour les travaux d'une durée supérieure à un an. Le coefficient de révision se compose des valeurs de l'IPC des matériaux, main d'œuvre et énergie, employés de chantier, ce pourquoi l'utilisateur devra faire une estimation de sa valeur. Ces valeurs sont en général publiées par l'Administration publique, dans leurs bulletins.

Avant d'introduire les données pour l'étude de rentabilité, l'utilisateur doit considérer les valeurs et les moments d'application de chaque coefficient.

Le taux d'actualisation s'appliquera à partir de la première année de construction de l'infrastructure jusqu'au final de la période d'exploitation considérée dans l'étude de rentabilité parce que ainsi au moment de faire l'étude de rentabilité, le promoteur aura l'option d'investir dans la nouvelle infrastructure ou alternativement dans une imposition à intérêt fixe comme une alternative avec laquelle il peut comparer. Si on suppose un minimum d'un an depuis la fin de l'étude jusqu'au début de la construction, quand le promoteur commencera l'investissement, il aura déjà perdu l'intérêt qu'il aurait obtenu dans l'investissement alternative.  $(1+TA)$ .

Pour la première année d'exploitation, au contraire, l'investisseur devra prévoir des dépenses et des recettes à des prix estimés, c'est à dire une fois terminés les travaux. Pour cette raison, dans l'étude l'IPC ne sera pas appliqué à tous les coûts et revenus, avant la deuxième année d'exploitation, et jusqu'à la fin de la période d'exploitation considérée.

Finalement, le coefficient de révision des prix s'appliquera à partir de la deuxième année de construction jusqu'à la dernière année au moment où finaliseront les travaux:

L'usager devra faire une estimation sur la base de ses connaissances des ratios économiques du pays qui se rapporte à l'étude de l'infrastructure. Ce coefficient s'appliquera seulement aux coûts du chantier « exclusivement », c'est à dire au budget présenté devant l'Administration, moins les expropriations, et avec les quantités sans TVA.

En résumé:

Taux d'actualisation: on applique  $(1 + TA)$  la première année de construction de l'infrastructure et les années suivantes, la valeur sera  $(1 + TA)^n$ ,  $n$  étant le nombre d'années écoulées depuis le début de la construction. La valeur maximum de  $n$  sera

La somme des années nécessaires pour la construction, plus les années d'exploitation, soit  $(n = t + m)$ .

Taux d'IPC:

Il s'applique à partir de la deuxième année d'exploitation de l'infrastructure. Pour chaque année d'exploitation la valeur sera  $(1 + IPC)^{m-1}$ ,  $m$  représentant le nombre d'années écoulées depuis le début de l'exploitation.

Coefficient de révision des prix: il s'applique à partir de la deuxième année de construction jusqu'à la dernière année: pour chaque année de construction la valeur sera  $(1 + CRP)^{t-1}$ ,  $t$  étant le nombre d'années écoulées depuis le début des travaux et comme valeur maximum le nombre d'années prévues pour les travaux.

Coefficient de révision des prix: il s'applique à partir de la deuxième année de construction jusqu'à la dernière année: pour chaque année de construction la valeur sera  $(1 + CRP)^{t-1}$ ,  $t$  étant le nombre d'années écoulées depuis le début des travaux et comme valeur maximum le nombre d'années prévues pour les travaux

### **1.7.2. TVA**

Pour obtenir les bilans annuels des coûts et revenus, on ne prendra pas en compte le TVA des recettes ou des dépenses.

### **1.7.3. CALCUL DE RENTABILITE PRIVEE**

Le calcul se réalisera quand l'usager aura sélectionné « oui » dans la case « investissement privé ».

De cette manière, l'usager devra indiquer le pourcentage d'acceptation des coûts de l'investissement selon l'accord qu'il a passé avec l'Administration publique ; en particulier sur les concepts suivants:

- Budget de licitation

- Expropriations
- Coûts de conservation du patrimoine
- Coûts additionnels du contrôle de qualité
- Coûts de restauration du paysage
- Autres, (par exemple, les mesures compensatoires)

Les possibilités, à ce sujet, sont multiples et les expériences internationales dans la concession publique-privée aussi. Ainsi, certaines Administrations exigent que la totalité de l'investissement soit réalisée par l'investisseur privé, avec exception des expropriations, et pour d'autres, seul le coût de la construction est pris en charge par l'investisseur, etc.

A continuation, on résume les étapes que suit TADIL pour calculer les ratios de rentabilité.

### **A.- Détermination des valeurs de circulation**

Il est très important que l'usager ait développé auparavant une étude de circulation objective. Il faut souligner que cette dernière s'est révélée comme le facteur le plus déterminant des principaux échecs d'exploitation privée de routes. Les antécédents de grandes augmentations de circulation doivent être analysés avec une vision pessimiste ou, au moins, avec une analyse réaliste des risques.

Les données de la circulation que l'usager devra indiquer sont:

TJM prévoit pour l'année de mise en service de l'exploitation

Le pourcentage d'augmentation annuelle prévue, (TC) est constant par rapport à l'année initiale. Ce taux sera constant chaque année ce pourquoi le trafic, chaque année, sera:

$$TJM_{\text{année } m} = TJM_{\text{année } 1 \text{ exploit}} + TJM_{\text{année } 1 \text{ exploit}} \times TC \times (m-1) \times 0,01$$

Dans les futures versions TADIL donnera l'option d'introduire les valeurs de circulation totale, année après année. En fonction de la prédiction faite par l'usager.

- Absorption des véhicules de la nouvelle infrastructure, (AbTJM): on suppose une variation linéaire entre l'année d'origine et l'année finale. Au début, si l'infrastructure est meilleure que l'ancienne, normalement il se produira une absorption importante de la circulation de passage (à l'exception de la circulation locale dans les environs de l'ancienne route). Cependant, s'il se produit une augmentation importante de la circulation et par conséquent les niveaux de services empirent sur la nouvelle infrastructure, à partir d'une période de temps déterminée, beaucoup d'usager décideront réutiliser l'ancienne connexion. Comme il a été mentionné plus haut, les pourcentages d'absorption de circulation par la nouvelle infrastructure seront très élevés au début et en diminution en fin de période d'exploitation.

Dans les futures versions, TADIL donnera l'option d'introduire les valeurs d'Absorption de circulation année après année (Ab TJM) selon la prédiction faite par l'usager.

TADIL calcule les valeurs d'TJM de la nouvelle et ancienne connexion. A partir de la mise en service de l'infrastructure et pour chaque année d'exploitation.

### **B. Nombre d'années. On spécifie les valeurs suivantes:**

- Construction: TADIL répartit le coût de l'investissement sur les années indiquées par l'usager pour la construction de l'infrastructure.

- Exploitation: on considère l'étude des années d'exploitation indiquée par l'utilisateur.

**C. TADIL** calcule l'indice IPC actualisé et les CRP la première année d'exploitation. L'IPC aura valeur 1 et les années suivantes le calcul se fait considérant les valeurs  $(1 + IPC)^{m-1}$  correspondant aux années écoulées d'exploitation. Par ailleurs, les coûts de construction seront soumis à la valeur du coefficient de révision des prix. La première année de construction la valeur sera 1, et les années suivantes les coûts de construction se calculeront en relation à la valeur  $(1 + CRP)^{t-1}$ ...

**D.- TADIL** considère les coûts de construction répartis sur les années de construction donnés par l'utilisateur et le budget présenté devant l'Administration ventilé, il lui applique les pourcentages donnés par l'utilisateur sur les coûts acceptés par le promoteur privé, obtenant ainsi, le coût de l'investissement qu'il va entreprendre, avant de le diviser par le nombre d'années.

**E.- TADIL** considère les dépenses de conservation et de maintenance (CM) donnés par l'utilisateur chaque année, et les dépenses de réhabilitation de la nouvelle infrastructure que le promoteur privé doit entreprendre chaque 10 ans. De la première année à la neuvième, les coûts seront de maintenance, la dixième année de réhabilitation y ainsi chaque décennie.

Les coûts de conservation et de maintenance s'obtiennent chaque année en les multipliant par la longueur totale de la nouvelle infrastructure.

**F.- TADIL** introduit plus tard, les coûts d'exploitation (CE), l'IPC sera valeur 1.

**G.- TADIL** considère les coûts des contrats d'assurances, s'ils existent (CS)

**H.-** Ultérieurement, TADIL réalise la somme de tous les coûts de chaque année.

Formule:  $C_m = (CM_m) + (CE_m) + (CS_m)$

**I. TADIL** multiplie chaque année les coûts par le facteur d'IPF actualisé

$$C_{mR} = (C_m) \times (1 + IPF)^{m-1}$$

**J.** Les coûts connus, TADIL calcule alors les RECETTES (I), c'est à dire, la subvention annuelle pour construction d'infrastructure (IS), les recettes de péage, (RP) et la subvention par véhicules. Ils s'obtiennent en multipliant la circulation absorbée (Ab TJM) par 365 jours, et les valeurs du péage et de subvention d'Etat:

Formule:  $IP_m + SV_m = (Ab TJM_m) \times 365 \times (P + S)$ , ou P est la valeur du tarif de péage en unités monétaires sans IVA et S est la subvention que confère l'administration au concessionnaire pour le véhicule.

$$I_m = IS_m + IP_m + SV_m$$

D'habitude, ces deux formes de subventions (IS et SV) ne peuvent coïncider, la modalité devant être établie dans le contrat avec le concessionnaire,

**K.-** l'utilisateur devra indiquer si la subvention annuelle pour construction d'infrastructure (IS) et la subvention par véhicule ont une valeur annuelle fixe ou révisable selon IPC. Dans certains contrats de concession public-privé, on établit des valeurs fixes non révisables, ce pourquoi, cette possibilité a été envisagée dans le logiciel TADIL.

Quand le quota de la subvention annuelle, (IS), sera fixe, TADIL n'appliquera pas l'actualisation de la recette par l'IPC, la même chose pour la subvention du véhicule.

Les valeurs du péage sont toujours révisables selon IPC.

Ainsi les recettes totales annuelles actualisées selon IPC se calculent en fonction de la formule:

$$I_{mR} = (1+IPC)^{m-1} \times (IP_m) + (IS_m + SV_m), \text{ quand la subvention sera constante.}$$

Ou

$$I_{mR} = (1+IPC)^{m-1} \times (IP_m + SV_m + IS_m), \text{ quand la subvention sera révisable selon l'IPC.}$$

**L.** La Valeur Nette, (VN) est la différence entre les revenus totaux de chaque année et les coûts soumis à la valeur de l'IPC:

$$(1+IPC)^{m-1} \times (IP_m) + (IS_m + SV_m) - (C_m) \times (1+IPC)^{m-1}, \text{ ou bien:}$$

$$(1+IPC)^{m-1} \times (IP_m + SV_m + IS_m) - (C_m) \times (1+IPC)^{m-1}$$

**M.** TAUX D'ACTUALISATION (TA) Il se calcule chaque année, dès la première année de construction,  $TA = (1 + TA)^n$ . TA étant le pourcentage d'actualisation donné par l'usager et n, le nombre d'années écoulées depuis le début des travaux.

**N.** LES COÛTS ACTUALISÉS ET LES RECETTES ACTUALISÉES se calculent les divisant par la valeur obtenue de (TA).

$$I_{mA} = I_{mR} / (1 + (TA))^n$$

$$C_{mA} = C_{mR} / (1 + (TA))^n$$

**O.** ON OBTIENT LES VALEURS ACUMULÉES DES REVENUS ( $\sum I_{mA}$ ), ET DES COÛTS, ( $\sum C_{mA}$ ).

**P.** Pour la dernière année d'exploitation La VAN s'obtient selon le modèle suivant

$$VAN = (\sum I_{mA}) - (\sum C_{mA})$$

Et la relation bénéfice coût, B/C:

$$B/C = (\sum I_{mA}) / (\sum C_{mA})$$

La Période de Récupération de l'investissement PRI restera marquée par la première année dans laquelle

$$(\sum I_{mA}) = (\sum C_{mA})$$

Enfin le Taux de Rentabilité Interne sera la valeur du coefficient d'actualisation où les coûts et les recettes s'égalisent en fin d'exploitation

$$(\sum I_{m+tA}) = (\sum C_{m+tA}), \text{ c'est à dire:}$$

$$(\sum I_{nA}) = (\sum C_{nA}),$$

$$\sum I_{nA} = \sum I_n / (1 + (TIR))^n = \sum C_{nA} = \sum C_n / (1 + (TIR))^n$$

#### 1.7.4. RENTABILITE GENERALE OU SOCIALE

La rentabilité générale ou sociale mesure les bénéfices que les automobilistes et l'Administration en général obtiennent pour la construction de la nouvelle voie, qu'elle soit de promotion privée ou publique. Dans le paragraphe antérieur, on a analysé les résultats de l'investissement du point de vue de l'entrepreneur et de

l'investisseur privé, mais maintenant, l'évaluation des coûts et des recettes prétend mesurer les avantages des usagers et de l'Administration en termes purement économique.

Les bénéfices dans ce cas s'obtiennent en comparant les coûts avec l'OPTION 0, dans laquelle rien n'est fait, et l'infrastructure se maintient.

C'est à dire, une réduction des coûts quels qu'ils soient, pour faire la nouvelle connexion, sera un bénéfice. Es decir, una reducción en costes de cualquier tipo, por hacer la nueva conexión, será un beneficio.

C'est pourquoi qu'il faudra obtenir les coûts dans les deux situations:

- considérant que la route ne se réalise pas, (option 0).
- considérant que se réalise la nouvelle connexion, (option ou alternative 1).

Au-dessous, on peut voir le procédé que TADIL suit pour obtenir les ratios de rentabilité sociale:

**A. TADIL** calcule les coûts de fonctionnement et de temps pondérés par le pourcentage de circulation de poids lourds comme il a été expliqué plus haut. Tant pour l'ancienne connexion comme pour la nouvelle alternative.

On obtiendra, ainsi, une valeur des coûts de fonctionnement plus le temps par véhicule, choisie selon la vitesse de la route (CFT), par an, (CFT<sub>m</sub>),

Cette valeur sera appliquée à la nouvelle connexion: (CFT<sub>m</sub>)<sub>nc</sub>

Pour la route actuelle, on aura une autre valeur: (CFT<sub>m</sub>)<sub>ca</sub>

Si on multiplie par le total de véhicules et par la longueur, on obtiendra les coûts de fonctionnement et de temps pour chaque infrastructure, par an

$365 \times (\text{CFT}_m)_{ca} \times \text{TJM}_m \times L_{ca}$ , pour l'option 0, (la nouvelle construction ne se construit pas)

Et dans l'option 1, on obtiendra la Somme des coûts de fonctionnement suivants:

$365 \times (\text{CFT}_m)_{nc} \times (\text{Ab TJM}_m) \times L_{nc}$

$365 \times (\text{CFT}_m)_{ca} \times (\text{TJM}_m - \text{Ab TJM}_m) \times L_{ca}$

La différence entre les deux résultats antérieurs, indiquera le résultat de l'option 1 par rapport à l'option 0.

Résultat coûts de fonctionnement et temps:  $365 \times [(\text{CFT}_m)_{ca} \times \text{TJM}_m \times L_{ca} - (\text{CFT}_m)_{nc} \times (\text{Ab TJM}_m) \times L_{nc} - (\text{CFT}_m)_{ca} \times (\text{TJM}_m - \text{Ab TJM}_m) \times L_{ca}]$

### **B. Coûts des accidents**

De la même manière, les coûts des accidents de toutes les infrastructures doivent préalablement avoir été calculés, en considérant deux situations:

Option 0: tout le trafic se faisant par la connexion existante,  $\text{CAcc}_{Op 0}$ , en cada año  $\text{CAcc}_{m Op 0}$ .

Option 1: en distribuant le trafic entre connexion existante et la nouvelle,  $\text{CAcc}_{Op 1}$ , dans chaque année  $\text{CAcc}_{m Op 1}$ .

Chaque année, le résultat pour la construction de la nouvelle connexion sera:

Formule:  $\text{CAcc}_{m Op 1} - \text{CAcc}_{m Op 0}$

### **C. Coûts de conservation, maintenance et réhabilitation**

Dans ce cas, on doit tenir en compte, s'il existe ou non une exploitation privée de la nouvelle connexion.

S'il existe une exploitation privée, on pense qu'il n'y aura pas de différence entre les dits coûts avant et après la construction de la nouvelle connexion.

$CM_{ca} \times L_{ca} + CM_{nc} \times L_{nc} = CM_{ca} \times L_{ca} \Rightarrow CM_{nc} = 0$ , (le concessionnaire paie les dépenses de la nouvelle connexion) los gastos de la nueva conexión los abona el concesionario

S'il n'y pas d'exploitation privée, les dépenses de conservation et de maintenance augmenteront.

On obtiendra:  $CM_{ca} \times L_{ca} + CM_{nc} \times L_{nc}$

La différence entre les coûts de chacune des options sera le bilan. ₂

Quand l'ancienne connexion n'est pas maintenue, on obtient alors:  $CM_{ca} \times L_{ca} = 0$ .

### **D. Dépenses de construction et subventions de l'exploitation privée**

Les pourcentages de l'investissement non acquittés par le concessionnaire devront être payés par le secteur public, s'il n'existe pas d'exploitation privé, il sera de 100%.

Par ailleurs, les coûts de la subvention pour véhicule comme pour année d'exploitation privée seront considérés dans l'alternative 1; de tels coûts ne seront pas à considérer quand l'exploitation sera publique.

Noter que dans le calcul de la rentabilité privée, ces coûts étaient considérés comme des recettes:

IS, maintenant devient CA, (coût de la subvention annuelle).

IV, devient CV, (coût de la subvention pour véhicule).

En ce qui concerne l'application des valeurs de l'IPC, il faut faire la même remarque que dans le paragraphe de la rentabilité privée.

### **E. Coûts du péage dans l'exploitation privée**

Le coût du péage, (CP), sera à la charge de des habitants en général.

Les coûts dans l'alternative 1 s'obtiendront en multipliant le péage par le numéro d'usagers annuels.

### **F. Bénéfices pour la création de postes de travail**

Le nombre d'emploi constitue un volume d'argent, soit, un coût pour l'entrepreneur, et qui en fait, retourne, de l'entreprise privée à la société, ce pourquoi, on le considère comme une recette (BPT). Cette valeur s'introduit dans TADIL comme un pourcentage des dépenses d'exploitation privée.

### **G. Résultats**

Une fois appliquée le taux IPC pour chaque année, on fait alors la Somme des résultats antérieurs, positifs et négatifs.

## H. Application du taux d'actualisation

Comme dans le cas de la rentabilité privée, le taux d'actualisation s'applique dès la première année de construction à tous les résultats pour chaque année.

## I. Obtention des ratios

On procède avec la même formulation que dans le calcul de la rentabilité privée, en obtenant le TIR, el PRI, el VAN et la relation B/C.

### 1.7.5. OBTENTION DES LISTES

TADIL permet d'obtenir quatre résumés des alternatives étudiées dans lesquelles on obtient les ratios antérieurs pour chacune d'elles. Il permet aussi d'obtenir le budget d'exécution du matériel ventilé, le budget de la base de la licitation et le budget qui est mis à la connaissance de l'administration.

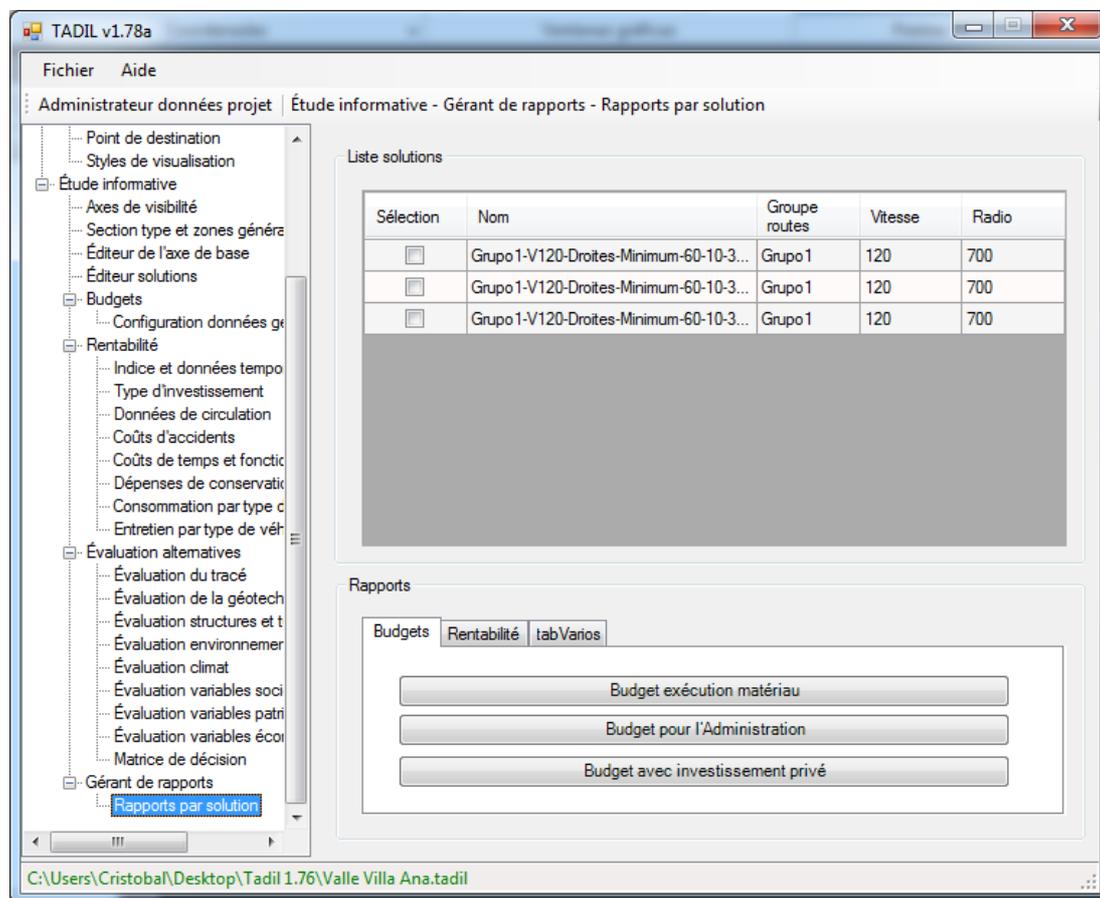


Image 5-11. Menu de l'obtention des listings de rentabilité.

**LOGICIEL T.A.D.I.L.**

---

**TECHNIQUES D'AUTO-TRAÇAGE POUR LA CONCEPTION  
D'INFRASTRUCTURES LINÉAIRES.  
"TADIL."**

**GUIDE MÉTHODOLOGIQUE DE L'APPLICATION.**

**CHAPITRE 6. EVALUATION ET SÉLECTION DES  
ALTERNATIVES**

**AGROUPEMENT D'INTÉRÊT ÉCONOMIQUE T.A.D.I.L.**

LOGICIEL TADIL

TECHNIQUES DE L'AUTO-TRAÇAGE POUR LA CONCEPTION  
D'INFRASTRUCTURES LINÉAIRES

Guide Méthodologique d'Application

CHAPITRE 6. EVALUATION ET SÉLECTION DES ALTERNATIVES  
1ère ÉDITION.

L'objectif de ce chapitre est celui d'apporter à l'utilisateur un outil efficace à la sélection des alternatives au moment d'élaborer les études informatives. On part du principe que l'utilisateur aura sélectionné les différentes alternatives de tracé qu'il aura développé à partir du territoire objet de l'étude et qui feront la connexion entre les points de départ et ceux de sortie selon les procédés préalablement établis ; l'utilisateur aura besoin de les évaluer ensemble à travers différents critères

Toutes et chacune des variables d'évaluation subjective permettront d'établir une qualification de chaque alternative et moyennant leur pondération, d'obtenir une note globale.

Le logiciel est à caractère interactif afin que l'on puisse élaborer différentes analyses et évaluations, donnant plus ou moins de poids à des groupes de variables déterminés, réalisant une étude multi-analyse à travers la formation de plusieurs hypothèses de pondération de variables.

## CHAPITRE 6. SÉLECTION D'ALTERNATIVES.

### SOUS CHAPITRE 0. PROCÉDÉ.

#### **0. Introduction**

Dans ce chapitre, on décrit le procédé suivi pour l'évaluation de chaque alternative sélectionnée par l'utilisateur. Dans le menu de tracé, l'utilisateur aura établi et sélectionné au préalable, un ensemble d'alternatives qu'il aura gardé sous un nom concret comme il est décrit dans le chapitre 7.

#### **1. Méthodologie**

Quand l'utilisateur arrive à cette phase du projet, il est entendu que le logiciel a établi le budget et l'étude de viabilité de chacune des alternatives ; il est nécessaire aussi qu'il ait complété le menu SIG avec toutes les évaluations subjectives de chaque alternative.

Avec cette information TADIL va évaluer toutes les alternatives qui se regroupent dans les chapitres suivants:

- Tracé
- Géotechnique
- Structures et tunnels
- Evaluation de l'environnement
- Evaluation climatique
- Evaluation socio-économique
- Evaluation patrimoniale
- Viabilité économique

Ensuite, on analyse l'évaluation que fait TADIL de chacune d'elle dans les chapitres antérieurs.

CHAPITRE 6. SÉLECTION D'ALTERNATIVES.

SOUS CHAPITRE 1. EVALUATION DE TRACÉ

**1. Variables de tracé que l'on évalue**

Les variables de tracé qui sont évalués dans ce chapitre sont les suivantes:

- Conception de tracé en plan
- Conception de tracé en élévation
- Temps de parcours
- Volume du mouvement des terres
- Équilibre des terrassements

Plus-bas, on analyse les variables antérieures.

**2. Evaluation de la conception du tracé en plan**

Le critère général part du principe que plus la courbure du tracé en plan est grande, meilleur est le tracé. C'est pourquoi, on n'évalue pas s'il existe plus ou moins de courbures, en soi mais au contraire, si le radio de la courbure de telles courbes est plus ou moins grand.

Un tracé avec des courbes de faible radio sera en général très peu évalué par les usagers; cependant, un tracé avec des courbures plus grandes, aura une bonne acceptation bien que le pourcentage de tronçons en ligne droite soit petit.

Pour faire l'évaluation de chaque axe en plan, il faut faire l'évaluation conjointe (de l'ensemble) de tout le tracé. Pour cela, il faudra différencier entre les courbes, clothoïdes et lignes droites:

- Les courbes auront leur radio caractéristique (R).
- Les lignes droites ont un radio infini.
- Les clothoïdes auront un radio variable sur chaque point, entre la valeur infinie de la ligne droite et la valeur R de la courbe.

Avec l'application de la formule de la clothoïde (formules explicites) on aura la valeur sur chaque point:

$r = A^2/s$ , où A est le paramètre de la clothoïde, S la longueur de l'arc, de la clothoïde et, R est la courbure.

Il faut souligner qu'avec le procédé actuel, on évalue la qualité du tracé, et non pas la rapidité ou vitesse du parcours qui se mesure en tant qu' autre variable. Ainsi, une alternative peut avoir un tracé d'une évaluation importante en plan, et dont le temps de parcours soit, cependant supérieur à un autre tracé avec courbes de radio inférieur et moins bonne évaluation de conception en plan.

Comme tracé optimal, on considère celui où, le 100% du tracé a une courbure supérieure à 2500m.

Pour évaluer le tracé TADIL, on obtient une liste de lignes droites, clothoïdes et courbes en considérant la longueur et le radio, selon l'énoncé suivant t

**Courbes:** on considère la longueur et le radio, (L y R).

**Clothoïdes:** pour chaque clothoïde on procède comme il suit:

a. On obtient la longueur de clothoïde avec la courbure supérieure à 2500,  $L_{2500}$ , d'après la formule suivante:

$$L_{2500} = A^2 / 2500$$

b. Pour le reste de la clothoïde, on obtient le radio moyen par la formulation suivante

$$R_{\text{medio}} = A^2 [\text{Ln}(L_e) - \text{Ln}(L_{2500})] / (L_e - L_{2500})$$

Où  $L_e$  est la longueur de la clothoïde et  $L_{2500}$  est celle obtenue précédemment.

On considère que tout l'alignement a un radio supérieur à 2500 m.

Une fois les données obtenues pour les courbes, les lignes droites et les clothoïdes TADIL procède de la manière suivante:

a. on ajoute les longueurs de radio supérieur à 2500, (droites, tronçons de clothoïde  $L_{2500}$  et les courbes de radio supérieur de 2500).  $L_{>R2500}$ .

b. On additionne ( $\sum L_j$ ), les longueurs de tronçons de radio inférieur de 2500, (courbes de radio inférieur à 2500m et tronçons de clothoïde de radio inférieure ( $L_e - L_{2500}$ )). Ensuite on obtient le pourcentage par rapport au total du tracé  $P = \sum P_j$ , de ces segments avec radio inférieur à 2500.

c. TADIL obtient le radio moyen  $R_{mT < 2500}$  des tronçons de radio inférieur à 2500 de manière pondérée:

$$R_{mT < 2500} = \sum [L_j \times R_{mj}] / \sum L_j$$

d. De cette manière, il arrivera que  $(100 - \frac{1}{2} P)$  % du tracé aura un radio supérieur à  $R_{mT < 2500}$ .

e. TADIL obtient la valeur:  $(100 - \frac{1}{2} P) \times R_{mT < 2500}$ .

f. La qualification de notre alternative par rapport au tracé optimal, (100% avec courbure au-dessus de 2500m) sera:

$$[(100 - \frac{1}{2} P) \times R_{mT < 2500}] / 250.000$$

g. Et les qualifications entre alternatives, TADIL les fait en fonction de celle qui obtient la meilleure qualification, qui s'exprimera par un 0. Plus haute est la qualification moindre sera l'évaluation.

Il en est ainsi, pour n'importe qu'elle alternative:

**Qualification du tracé en plan**  $\text{Alt(Alternative)} i = 10 - 10 \times [(100 - \frac{1}{2} P_i) \times R_{mT < 2500}] / [(100 - \frac{1}{2} P_{\text{alt meilleure}}) \times R_{mT \text{ alt meilleur} < 2500}]$

### 3. Evaluation du tracé en élévation

TADIL considère qu'à pente moyenne du tracé moindre, meilleur sera l'évaluation

En général, les usagers évaluent favorablement les tracés de route en pentes douces face aux pentes fortes qui réduisent la capacité des véhicules et augmentent la consommation.

TADIL fait l'évaluation conjointe de tout le tracé.

Pour cela, on procède de la manière suivante:

- On considère chaque tronçon avec sa longueur et sa pente (en valeur absolue).
- Pour les accords verticaux la pente moyenne s'obtient de la façon suivante:

$$P_m = \text{ABS} [ \text{Ln}(\cos(p_1)) + \text{Ln}(\cos(-p_2)) ] / (p_1 - p_2)$$

Où  $p_1$  est la pente à son début et  $p_2$  la pente à son point final. Avec leur signe correspondant (+ pour les pentes ascendantes dans le sens et - pour les descendantes.)

A posteriori, on additionne toutes les longueurs multipliées par leur pente en valeurs absolues et on les divise par la longueur totale de l'alternative, obtenant la pente moyenne de chaque alternative.

A moindre pente moyenne, meilleur évaluation; pour obtenir la différence entre les alternatives, celle dont la pente sera inférieure se désigne comme évaluation 0 et les autres obtiendront leur qualification de la manière suivante:

$$\text{Qualification du tracé en élévation } Alt_i = \text{MIN}(10; 10 \times [(p_{m_i} - p_{m_{\text{alt avec moindre pente}}}) / p_{m_{\text{alt avec moindre pente}}}]$$

#### 4. Temps de parcours

C'est possiblement la variable, la plus estimée par les usagers d'une nouvelle infrastructure.

Pour obtenir le temps de parcours, on procède en considérant la vitesse maximum admise pour un véhicule de tourisme de la manière suivante:

Comme vitesse maximum, on considère les suivantes:

Groupe 1: 120 km/h, (en général correspond aux voies express et aux autoroutes).

Groupe 2: 100 km/h, (en général correspond aux routes de section unique).

Dans les courbes, on considère la vitesse spécifique du tableau V-R, selon le groupe.

Comme simplification, TADIL considère que dans les clothoïdes, la vitesse moyenne sera la correspondante à l'addition de la moitié de la vitesse dans la courbe et de la vitesse dans la ligne droite, et qui s'applique aussi pour les clothoïdes en S.

Ainsi le temps de parcours  $t$  sera:

$$t = \sum L_{\text{droites } i} / V_{\text{max}} + \sum L_{\text{courbe } i} / V_{\text{spéc } i} + \sum L_{\text{clothoïde } i} / V_{\text{moy clot } i}$$

C'est à dire que dans les lignes droites, le temps sera donné par le parcours à vitesse maximum préalablement indiquée, (100 ou 120), dans les courbes à vitesse spécifique selon le tableau vitesse-radio de la courbure, et dans les clothoïdes par la moyenne entre vitesse maximum et vitesse dans la courbe où elle se connecte.

L'alternative avec le moindre temps de parcours sera la meilleure et les qualifications des alternatives restantes, TADIL les obtient par:

$$\text{La qualification du temps parcouru } Alt_i = \text{MIN}(10; 10 \times [(t_i - t_{\text{alt avec moindre parcours}}) / t_{\text{alt avec moindre parcours}}])$$

## 5. Volume du mouvement des terres

En général, l'impact de cette variable n'est pas perçu par les usagers, bien que son importance soit totale lorsque l'on considère la complexité des travaux et évidemment l'impact du mouvement des terres.

Pour le volume du mouvement des terres, on additionne les mesures de toutes les unités de l'excavation, les remblais, les purges et les couches de sécurité, que ce soit d'utilisation en provenance de chantier ou de terres d'emprunt.

$$\text{Vol}_{\text{total}} = V_{\text{exc}} + V_{\text{terr/purge}} + V_{\text{couches de sécurité}}$$

Pour obtenir la qualification différentielle entre les alternatives, on considère la solution avec moindre volume et on emploiera la formule:

$$\text{Qualification de Volume des terres Alt}_i = \text{MIN}(10; 10 \times [(\text{Vol}_i \cdot \text{Vol}_{\text{alt avec moindre volume}}) / \text{Vol}_{\text{alt avec moindre volume}}])$$

## 6. Equilibre des terrassements

Le volume des terres nous permet de connaître la complexité des travaux; cependant, il arrive qu'un chantier mette en évidence un volume relativement bas de mouvement de terres, mais qu'il s'agit, en majorité, d'excavations qui doivent être dérivées vers une décharge ou destinés à des remblais provenant d'emprunts; et comme résultat dériverait en une augmentation considérable des coûts de transports, d'autant plus importants encore que la décharge ou l'emprunt se trouvent éloignés.

Cette situation pourrait être moins avantageuse qu'un chantier avec un volume plus important de terres mais où la plus grande partie des remplissages et des excavations se compensent.

Par conséquent, il sera nécessaire d'évaluer l'équilibre des terrassements dans le chantier.

TADIL considère la somme des volumes d'excavations et obtient le % pour son utilisation par rapport au total, (c'est à dire additionnant excavation pour utilisation et celle pour décharge.) Plus grand est le pourcentage meilleure est l'évaluation.

L'évaluation différentielle entre les alternatives s'obtient de la manière suivante:

$$\text{Qualification de l'équilibre des terrassements Alt}_i = 10 - 10 \times P_{\text{équil}_i} / P_{\text{équil}_{\text{alt avec plus grande compensation}}}$$

## 7. Pondération

Avec la pondération au moyen de pourcentages qui totalise le 100%, l'utilisateur peut attribuer une plus grande importance à une seule ou plusieurs variables par rapport aux autres ou même éliminer le poids d'une variable.

Ainsi par exemple, quand le tracé passe par un milieu géotechnique où n'est pas possible l'utilisation de matériaux, on pourra lui assigner un 0% à la variable "équilibre des terrassements".

Un autre exemple, il pourrait s'agir de l'étude d'un chemin rural où le temps de parcours a peu d'intérêt ou même d'une route d'intérêt paysager, l'utilisateur utiliserait, alors, un pourcentage très faible des variables de temps et de conception, et considérerait des pourcentages plus élevés pour les volumes de mouvement de terres. Une fois obtenue l'évaluation moyenne de chaque alternative, pour obtenir des qualifications comparables entre les solutions, on applique la formulation suivante:

$$\text{Qualification du tracé Alt}_i = \text{MIN}(10; 10 \times [(\text{Eval}_{\text{tracé}})_{\text{alt avec qualification inférieure}}] / \text{Eval}_{\text{tracé}})_{\text{alt avec qualification inférieure}}]$$

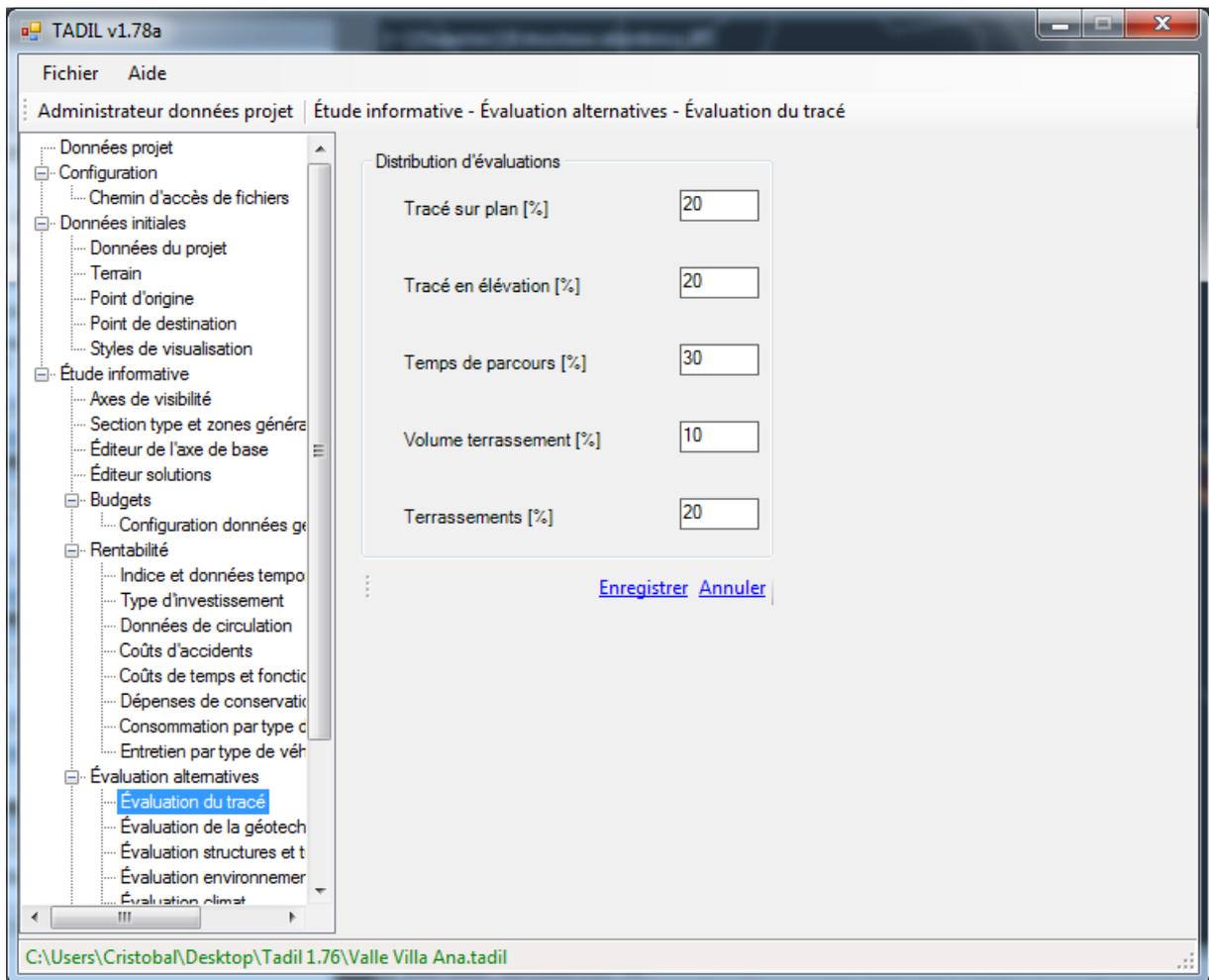


Image 6-1. Pondération de variables de tracé.

CHAPITRE 6. SÉLECTION D'ALTERNATIVES.

SOUS CHAPITRE 2. EVALUATION DE LA GÉOTECHNIQUE

**1. Variables de tracé que l'on évalue**

Pour l'évaluation de la géotechnique, on doit faire en premier, une évaluation globale de chaque groupe géotechnique.

Pour cela on évalue les variables suivantes:

- Stabilité horizontale du terrain
- Stabilité des talus de déblai
- CBR
- Possibilité d'excavation
- Protection des talus

**2. Stabilité horizontale du terrain**

TADIL considère que plus important est l'angle du terrain naturel soumis à l'implantation d'une infrastructure, meilleure sera du point de vue géotechnique le dit terrain et par conséquent la qualification sera inférieure.

La formule pour évaluer les alternatives sera:

Evaluation de la zone géotechnique *i* pour la stabilité horizontale =  $(-1/9) \times$  pente admissible +10.

Ainsi, pour 90° la qualification sera 0 et pour 0° elle sera de 10. En général, des massifs rocheux sans problème de détachement ou failles actives permettront des angles très hauts, tandis que les zones géotechniques dominées par des matériaux argileux, marnes ou semblables, présenteront des angles très bas.

**3. Stabilité des talus de déblai**

Un autre paramètre qui nous parle de la générosité du groupe géotechnique est celui de la stabilité des talus de déblai. Ainsi, il pourrait arriver qu'un groupe géotechnique, tel qu'un massif rocheux, puisse permettre l'implantation d'une route malgré un angle haut du terrain naturel, mais cependant, pour les déblais on exigerait de connaître la stabilité des talus pour éviter les détachements.

C'est donc une condition indispensable d'évaluer la stabilité des talus de déblai.

A moindre valeur de la variable "T" introduite dans les fiches géotechniques du Système d'Information Géographique, plus de stabilité du talus.

Pour les valeurs supérieures à 4 la qualification sera 10, et pour T=0, la qualification sera 0.

En outre, on considère que la hauteur maximum de déblai admissible dans l'axe, l'existence de bermes et/ou de murs avec la formule suivante:

Evaluation de la zone géotechnique stable tel quel *i*:  $\text{MIN}(10; 2,5 T \cdot (C_{hd}) \cdot (C_{hbm}))$

Où ( $C_{hd}$ ) est un coefficient qui prend en compte la hauteur du déblai admissible, étant de valeur 0,5 pour les hauteurs supérieures à 30m, 0,75 pour les hauteurs supérieures à 20m et 1 pour les hauteurs inférieures.

( $C_{hbm}$ ) Est un coefficient qui prend en compte le besoin de bermes, étant 1,2 quand il s'agit de bermes et 1,5 quand des murs sont nécessaires.

#### 4. Valeur de CBR

La valeur de CBR (*California Bearing Ratio*) est une mesure de la capacité portante des sols, à partir desquels elle soit une variable indispensable dans l'analyse de la générosité des groupes géotechniques. A plus grande valeur, meilleur terrain et par conséquent la qualification sera moindre.

Les valeurs supérieures à 50 auront une valeur 0, et celles inférieures à 2, une valeur de 10.

L'évaluation de la zone géotechnique CBR i:  $(-10/48) CBR + (500/48)$ ; avec  $2 < CBR < 50$ .

#### 5. Evaluation de l'utilisation

Les meilleurs matériaux seront ceux où le plus grand % de matériaux pour utilisation est admissible. Ainsi, le meilleur matériau sera celui où + 100% sera utilisable pour les couches granulaires, le 100% pour les couches de sécurité et le 100% pour les remplissages et les remblais. C'est à dire la valeur maximum sera 300, (en pourcentage) et sa qualification 0. L'évaluation est la suivante:

Evaluation utilisable. Zone géotechnique i:  $(-10/300) \sum (\%cgr, \%cas, \%rell) + 10$

#### 6. Possibilité d'excavation

Pour évaluer la possibilité d'excavation TADIL considère les pourcentages de distribution indiqués dans le tableau du Système d'Information Géographique.

Les pourcentages antérieurs sont pondérés par la qualification que l'utilisateur confère à chaque modalité d'excavation.

TADIL par défaut apporte les qualifications suivantes:

- Pour les moyens conventionnels: on multiplie par 0.
- Avec utilisation de marteau pneumatique: on multiplie par 3.
- Avec utilisation d'explosifs: on multiplie par 2.
- Avec utilisation de systèmes d'épuisement des eaux: on multiplie par 2,75.
- Avec utilisation d'excavations en deux phases: on multiplie par 1,75.

Ainsi la valeur maximum de pourcentage pondéré sera le produit de la meilleure qualification pour 100% et la moindre de 0. Si l'utilisateur maintient les qualifications de TADIL la pire des qualifications sera 300%, ( $3 \times 100\%$ ).

La qualification serait alors la suivante:

Evaluation excav. Zone géotechnique i:  $(10/300) \sum (\text{pourcentages pondérés})$

Quand on la réalise avec les qualifications données par l'utilisateur:

Evaluation excav. zone géotechnique i:  $(10 / (\text{MAX NOTE} \times 100\%)) \sum$  (pourcentages pondérés)

## 7. Protection des talus

Comme dans le cas précédent, on pondère les pourcentages par les qualifications. TADIL propose par défaut les qualifications suivantes:

- Sans protection: 0.
- Protections flexibles: 1,5.
- Protections rigides ou ancrages: 3.

Et c'est pourquoi avec les qualifications pour chaque groupe géotechnique comme dans le cas précédent, l'évaluation de chaque groupe géotechnique s'obtiendra de la manière suivante:

Evaluation protec. Talus zone géotechnique. i:  $(-10 / 300) \sum$  (pourcentages pondérés)

Au Cas où l'utilisateur décide de modifier les qualifications précédentes, l'évaluation de chaque groupe géotechnique sera la suivante:

Evaluation protec. talus zone géotechnique i:  $(-10 / (\text{MAX NOTE} \times 100\%)) \sum$  (pourcentages pondérés)

## 8. Pondération

Avec les pourcentages de distribution des qualifications des variables géotechniques, on obtient la qualification pondérée globale de chaque groupe géotechnique.

Pour chaque alternative de chaque section située dans la séquence de mètres indiquée par l'utilisateur, on procède à l'identification du groupe géotechnique où elle se situe. Pour chaque section, on obtient une valeur:  $S \times \text{Eval. Géoth.}$  étant S la séparation entre les sections et Eval. Géoth. la qualification du groupe géotechnique.

L'évaluation moyenne pour les critères géotechniques de chaque alternative s'obtiendra additionnant les valeurs précédentes de toutes les sections et en les divisant par la longueur totale du tracé en plan de l'alternative.

Une fois obtenue l'évaluation moyenne de chaque alternative, pour obtenir les qualifications comparables entre les solutions, on applique la formulation suivante:

Qualification géotechnique  $\text{Alt}_i = \text{MIN}(10; 10 \times [(\text{Eval géoth}_i - \text{Eval géoth}_{\text{alt qualification inférieure}}) / \text{Eval geot}_{\text{alt avec qualification inférieure}}])$

**CE CRITÈRE S'APPLIQUERA À TOUTES LES VARIABLES SIG.**

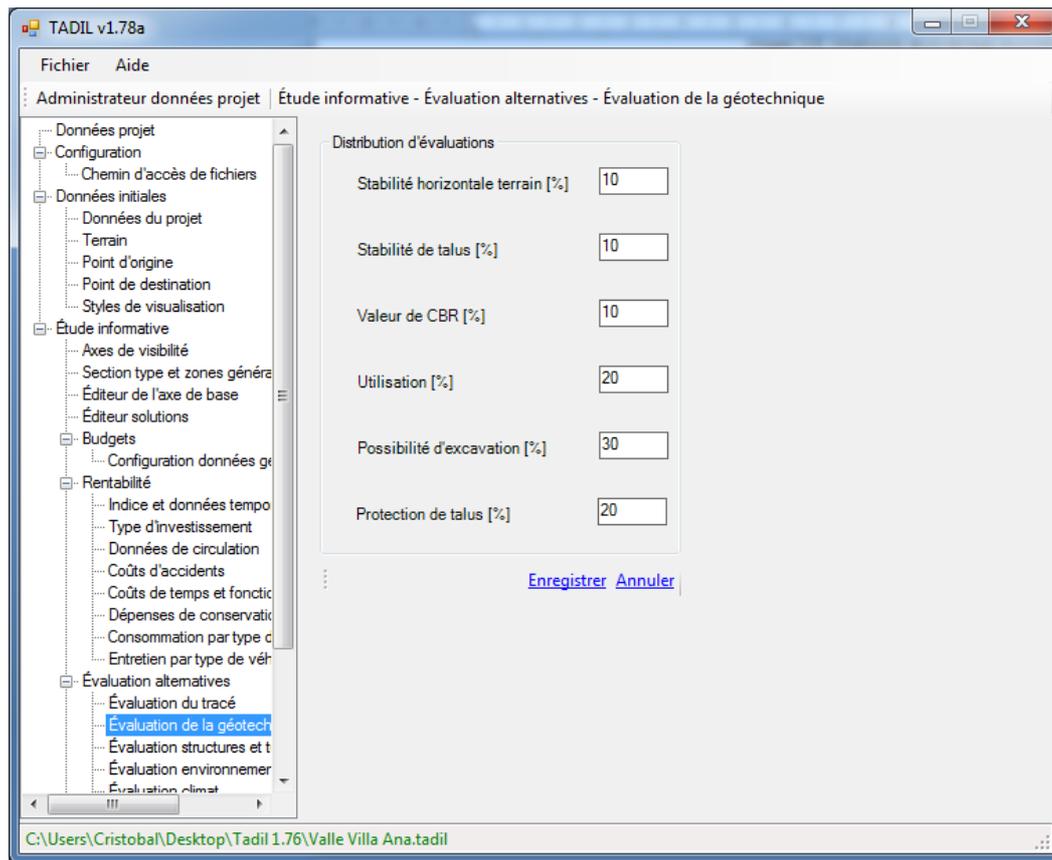


Image 6-2. Pondération de variables de géotechnique.

CHAPITRE 6. SÉLECTION D'ALTERNATIVES.

*SOUS-CHAPITRE 3. EVALUATION DE LA FONDATION DES STRUCTURES, TUNNELS ET MURS.*

**1. Variables que l'on considère**

On prend en compte toutes les variables en relation avec les fondations, tunnels et les murs, introduites dans le Système d'Information géographique.

En particulier les suivantes:

**- Fondation des structures:**

- Typologie de fondation
- Procédé d'excavation
- Fondation des passages inférieurs
- Présence d'eau dans les excavations

**- Evaluation des tunnels:**

- Valeur RMR
- Procédé d'excavation dans les tunnels
- Traitements spécifiques

**- Murs.**

- Volume des murs dans les travaux

Il faut tenir en compte les considérations suivantes:

- On ne considère pas comme variable à qualifier le choix de la typologie de viaduc considérée pour le projet. On comprend que le choix de la typologie influencera dans le budget des travaux, aspect qui est déjà pris en compte dans l'évaluation multicritère.

- Les variables RMR, de procédés d'excavation et de traitements spécifiques, devront être mises en relation les unes avec les autres. Cependant, on a préféré que chacune d'elles soient indépendantes, dans le but de différencier les groupes géotechniques qui pourront avoir RMR similaires mais avec des particularités par rapport aux autres, en ce qui concerne les procédés constructifs.

## **2. Fondation des structures**

### **2.1. TYPOLOGIE DE FONDATIONS**

TADIL propose par défaut les qualifications suivantes:

- Fondation directe: 0.
- Directe avec purges: 4.
- Fondation semi -profonde: 7.
- Fondation profonde: 10.

L'utilisateur pourra les modifier en tenant compte que la qualification la plus basse sera toujours un 10 et la meilleure un 0. Ainsi, étant donné que dans le menu du Système d'information géographique on peut seulement choisir une option, l'évaluation du groupe géotechnique pour cette variable sera celle de la typologie correspondante.

### **2.2. PROCÉDES D'EXCAVATION**

Dans ce cas TADIL propose la qualification suivante:

- Moyens conventionnels: 0.
- Marteau: 4.
- Explosifs: 6.
- Engin de battage: 10
- Autres: 10.

De la même manière, l'utilisateur pourra les éditer et les modifier en considérant que la qualification la plus basse est un 10 et la meilleure un 0.

### **2.3. FONDATION DES PASSAGES INFÉRIEURS**

Les qualifications proposées par défaut par TADIL sont:

- Fondation directe: 0.
- Avec purges: 4.
- Avec puits: 7.
- Profonde: 10.

Comme dans le cas précédent, ces qualifications sont éditables avec des valeurs entre 0 et 10.

### **2.4. PRESENCE D'EAU**

Dans ce cas, on considère la présence du niveau phréatique sur le niveau inférieur de fondation.

TADIL propose par défaut les qualifications suivantes:

- Sans affectation: 0
- Épuisement: 6

- Systèmes spéciaux: 10.

De la même manière, l'utilisateur pourra éditer ces données en modifiant les qualifications avec les valeurs de 0 à 10.

### **2.5. EVALUATION PONDEREE GEOTECHNIQUE DES STRUCTURES**

Avec les pourcentages de distribution des variables géotechniques des structures, on obtient la qualification pondérée globale de chaque groupe de géotechnique de fondation des structures.

Pour chaque alternative dans chaque section située dans la séquence de mètres indiquée par l'utilisateur, TADIL procède à identifier le groupe géotechnique de structures où se trouve le point de l'axe. Pour chaque section on obtient une valeur:  $S \times \text{Eval. geot. struct} \times F_e$  étant  $S$  la séparation entre les sections, Eval. Géoth. struct. La qualification du groupe géotechnique de fondation des structures, et  $F_e$  un coefficient de valeur 1 si dans la section on projette un viaduc dans le tracé, 0,25 si la section est en déblai ou remblai.

L'évaluation moyenne pour les critères de la géotechnique de structures de chaque alternative s'obtiendra en additionnant les valeurs antérieures de toutes les sections et en les divisant par la longueur totale du tracé en plan de l'alternative.

Une fois obtenue l'évaluation moyenne de chaque alternative, pour avoir les qualifications comparables entre les solutions, on applique la formulation suivante:

**Qualification géotechnique Alt<sub>i</sub> = MIN(10; 10 x [( Eval géotech est<sub>i</sub> - Eval géotech est<sub>alt avec qualification inférieure</sub>) / Eval geot est<sub>alt avec qualification inférieure</sub>].)**

## **3. Evaluation des tunnels**

### **3.1. VARIABLE RMR DANS LES TUNNELS**

Pour un RMR supérieur, meilleure sera la géotechnique du terrain pour la construction du tunnel.

Les valeurs de RMR seront comprises entre 0 et 100.

L'évaluation que fait TADIL est la suivante:

Evaluation RMR zone géotechnique i:  $(-10/100) \text{ RMR} + 10$

### **3.2. METHODES D'EXCAVATION DANS LES TUNNELS**

Les qualifications que TADIL propose par défaut sont les suivantes:

- Méthodes traditionnels: 0.
- Débroussailleuses: 2.
- Explosifs: 5.
- Bouclier à pression de boue: 8.
- Bouclier pressurisé: 9.
- Bouclier à pression de terre: 7.
- Double bouclier: 9.
- Autres: 10.

L'utilisateur pourra éditer les qualifications et les modifier avec les valeurs entre 0, (meilleure évaluation) et 10, (pire évaluation).

### 3.3. TRAITEMENTS SPECIFIQUES

TADIL par défaut inclut les qualifications suivantes:

- Sans besoin de traitements: 0.
- Traitements présence d'eau: 8
- Traitements devant: 7
- Traitements en clé ou dans le radier: 5
- Autres traitements: 10.

L'utilisateur pourra également les éditer et les modifier.

### 3.4. EVALUATION PONDEREE DE LA GEOTECHNIQUE DES TUNNELS

Avec les pourcentages de distribution des variables géotechniques des tunnels, on obtient la qualification pondérée globale de chaque groupe de la géotechnique des tunnels.

Pour chaque alternative dans chaque section située dans la séquence de mètres indiquée par l'utilisateur, on procède à l'identification du groupe géotechnique des tunnels dans lequel il se trouve. Pour chaque section on obtient une valeur:  $S \times \text{Eval. géotech. tunnels} \times F_T$ , étant  $S$  la séparation entre les sections,  $\text{Eval. géotech. tunnels}$  la qualification du groupe géotechnique des tunnels et  $F_T$  un coefficient de valeur 0 s'il ne se projette aucun tunnel dans la section en question et 1 si au contraire on y prévoit un tunnel

L'évaluation moyenne pour les critères de la géotechnique des tunnels de chaque alternative s'obtiendra en additionnant les valeurs précédentes de toutes les sections et en les divisant par la longueur totale du tracé en plan de l'alternative.

Une fois obtenue l'évaluation moyenne de chaque alternative, pour avoir les qualifications comparables entre les solutions, on applique la formulation suivante:

**Qualification de la géotechnique des tunnels**  $Alt_i = \text{MIN}(10; 10 \times [(\text{Eval géotech tunnels}_i \cdot \text{Eval géotech tunnels}_{alt \text{ avec qualification inférieure}}) / \text{Eval géotech tunnels}_{alt \text{ avec qualification inférieure}}.] )$

## 4. Evaluation des murs

On considère dans ce cas, la plus grande ou la plus petite présence de murs dans les sections transversales.

L'alternative avec le moindre volume de murs s'évaluera avec 0.

Il faut souligner que la variable mur a déjà été prise en compte dans les groupes géotechniques. Bien que dans plusieurs occasions, les murs sont disposés pour éviter des remblais très longs ou des déblais très prolongés, (variable de tracé), on reconsidère cette variable mais de manière quantitative.

C'est pourquoi, l'évaluation que fait TADIL sera:

**Puntuación Volumen de muros**  $Alt_i = \text{MIN}(10; 10 \times [(\text{Vol}_i \cdot \text{Vol}_{alt \text{ con menor volumen}}) / \text{Vol}_{alt \text{ con menor volumen}}.] )$

## 5. Évaluation pondérée des murs, tunnels et structures

Chaque alternative étant évaluée par les critères de murs, tunnels, et structures, on obtiendra la qualification globale de chaque alternative en fonction des pourcentages de pondération indiqués par l'utilisateur, pour chacun des trois concepts.

Une fois obtenue l'évaluation moyenne de chaque alternative, pour avoir les qualifications comparables entre les solutions, on applique la formulation suivante:

**Qualification Alt<sub>i</sub> = MIN(10; 10 x [( Eval MTE<sub>i</sub> - Eval MTE<sub>alt avec qualification inférieure</sub>) / Eval MTE<sub>alt avec qualification inférieure</sub>].)**

Où la qualification MTE est la qualification de chaque alternative pour les murs, tunnels et structures.

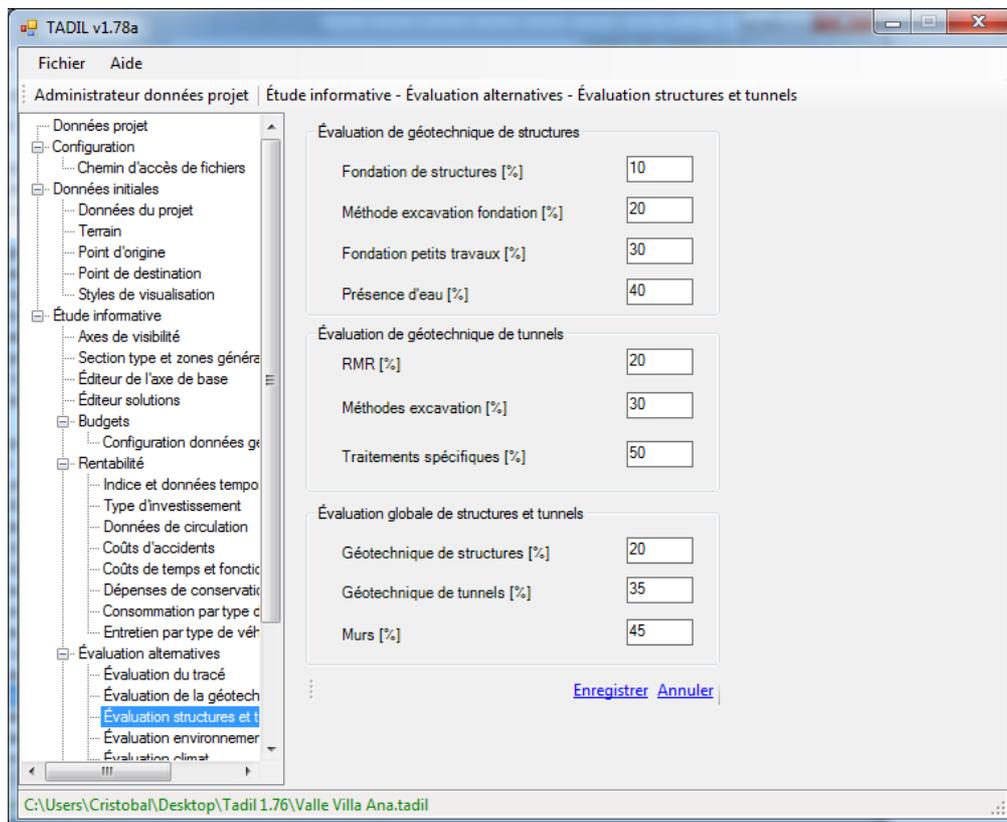


Image 6-3. Pondération de variables géotechniques de structures, tunnels et murs.

CHAPITRE 6. SÉLECTION D'ALTERNATIVES.

SOUS-CHAPITRE 4. EVALUATION DES VARIABLES ENVIRONNEMENTALES, CLIMATIQUES,  
SOCIO-ÉCONOMIQUES ET PATRIMONIALES.

**1. Variables que l'on inclue**

Dans ce paragraphe, on inclut les variables qui dans le menu du Système d'Information Géographique se structurent en quatre chapitres:

- Variables environnementales
- Variables climatiques
- Variables socio-économiques
- Variables patrimoniales

A leur tour, les variables qui constituent chaque chapitre sont les suivantes:

**- VARIABLES ENVIRONNEMENTALES:**

- Zones de protection
- Evaluation de la faune
- Evaluation de la flore
- Evaluation des sols
- Affectations hydriques et hydrogéologiques:
  - Zones du domaine public hydrolique
  - Aquifères
- Milieu Visuel:
  - Zones d'intérêt paysager
  - Champs visuels d'intérêt
- Liberté de passage de la faune

**- VARIABLES CLIMATICAS:**

- Zones de grosses gelées
- Zones d'ombres
- Zones de fortes tempêtes
- Zones de fortes pluies
- Zones de neige fréquentes
- Zones de vents forts
- Zones de brouillards fréquents

**- VARIABLES SOCIOECONOMIQUES:**

- Zone Secteur primaire
- Zone Secteur secondaire
- Zone Secteur tertiaire

**- VARIABLES PATRIMONIALES:**

- Forêts Publiques
- Sols urbains
- Terrains constructibles
- Terrains non constructibles
- Sites archéologiques (pouvant établir différentes classifications selon l'usager, par exemple, zones de précaution, Biens d'intérêt culturel, etc.)
- Zones d'intérêt spécial
- Croisement des chemins de transhumance
- Croisement des infrastructures
- Exploitations minières et carrières

La majorité des variables précédentes pourront comprendre plusieurs sous-catégories étant donné que pour un point sur l'axe, il pourrait exister plusieurs évaluations pour être situé à l'intérieur de plusieurs périmètres correspondants à plusieurs sous-catégories. Ainsi, un point pourrait appartenir à une zone LIC et en même temps à une zone de parc naturel.

Pour ces variables avec sous-catégories et dans le but de traiter correctement les affectations territoriales, les qualifications, sur chaque point de l'axe, correspondront aux sommes des qualifications dans chaque sous-catégorie, limitées par une valeur maximum de 10.

**Evaluation de la variable i sur chaque point =  $\sum$  Valeur sous-catégorie i < 10**

## **2. Evaluation des variables environnementales**

Comme on a indiqué plus-haut, TADIL obtient la qualification sur chaque point de l'axe en additionnant les évaluations de chaque sous-catégorie, avec une valeur maximum de 10.

En accord avec ce qui précède TADIL procède de la façon suivante:

- Pour chaque point de l'axe, il identifie les sous-catégories qui l'affectent.
- On considèrera la qualification dans chaque section de chaque sous-catégorie.
- On additionne les évaluations dans chaque point.
- Quand la valeur est supérieure à 10, on considèrera une valeur de 10.
- A posteriori, on obtiendra la multiplication de la séparation des sections, (S), x l'évaluation de la variable.
- On additionne les valeurs dans chaque section.
- On divise par la longueur de l'alternative.
- Ainsi, on obtient l'évaluation moyenne pour chaque variable.

Pour obtenir l'évaluation globale environnementale, on considèrera les pourcentages d'évaluation de chaque variable intégrante. On indiquera en particulier, les poids des variables suivantes:

- Zone d'évaluation
- Sols
- Faune
- Flore
- Zones du domaine public hydraulique
- Aquifères
- Zones d'intérêt paysager
- Champs visuels
- Liberté de mouvement de la faune

Une fois obtenue l'évaluation globale par alternative, les évaluations des alternatives comparables s'obtiendront en conférant une valeur 0 à celle de qualification inférieure, (moindre affectation), et en obtenant le reste des qualifications de la manière suivante:

**Qualification environnementale**  $Alt_i = \text{MIN}(10; 10 \times [(\text{Eval environ.}_i - \text{Eval environ.}_{alt \text{ avec qualification inférieure}}) / \text{Eval environ.}_{alt \text{ avec qualification inférieure}}])$

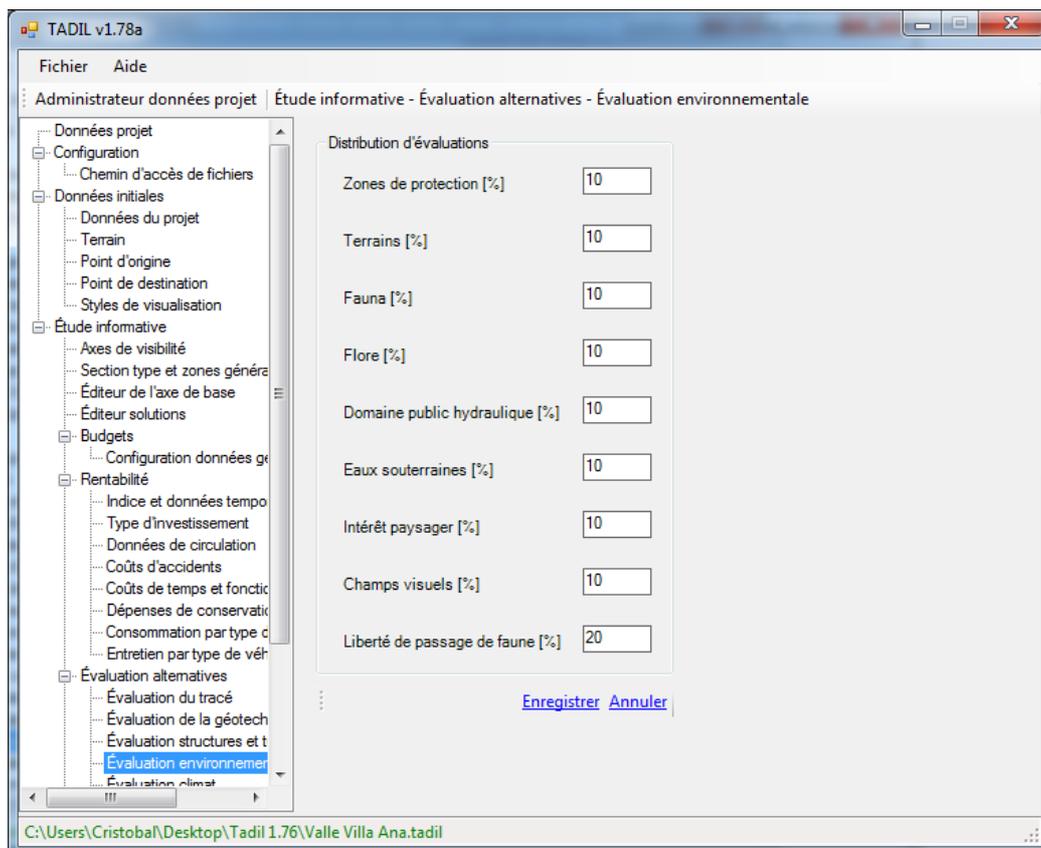


Image 6-4. Pondération de variables environnementales.

### 3. Evaluation des variables climatiques

Le procédé est identique à celui indiqué pour les valeurs environnementales.

De la même manière, il pourra exister des sous-catégories dans chaque variable, ce pourquoi la qualification sera la somme des évaluations dans chacune des sous-catégories avec une valeur maximum de 10.

Les variables qui s'évaluent sont les suivantes:

- Zones de grosses gelées
- Zones d'ombres
- Zones de fortes tempêtes
- Zones de fortes pluies
- Zones de neiges fréquentes
- Zones de vents forts
- Zones de brouillards denses

L'utilisateur indiquera les pourcentages de pondération de chacune des variables antérieures.

De la même façon, les qualifications entre les alternatives se feront par rapport à celle qui a l'évaluation la plus petite qui sera qualification 0.

**Qualification climatique**  $Alt_i = \text{MIN}(10; 10 \times [(\text{Eval climática}_i - \text{Eval climática}_{\text{alt con menor puntuación}}) / \text{Eval climática}_{\text{alt con menor puntuación}}])$

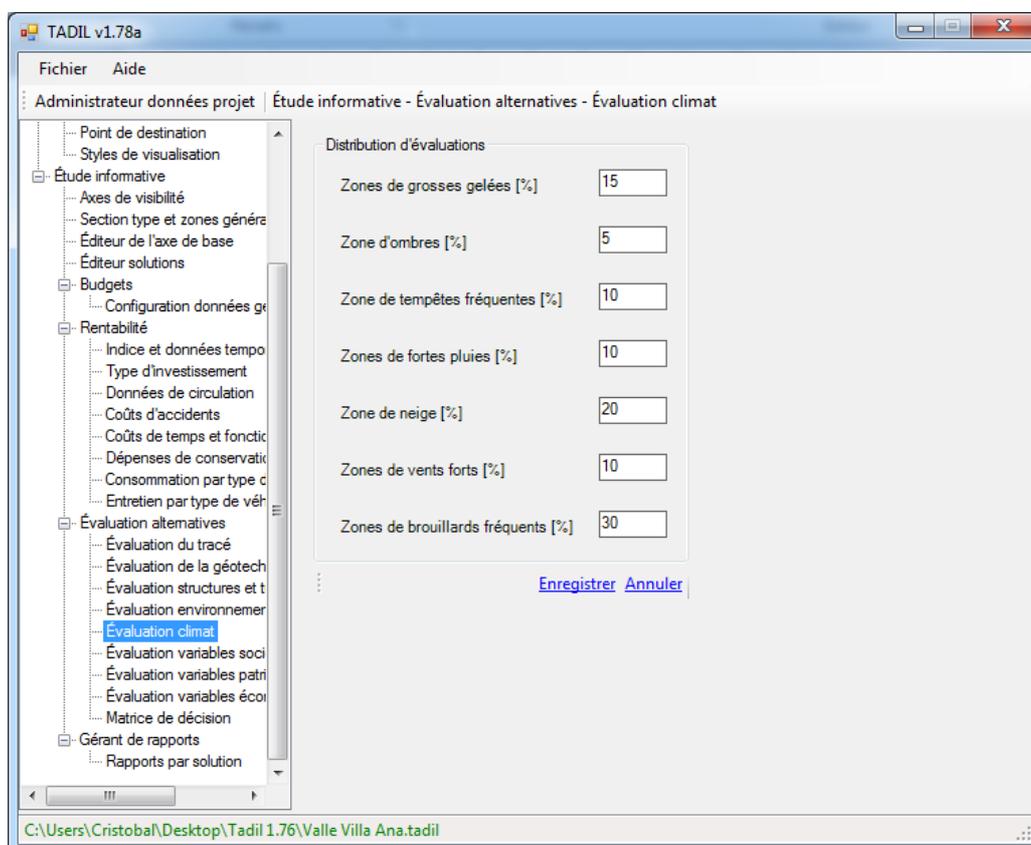


Image 6-5. Pondération de variables climatiques.

#### 4. Evaluation des variables socio-économiques

Dans le cas des variables socio-économiques, il n'est pas inclus de sous-catégories et un seul point devrait appartenir à un secteur unique socio-économique, avec son évaluation correspondante.

Les variables qui s'évaluent sont les suivantes:

- Zones du secteur primaire
- Zones du secteur secondaire
- Zones du secteur tertiaire

L'utilisateur indiquera les pourcentages de pondération de chacune des variables précédentes.

En général, étant entendu que les secteurs secondaires et tertiaires ont une plus grande productivité économique, ils présenteront un poids plus important par rapport au secteur primaire.

De la même manière, les qualifications entre les alternatives se feront par rapport à celle qui a la plus petite évaluation, c'est à dire qualification 0.

**Qualification socioéc.**  $Alt_i = \text{MIN}(10; 10 \times [(\text{Eval socioéc.}_i - \text{Eval socioéc.}_{alt \text{ avec qualification inférieure}}) / \text{Eval socioéc.}_{alt \text{ avec qualification inférieure}}])$

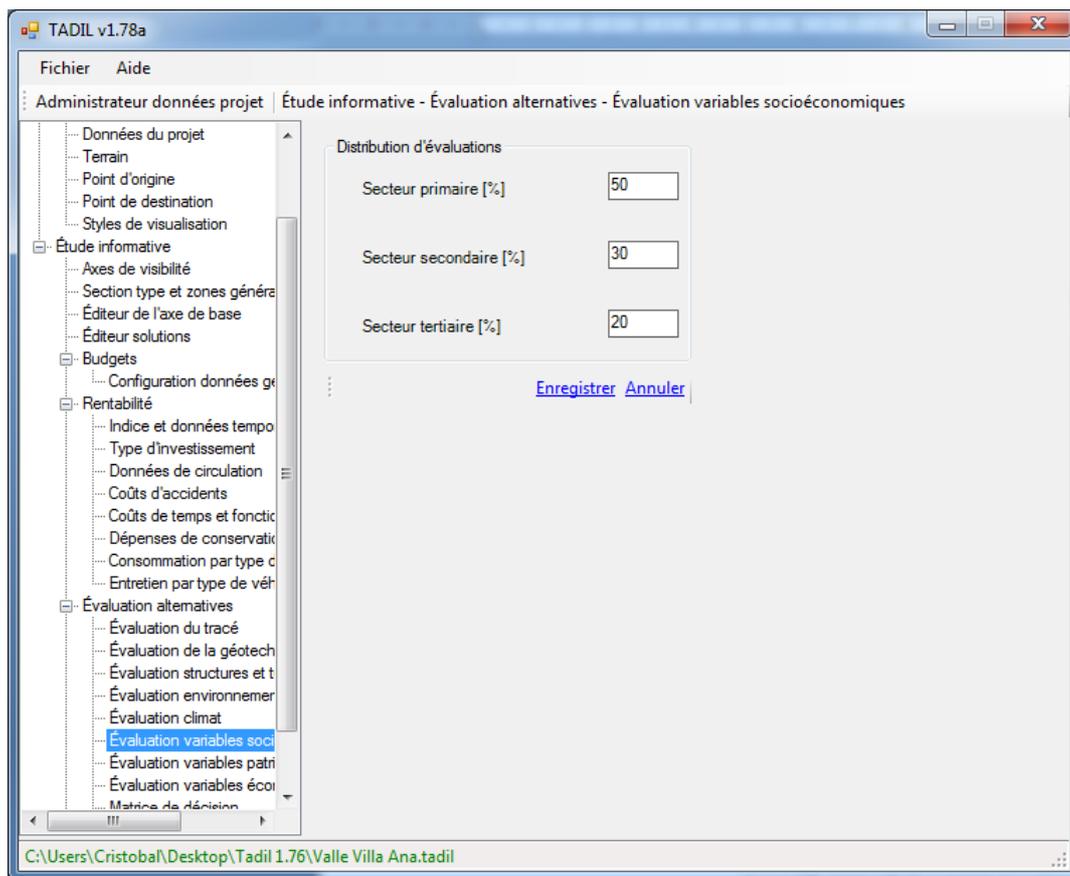


Image 6-6. Pondération de variables socioéconomiques.

## 5. Evaluation des variables patrimoniales

Dans le cas des variables patrimoniales, il existe des variables qui n'incluent pas des sous-catégories et d'autres où il est possible d'introduire plusieurs catégories; dans ces dernières quand un point appartient à plusieurs sous-catégories, l'évaluation correspondra à la Somme de toutes les qualifications de chaque sous-catégorie.

Les variables qui s'évaluent sont les suivantes:

- Forêts Publiques (avec sous-catégories).
- Sols urbains (sans sous-catégories).
- Terrains constructibles (sans sous-catégories).
- Terrains non constructibles (sans sous-catégories).
- Sites archéologiques (avec sous-catégories).
- Zones de spécial intérêt (avec sous-catégories).
- Croisement des chemins de transhumance (avec sous-catégories).
- Croisement des infrastructures (sans sous-catégories).
- Zones des infrastructures publiques (avec sous-catégories).
- Mines et carrières (avec sous-catégories).

L'utilisateur indiquera les pourcentages de pondération de chacune des variables précédentes.

De la même façon, les qualifications entre les alternatives se feront par rapport à celle qui a la plus petite évaluation, soit qualification 0

**Evaluation patrim. Alt<sub>i</sub> = MIN(10; 10 x [( Eval patrim. <sub>i</sub> . Eval patrim. alt avec qualification inférieure) / Eval patrim. alt avec qualification inférieure.]**

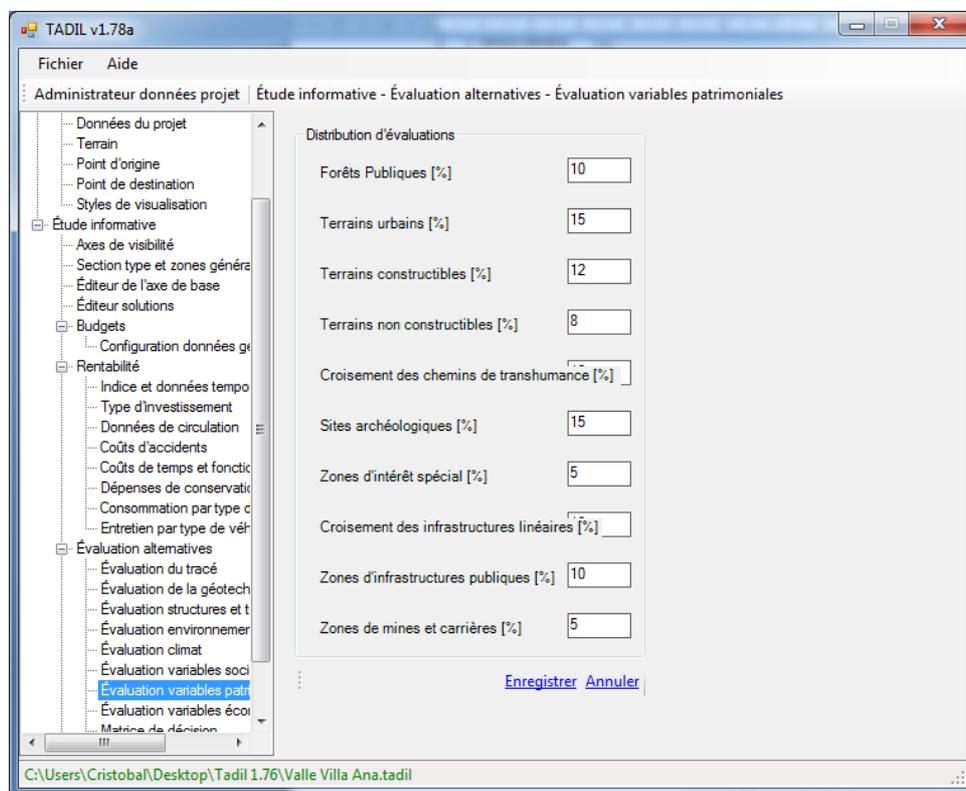


Image 6-7. Pondération de patrimoniales.

CHAPITRE 6. SÉLECTION D'ALTERNATIVES.

SOUS-CHAPITRE 5. EVALUATION DE LA RENTABILITÉ ÉCONOMIQUE.

**1. Variables que sont incluses.**

Avant d'évaluer la rentabilité, l'utilisateur devrait avoir calculé les ratios de rentabilité économique de chaque alternative.

Pour obtenir une évaluation comparative entre les alternatives, TADIL évalue la relation B/C, (bénéfice/coût), et la VAN de chaque alternative. Les qualifications s'obtiennent aussi de manière comparative entre les alternatives. Celle qui a une plus grande VAN obtiendra la qualification 0, et aura également la plus grande relation B/C.

Les alternatives avec les relations B/C ou VAN aux valeurs négatives sont considérées avec une qualification de 10.

Quand la VAN ou la relation B/C auront des valeurs négatives la qualification sera directement de 10.

**Qualification VAN Alt<sub>i</sub> =SI(VAN<0;10;MIN(10; 10 x [(-Eval VAN<sub>i</sub> + Eval VAN<sub>alt plus grande VAN</sub>) / Eval VAN<sub>alt plus grande VAN</sub>].))**

**Qualification B/C Alt<sub>i</sub> =SI(B/C<0;10;MIN(10; 10 x [(-Eval B/C<sub>i</sub> + Eval B/C<sub>alt plus grande VAN</sub>) / Eval B/C<sub>alt plus grande B/C</sub>].))**

De la même manière, TADIL évalue le volume des investissements nécessaire pour l'exécution des travaux. L'alternative avec le moindre investissement aura une qualification 0 et les autres obtiendront une qualification avec la formulation suivante.

**Evaluation Investissement Alt<sub>i</sub> =MIN(10; 10 x [(Eval Investissement<sub>i</sub> - Eval Investissement<sub>alt plus petit investissement</sub>) / Eval Investissement<sub>alt plus petit investissement</sub>].))**

Etant donné que l'investissement peut être public ou privé, les trois variables précédentes passent à 6. Quand il n'est pas prévu d'investissement privé, les cases correspondant aux ratios de VAN, B/C et investissement privé seront désactivées.

C'est pourquoi l'utilisateur devra pondérer avec des pourcentages chacune des variables précédentes pour obtenir la note finale de chaque alternative:

- VAN privée
- VAN publique ou sociale
- B/C privé
- B/C social ou public
- Investissement administration
- Investissement privé

Avec les qualifications précédentes, le programme obtiendra une évaluation par alternative. Pour obtenir, à nouveau, des qualifications comparables, on procède en donnant la valeur 0 à l'alternative avec la note la plus basse et au reste selon la formulation suivante:

Une fois obtenue l'évaluation moyenne de chaque alternative, pour obtenir les qualifications comparables entre les solutions, on applique la formulation suivante:

**Qualification rentab.**  $Alt_i = \text{MIN}(10; 10 \times [(\text{Eval rentab}_i - \text{Eval rentab}_{alt \text{ avec une qualification inférieure}}) / \text{Eval rentab}_{alt \text{ avec une qualification inférieure}}])$

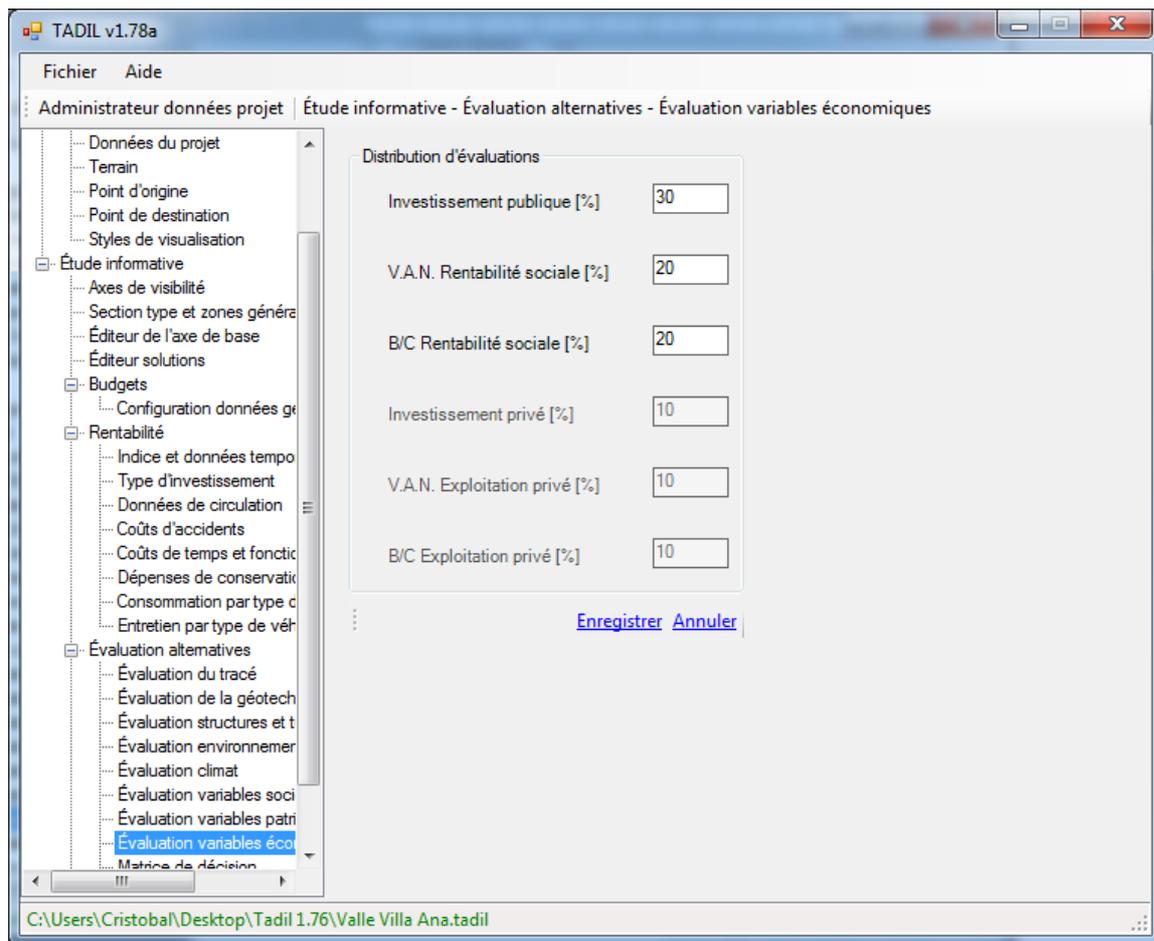


Imagen 6-8. Pondération de variables économiques.

CHAPITRE 6. SÉLECTION D'ALTERNATIVES.

*SOUS-CHAPITRE 6. EVALUATION PONDÉRÉE ET SÉLECTION DES ALTERNATIVES.*

**1. Qualifications par groupes**

Avec le processus précédent TADIL aura obtenu les qualifications comparatives entre les alternatives dans les chapitres suivants:

- Tracé
- Géotechnique
- Structures et tunnels
- Evaluation environnemental
- Evaluation climatique
- Evaluation socio-économique
- Evaluation patrimoniale
- Viabilité économique

Selon le procédé de TADIL, dans chaque chapitre il existera une alternative avec une qualification 0 et par conséquent elle correspondra à la meilleure solution en accord aux variables comprises dans le dit chapitre.

Cependant, tous les aspects antérieurs devraient être considérés, c'est pour cette raison que l'utilisateur doit pondérer, au moyen de pourcentages le poids de chaque chapitre, pour pouvoir obtenir une note globale de chaque alternative.

Pour cela, dans le menu matrice (central de décision) TADIL permet d'introduire jusqu'à trois hypothèses de pondération.

L'utilisateur devra déterminer la distribution la plus "politiquement correcte" selon les particularités de l'investissement, territoire et infrastructure.

Ainsi pour un investisseur privé, la viabilité économique sera prioritaire; pour une administration publique les aspects socio-économiques et environnementaux seront prioritaires en plus de l'investissement; pour une entreprise de construction les aspects constructifs soumis à la complexité de la géotechnique, structures et tunnels seront fondamentaux.

Le menu permet d'obtenir automatiquement les qualifications de chaque alternative en indiquant la solution de moindre évaluation.

Finalement dans le menu de listing, TADIL permet d'obtenir les qualifications détaillées de chaque alternative par chapitres et variables.

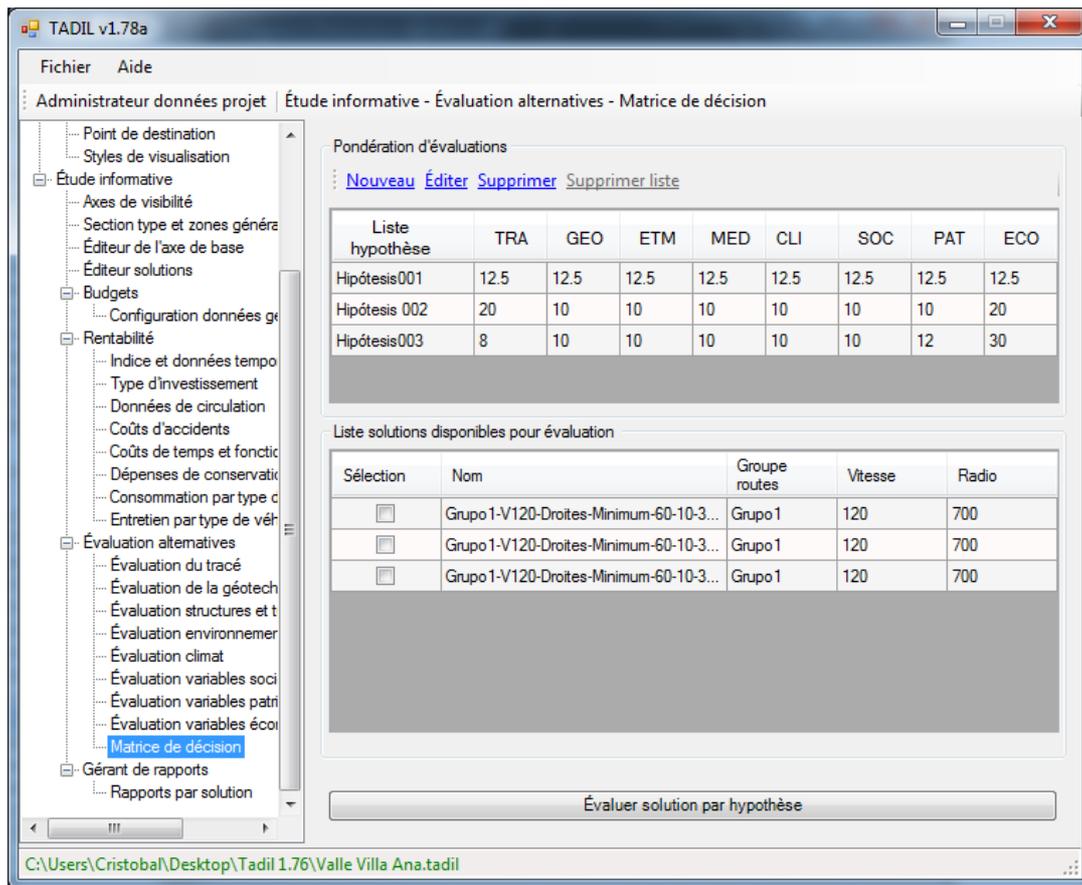


Image 6-9. Évaluation pondérée finale.

**LOGICIEL T.A.D.I.L.**

---

**TECHNIQUES D'AUTO-TRAÇAGE POUR LA CONCEPTION  
D'INFRASTRUCTURES LINÉAIRES.  
"TADIL."**

**GUIDE MÉTHODOLOGIQUE DE L'APPLICATION.**

**CHAPITRE 7. L'ÉTABLISSEMENT DE TRACÉS**

**AGROUPATION D'INTÉRÊT ÉCONOMIQUE T.A.D.I.L.**

LOGICIEL TADIL

TECHNIQUES DE L'AUTO-TRAÇAGE POUR LA CONCEPTION  
D'INFRASTRUCTURES LINÉAIRES

Guide Méthodologique d'Application

CHAPITRE 7. ÉTABLISSEMENT DE TRACÉS

1<sup>o</sup> ÉDITION.

Ce chapitre contient tous les outils nécessaires pour obtenir les tracés de manière automatique, en permettant l'obtention des axes complets de tracé, profils longitudinaux, dessin sur plan des terrassements et des sections transversales.

TADIL possède un large éventail de techniques et d'algorithmes qui permettent d'établir de multiples alternatives pour le territoire et l'optimisation des tracés.

Dans ce chapitre, on décrit les options que peut utiliser l'utilisateur pour l'établissement des alternatives de tracé sans approfondir dans la conception des algorithmes, car cela compliquerait et rendrait ennuyeux l'utilisation du logiciel pour l'utilisateur.

On partira d'un modèle digital du terrain créé antérieurement par l'utilisateur.

CHAPITRE 7. ÉTABLISSEMENT DE TRACÉS.  
*SOUS-CHAPITRE 0. PROCÉDÉ OU MÉTHODE*

## 0. Introduction

Dans ce chapitre, on décrit les options que le logiciel TADIL apporte en vue de l'implantation des alternatives, ainsi que les possibilités que le programme permet pour établir des études paramétriques et de sensibilité des variables du tracé apportant à l'usager la meilleure analyse possible de la capacité d'accueil sur le territoire.

## 1. Méthodologie

On part du fait que l'usager aura établi la cartographie du projet avant de commencer l'obtention des tracés.

Une fois disponible la cartographie, l'usager pourra commencer l'introduction des données pour établir les tracés.

Le procédé que TADIL suit pour définir le tracé sur plan et le profil correspond à la séquence suivante:

- 1° Obtention des zones de non passage du tracé.
- 2° Obtention de l'axe de visibilité.
- 3° Calcul de l'axe de base.
- 4° Calcul des variantes et les optimisations de l'axe de base.
- 5° Calcul de l'axe du tracé.
- 6° Calcul du profil longitudinal.

Les données pour élaborer le procédé antérieur s'introduiront dans le menu de tracé quand on réalisera une étude préalable et sinon elles viendront du Système d'Information Géographique et du menu de sections quand on réalisera l'étude informative. C'est la raison pour laquelle l'usager devra indiquer le type d'étude qu'il souhaite réaliser.

Quand l'usager prétend analyser exclusivement la capacité d'accueil du territoire, il lui suffira d'élaborer une étude préalable. Au contraire lorsqu'il développera une étude complète avec connaissance de toutes les variables territoriales, il devra choisir l'option de l'étude informative. Dans ce cas, préalablement l'usager devra avoir introduit les données territoriales dans le menu SIG ainsi que celles de la section type.

Quand l'usager choisit l'option de l'étude informative, une bonne partie des cases du menu tracé seront désactivées par rapport au menu de l'étude préalable; la raison en est que le programme obtiendra ces données du menu du Système d'Information Géographique et du menu des sections types.

Dans l'option de l'étude informative, une fois que les axes seront obtenus sur plan et profil, l'usager pourra obtenir le dessin sur plan et les sections transversales.

Ci -dessous, on va décrire brièvement chacune des étapes antérieures:

#### A. Définition des zones de non passage.

Les zones de non passage supposent des obstacles au tracé entre le point d'arrivée et le point de départ; ces zones de non passage peuvent correspondre à des zones du SIG, (dans le cas des études informatives), ou à des zones à écarter à cause de leur orographie ou une autre type de condition (dans le cas des études préalables).

#### B. Axe de visibilité.

Il permet de créer une polyligne d'avancée à partir du point d'origine jusqu'au point d'arrivée, en longeant les zones de non passage avec ou en suivant la plus petite longueur, et elle définit par conséquent un "axe qui suit la trace ou d'avancée" pour l'axe de base.

#### C. Axe de base.

C'est une polyligne qui constitue le squelette de notre tracé et qui se configure avec géométrie qui permet sa conversion en un axe conventionnel de tracé.

#### D. Variantes et optimisation.

Ce sont des techniques qui permettent d'établir de multiples axes basiques en partant des variables définies par l'utilisateur.

#### E. Axe de tracé.

C'est un axe conventionnel de tracé qui inclut des lignes droites, des courbes et des courbes de transition – clotoïdes. Sa conception correspond à la majorité des normes de tracé. L'utilisateur pourra sélectionner la norme d'application.

#### F. Profil longitudinal.

Il suppose la définition de l'inclinaison pour l'axe du tracé obtenu.

#### G. Optimisation du profil.

Dans les chapitres suivants, on définit les variables qui interviennent dans l'établissement des tracés.

CHAPITRE 7. ÉTABLISSEMENT DES TRACÉS.

SOUS-CHAPITRE 1. VARIABLES DE TRACÉ

**1. Sélection du type d'étude**

La première fenêtre que l'utilisateur trouve dans le menu de tracé correspond à la sélection du type d'étude. Comme on l'a indiqué dans les chapitres précédents, le programme permet de Développer deux types d'analyses différenciées par la profondeur de l'étude et en particulier par la connaissance du territoire étudié pour l'implantation des infrastructures.

Dans le chapitre 1, on décrit les différences entre plusieurs études.

TADIL permet d'élaborer des études préalables sans avoir besoin d'implémenter le menu SIG, le menu des unités de travaux ou le menu de sections types, en introduisant les données dans le menu de tracé.

Au contraire, quand l'utilisateur développe une étude informative, il devra introduire préalablement les variables du Système d'Information Géographique, les valeurs des unités et la section type à implémenter. Une fois introduite l'information, l'utilisateur pourra accéder au menu de tracé et établir des alternatives.

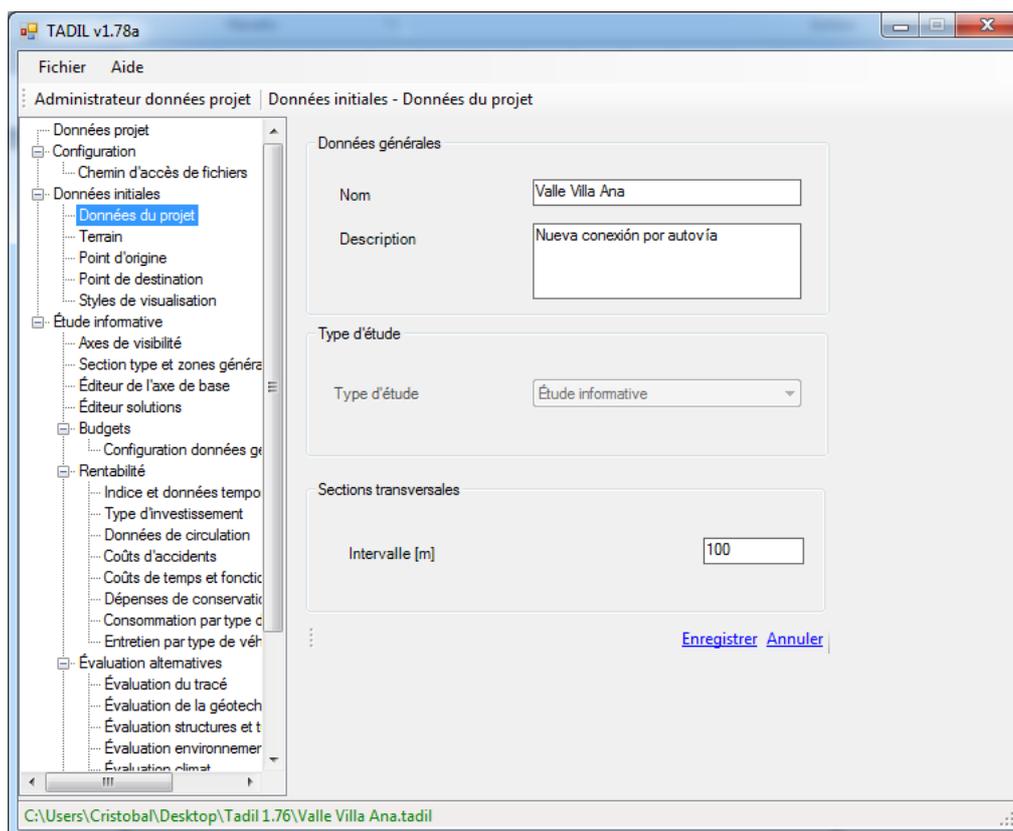


Image 7-1. Données du projet.

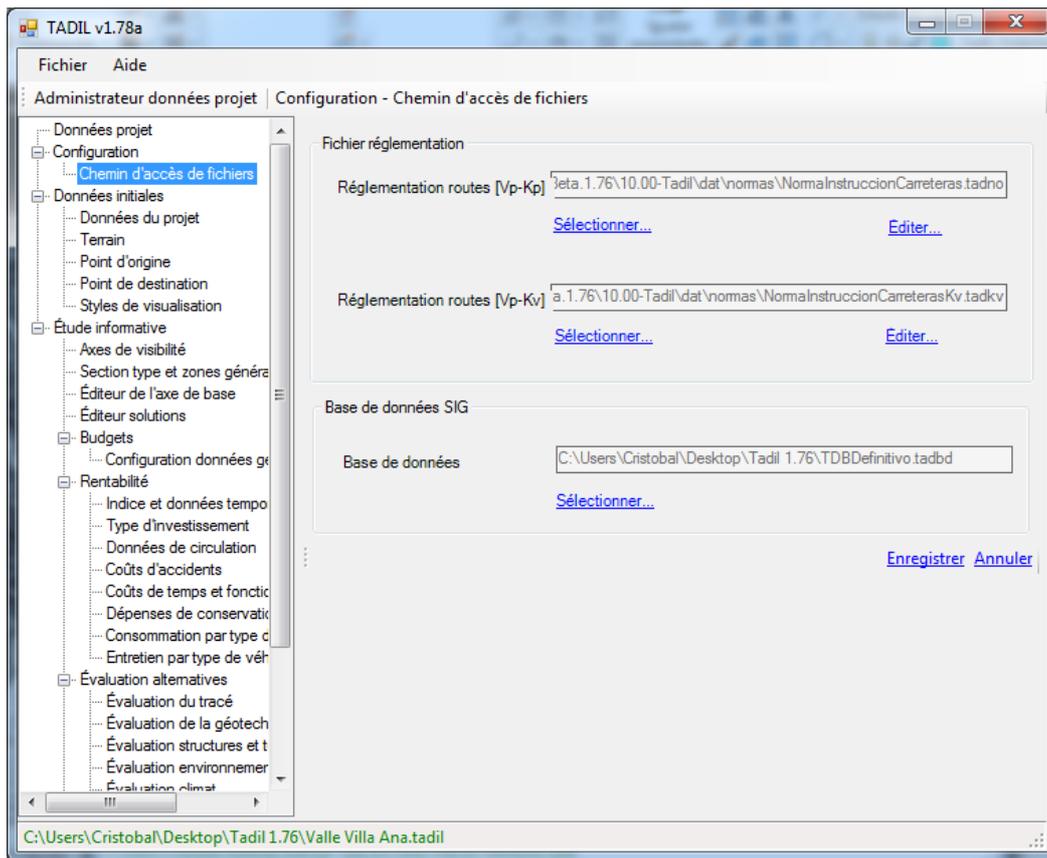


Image 7-2. Sélection de réglementation.

## 2. Introduction des zones de non passage

Dans le cas de l'étude informative, le programme chargera les périmètres introduits dans le menu du Système d'Information géographique comme zones de non passage. Comme on l'a vu dans la section du Modèle Numérique du Terrain, (Chapitre 1), on peut marquer les triangles avec pente plus grande que l'indiquée par l'utilisateur. Ces triangles seront placés sur une couche appelée `_Tadil_AnalisisPendiente`. Dans la section terrain du Module TDI, l'utilisateur pourra aussi bien sélectionner les triangles à traiter comme zones de non passage ou bien dessiner zones spécifiques et les sélectionner comme zones de non passage.

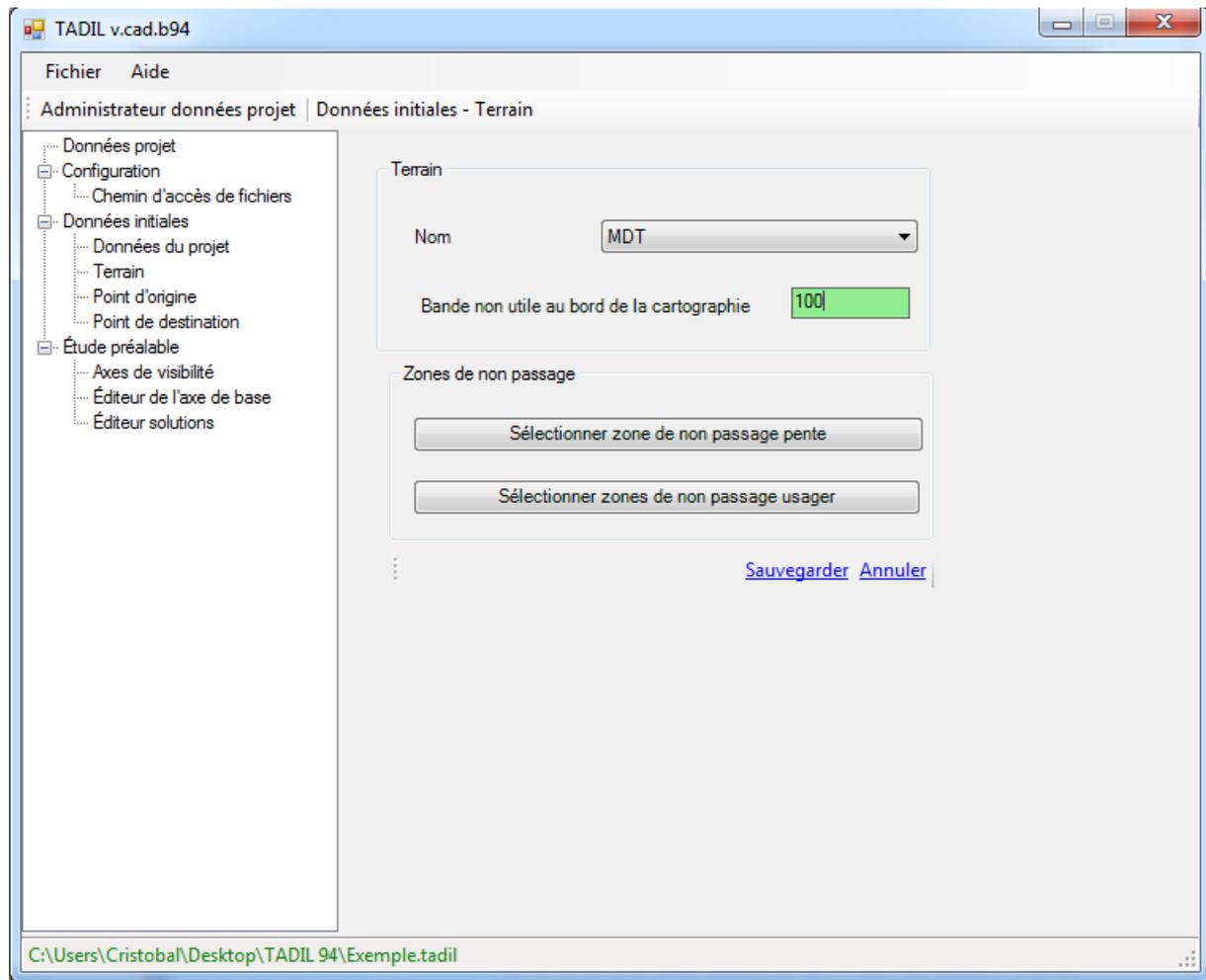


Image 7-3. Création de zones de non passage.

### 3. Début et fin

L'utilisateur peut introduire graphiquement les valeurs  $x$ ,  $y$ ,  $z$  du point de départ et du point d'arrivée, ou bien les introduire directement.

L'utilisateur pourra marquer les caractéristiques de l'alignement de départ et d'arrivée avec les données suivantes:

- Azimut (mesuré à partir du nord).
- Longueur de la ligne de départ.
- Pente de départ.
- L'utilisateur pourra aussi indiquer le besoin de garantir que l'alignement de départ en droite se maintienne; s'il ne marque pas cette case, les accords sur plan entre les alignements réduiront la longueur de la droite de départ ou d'arrivée indiquée dans la case précédente. Au contraire, si l'utilisateur marque cette case, les accords sur plan s'inséreront en respectant la longueur de la droite. Ce critère résulte intéressant quand il faudra maintenir une tangence précise avec une infrastructure existante.

Quand la pente d'arrivée ou de départ impose des remblais ou déblais supérieurs à ceux qui sont permis par l'utilisateur, le programme exécutera l'avertissement correspondant De la même manière quand le point à la fin de la

droite de départ ou d'arrivée avec les données apportées par l'utilisateur se situe en dehors de la cartographie, TADIL exécutera un avertissement.

Il se doit indiquer que l'utilisateur ne pourra pas marquer seulement la case longueur de départ sans spécifier l'azimut, par contre il pourra marquer l'azimut sans indiquer la longueur de départ. Dans ce dernier cas, TADIL ajustera une droite de départ suffisante pour l'embranchement avec l'alignement suivante.

L'utilisateur pourra élaborer de nouvelles alternatives en inversant le point d'origine par le point d'arrivée. Il faut souligner que les tracés dans plusieurs cas diffèrent habituellement aux extrêmes en convergeant dans la zone centrale, et pour des tracés de plus courte longueur ils pourraient même avoir des implantations à travers des passages orographiques différents. La raison repose sur le fait que les algorithmes de tracé de départ et d'arrivée diffèrent à effet géométrique.

Quand on utilise la méthode de convergence à moitié, le résultat sera le même, indépendamment de quel point on a spécifié comme origine et quel comme destination.

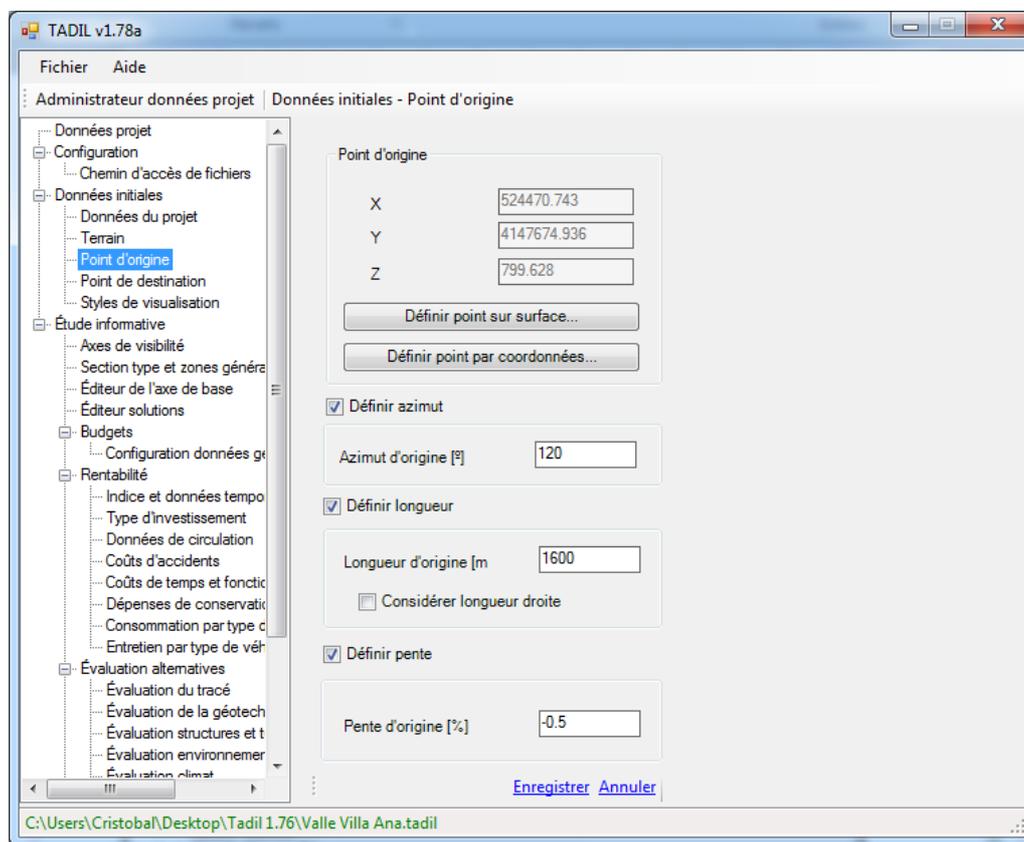


Image 7-4. Introduction point de début.

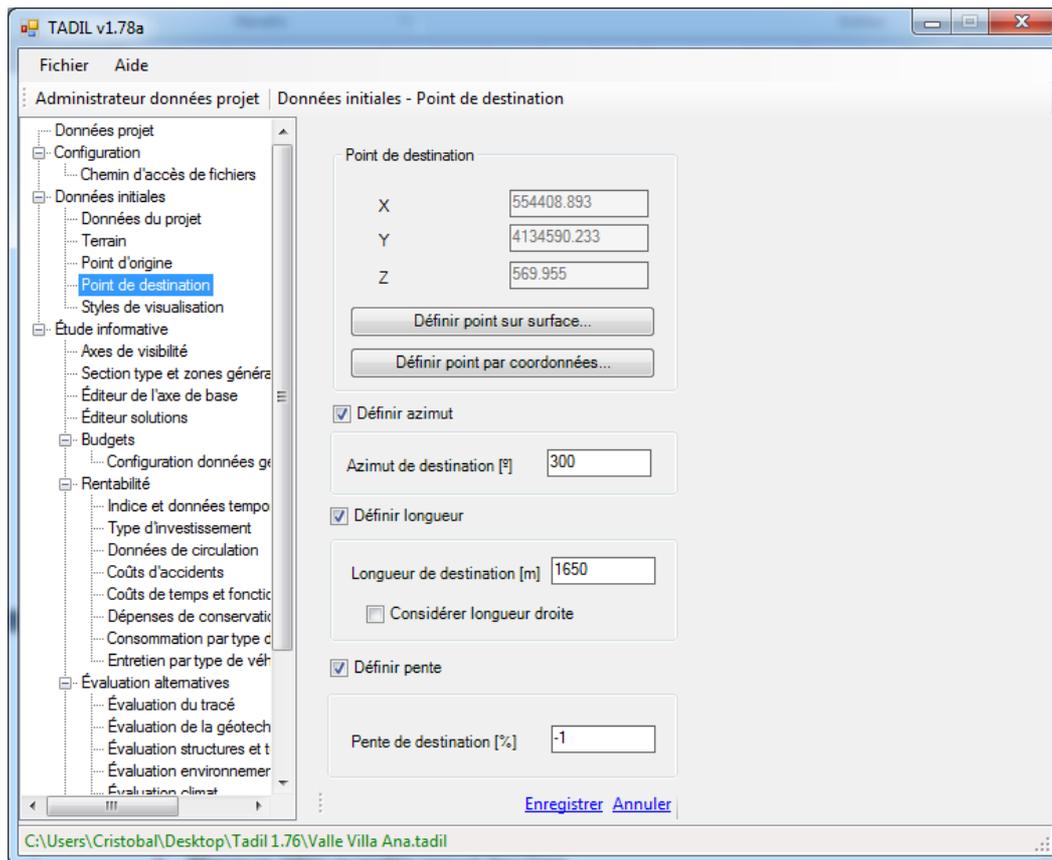


Image 7-5. Introduction point de destination

#### 4. Géométrie de tracé

De la même manière, concernant la géométrie de tracé, l'introduction des données sera très différente selon que l'on prétend réaliser une étude préalable ou une étude informative.

Quand l'utilisateur réalise une étude informative il devra indiquer seulement les valeurs de la pente maximum et minimum admissible ainsi que les pentes maximum et minimum de structures. Finalement, il indiquera la discrétisation de l'axe qui par défaut sera 20m.

Au contraire quand l'utilisateur élabore en plus des variables précédentes, une étude préalable, il devra indiquer les valeurs suivantes qui seront applicables à tout le territoire:

- Largeur de la plateforme en mètres.
- Talus de déblai.
- Talus de remblai.
- Maximum déblai et remblai mesuré dans l'axe.
- Permettre l'établissement des structures et tunnels.
- Hauteur maximale du pilier dans la case de permettre des structures.

Finalement TADIL permet d'élaborer des analyses de sensibilité rapides au moyen de l'application d'un coefficient de diminution des variables suivantes:

- Pente maximale de tracé.
- Hauteur maximale de déblai et remblai.
- Pente maximale des structures.
- Hauteur maximale du pilier.

Il faut indiquer que cet outil est très utile pour obtenir des variations des paramètres vers une solution de plus grande qualité.

Ainsi par exemple, on imagine le projet d'une route pour 80km/h avec des déblais et des remblais maximum de 40m et des pentes de 7% maximum. Une fois obtenus les tracés, on commencerait à essayer avec des remblais et des déblais de maximum 30m en obtenant de nouvelles solutions. A posteriori on le ferait en modifiant la pente maximum à 5% et ainsi on obtiendrait de nouvelles solutions. Enfin, on pourrait essayer avec une solution de 5% de pente maximum et de 30 m de hauteur maximum, et ainsi de suite. Evidemment, il arrivera un moment où les restrictions seraient tellement importantes que l'obtention d'un tracé par TADIL ne pourra être viable, si on introduit, en plus, la possibilité d'insérer les structures et les tunnels, la fourchette d'alternatives sera d'autant plus vaste, qu'elle nous permettra d'avoir une vision plus ample des possibilités de tracé. Si en outre on introduit la possibilité que soient inclus des structures et des tunnels, l'éventail des alternatives sera très large et cela nous permettra d'avoir une vision très ample des possibilités de tracé.

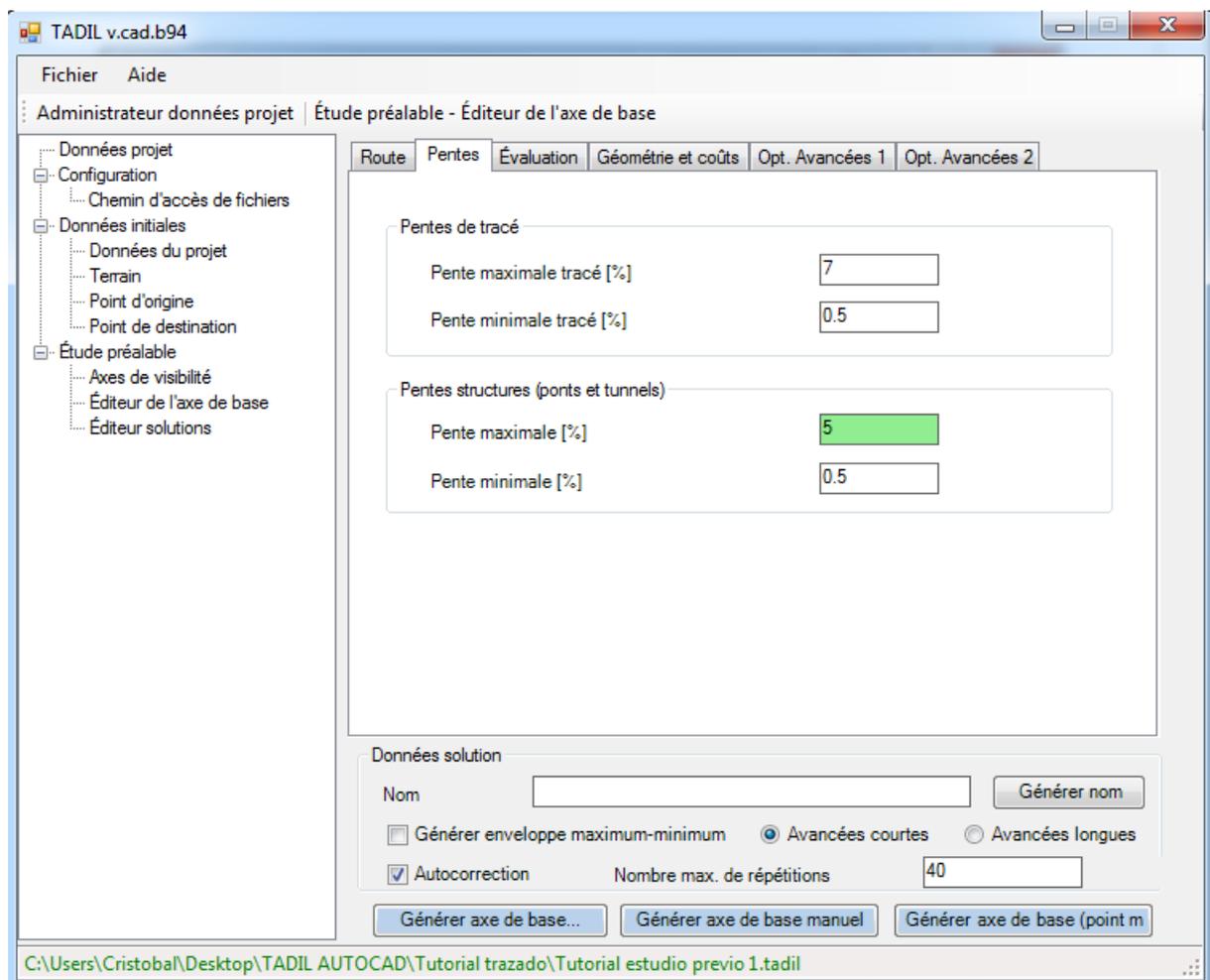


Image 7-6. Pentes maximales.

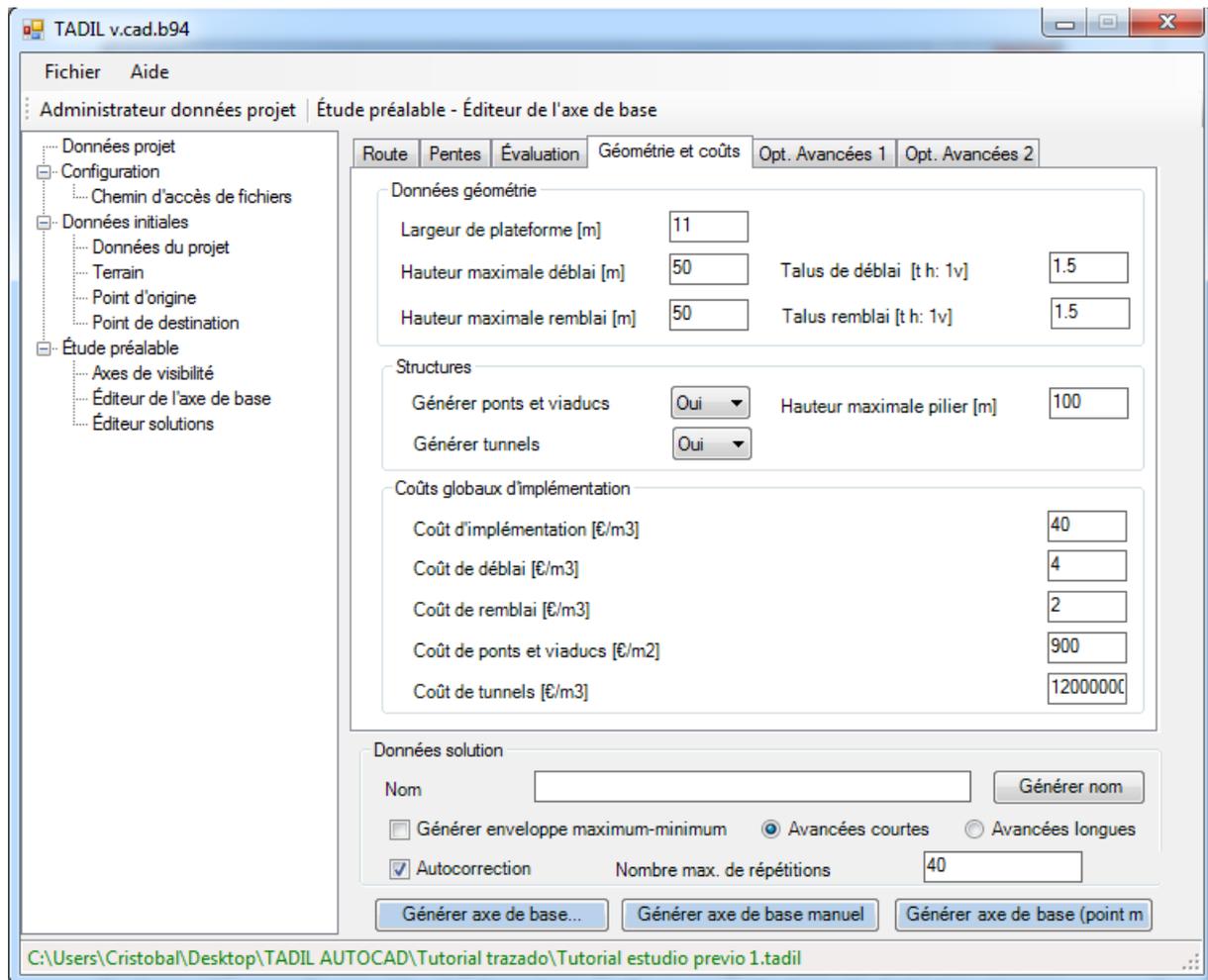


Image 7-7. Géométrie et coûts dans l'option d'étude préalable.

## 5. Route

L'utilisateur sélectionnera le type de route à considérer, en indiquant le groupe (1 ou 2) et la vitesse du projet en Km/h.

Comme variables de conception, il exprimera sa préférence pour les tracés avec l'inclusion de droites ou avec alignements des courbes. La différence entre plusieurs cas se décrit de la façon suivante:

- Dans la préférence pour les alignements de droites, on cherchera l'insertion des droites avec la plus grande longueur possible en accord avec la norme, liées par des séquences de cloïde-courbe-cloïde symétriques. Dans les changements d'orientation, on insérera des droites entre les cloïdes.
- Dans la préférence pour les courbes en alignement en S, on insérera des cloïdes en S sans droite intermédiaire dans les changements d'orientations. De leur côté, les courbes seront d'avantage développées (le pourcentage de tracé en courbe et en cloïde est en général supérieur).

Les valeurs suivantes sont fournies avec un caractère informatif et correspondent à l'axe de base du tracé:

- Valeur minimale au départ et à l'arrivée. Elle fait référence à la longueur de l'alignement de l'axe de base sur les points d'arrivée et de départ.
- Minimum et maximum sont les valeurs limites des avancées de l'axe de base pour le territoire.

- Maximun, indique la longueur maximum de l'avancée dans l'axe de base quand on choisit l'option de calcul "Avancées Longues".

Le sous-menu Options Avancées inclut les options suivantes:

- Invalider les tronçons avec Accroissements de Longueur plus grands que le pourcentage indiqué par l'usager. Cette option permet que les segments des tracés présentent des longueurs harmonieuses en limitant spécialement les accroissements des alignements des droites par rapport à la précédente.
- Considérer Aij constante implique que toutes les avancées de l'axe de base aient la même longueur.
- Tolérance sur le point objectif, recommande d'utiliser un pourcentage au dessus de 50%, permettant, ainsi, que les tracés soient moins sinueux et plus directs. Cette option permet d'anticiper les points objectifs de l'axe de visibilité.
- Eventail de l'angle total (°), il fait référence à l'angle de projection des options du tracé dans l'algorithme de la recherche locale. (Recherche locale, demande la définition)
- Degrés de discrétisation (°), se réfère à la séparation des radiales dans les algorithmes de recherche locale.

En général, l'usager devra avoir de l'expérience pour l'utilisation des options précédentes, il n'est pas recommandable de modifier des valeurs sauf pour les essais très spécifiques de tracé.

Finalement, pour le calcul automatique du profil longitudinal, l'usager pourra sélectionner entre les valeurs minimums ou optimales de courbe verticale en fonction de la norme de référence

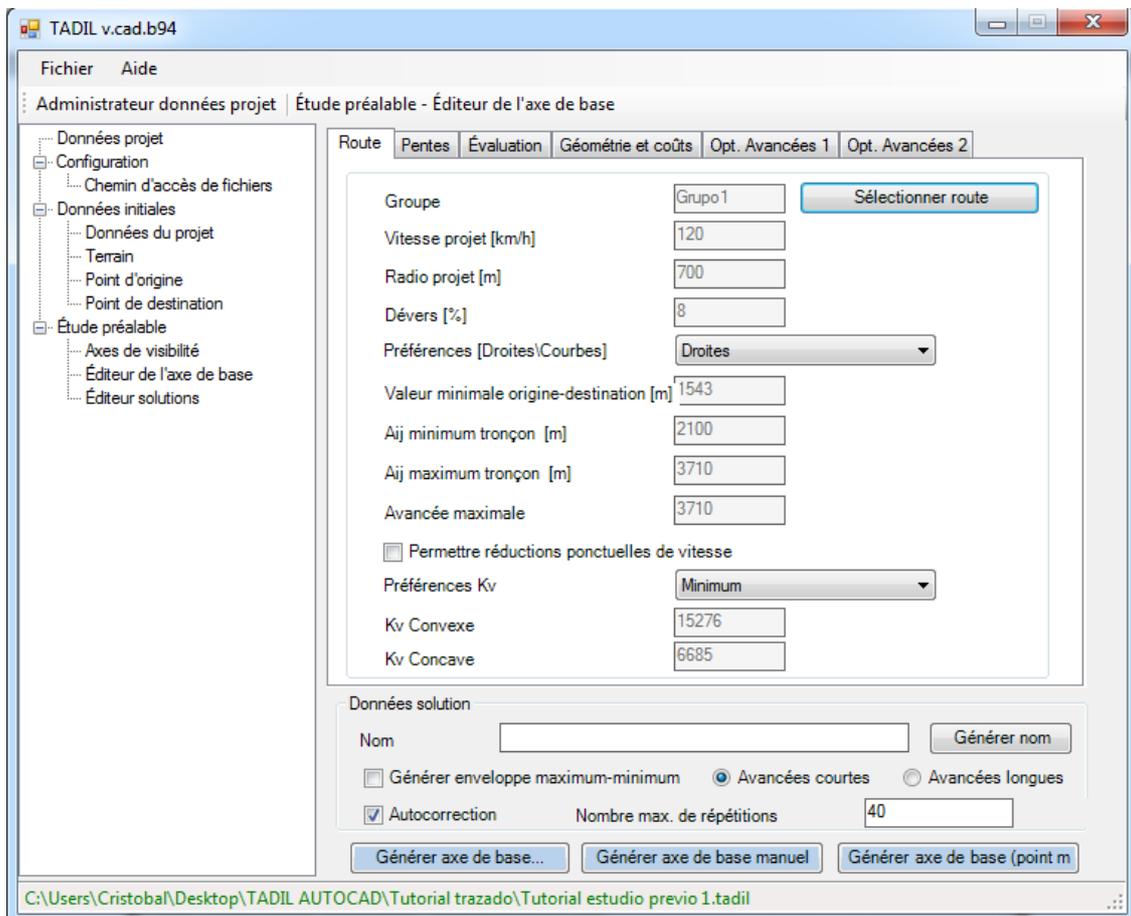


Image 7-8. Données de l'infrastructure.

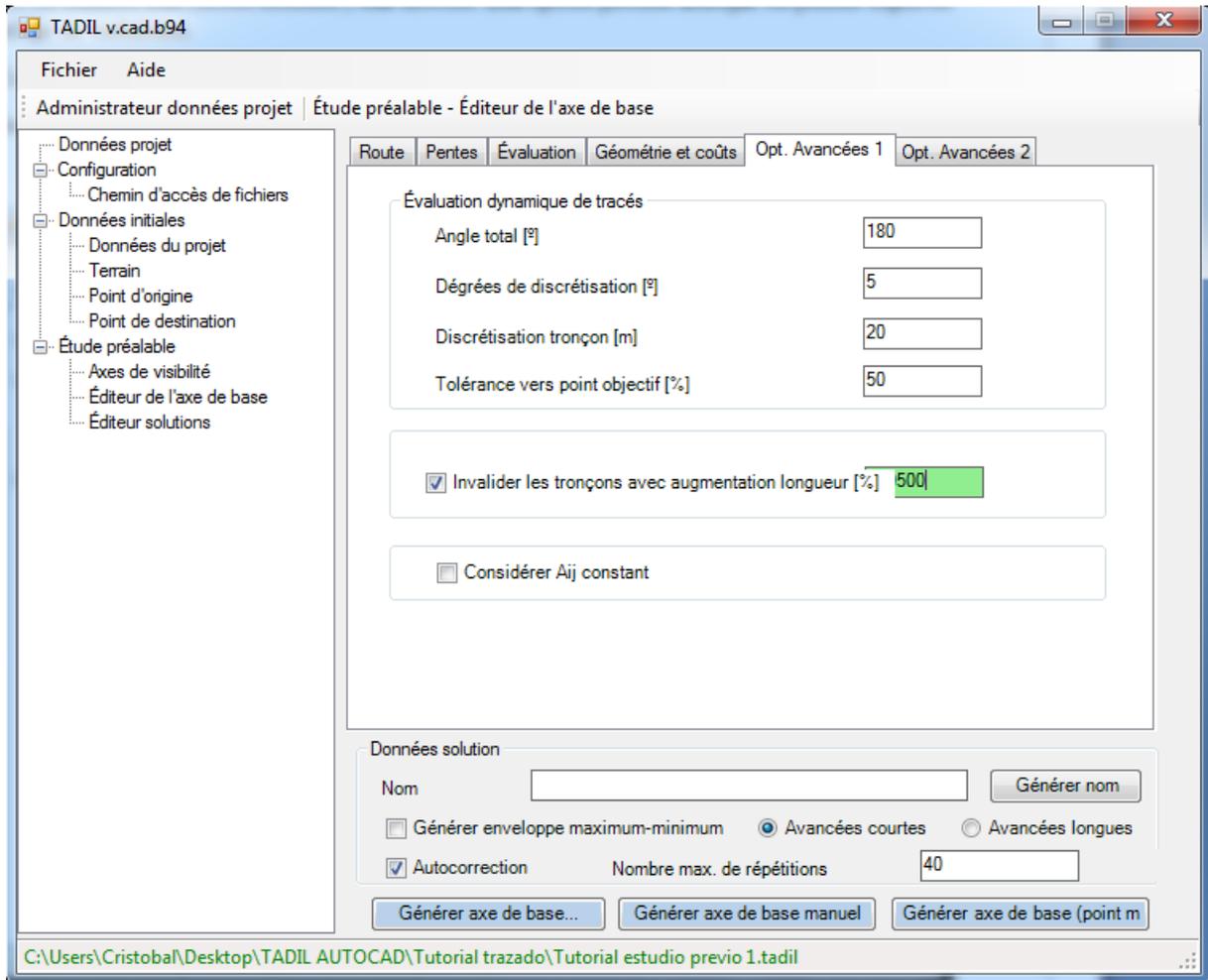


Image 7-9. Menu d'options avancées 1.

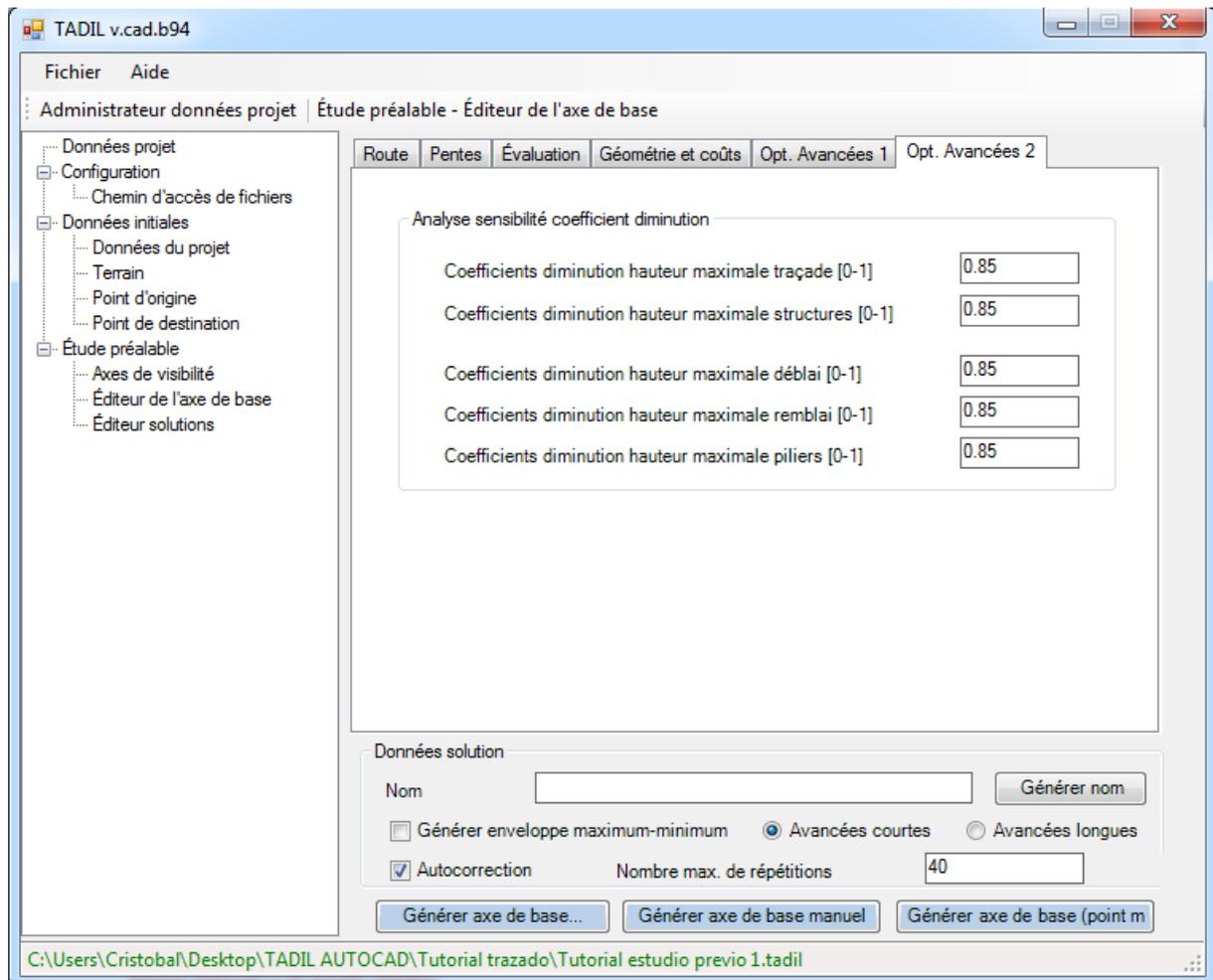


Image 7-10. Menu d'options avancées 2.

## 6. Coûts globaux

Ce menu sera non opératif pour l'option d'étude informative puisque les valeurs s'obtiennent du menu du Système d'Information Géographique et de la base des unités de travaux implémentées.

Dans le cas de l'étude préalable, l'utilisateur devra indiquer les valeurs suivantes:

- Coût de l'implantation: il s'agit du coût du terrain de fondation et de la superstructure en incluant les chaussées qui sont nécessaires pour la construction de l'infrastructure. L'utilisateur donnera le prix par mètre carré.
- Coût des déblais: on indiquera le coût par mètre cube.
- Coût des remblais: on indiquera la valeur par mètre cube.
- Coût des structures: on indique un macro-prix par mètre carré de tablier.
- Coût du tunnel: on apporte un macro-prix par mètre linéaire.

Quand l'utilisateur élaborera une étude informative TADIL obtient les valeurs antérieures de la manière suivante:

- Coût de l'implantation: il comprendra la somme du coût des couches de revêtements en fonction du prix de chaque unité employée pour le revêtement, plus le coût de chaque couche du terrain de fondation selon le prix des unités employées. Cette valeur s'obtient point après point du tracé (d'après la

discrétisation introduite), en fonction du groupe géotechnique crée dans le menu SIG auquel appartient le point. Ce coût s'exprime de la manière suivante:

$$CI = \sum EFi \times PFi + \sum EEi \times PEi, \text{ où:}$$

CI, est le coût de l'implantation.

EFi, est l'épaisseur de chaque couche de chaussé en mètre.

PFi, est le prix de chaque couche de revêtement en euros par mètre cube.

EEi, est l'épaisseur de chaque couche du terrain de fondation en mètres.

PEi, est le prix de chaque couche du terrain de fondation en euros par mètre cube.

- Coût des remblais: il comprendra la valeur moyenne des coûts de remblai avec matériel provenant des travaux et des coûts de déblai avec matériel provenant d'emprunts de l'unité considérée dans le groupe géotechnique auquel appartient le point de l'axe.
- Coût des déblais: il comprendra aussi la valeur moyenne des coûts de déblais pour décharge et des déblais pour utilisation en chantier de l'unité inclut dans le groupe géotechnique auquel appartient le point.
- Coût de la structure: il correspond au prix par mètre carré du tablier de la typologie de la structure considérée dans le milieu géographique défini dans le menu SIG auquel appartient le point.
- Coût du tunnel: il correspond au prix par kilomètre de la typologie de tunnel considéré dans le milieu géographique défini dans le menu SIG auquel appartient le point.

Il faut indiquer que dans l'évaluation dynamique des tracés, TADIL ne quantifie pas d'autres unités telles que signalisation, drainage, retraitement, etc. Dans la mesure où on considère que ces valeurs seront similaires pour toutes les alternatives possibles et en accord avec la catégorie de l'infrastructure qui est prévue. L'objet final étant de pouvoir comparer de manière dynamique entre les itinéraires possibles auxquels il est fait référence pour le coût du volume des terres, des chaussées et terrains de fondation ou structures et tunnels.

## 7. Evaluation dynamique des alternatives

Dans l'évaluation dynamique des alternatives TADIL considère trois facteurs

- Rapprochement au point d'arrivée.
- Orographie du terrain où il est implanté donné par la pente maximum du modèle digital de ce dernier.
- Coût global.

L'utilisateur devra indiquer les pourcentages qui en s'additionnant obtiennent la qualification de 100%.

Normalement, dans la majorité des tracés, on donnera la primauté au coût de l'infrastructure, et ensuite la proximité au point d'arrivée et finalement à l'orphographie de l'implantation.

Si l'utilisateur prendra en compte le 100% de poids pour le coût global, il obtiendra sûrement un tracé avec un volume inférieur d'excavation mais moins direct qu'en introduisant un pourcentage d'évaluation par proximité.

Pour une évaluation tenant compte du 100% de rapprochement au point d'arrivée, on obtiendra un tracé très direct mais avec un coût de construction plus important.

Finalement l'introduction de la variable orographie du terrain permet de donner la primauté à l'implantation de tracés à travers des terrains plus plats ; si on calcule cette variable avec l'établissement des zones de non passage pour raison d' orographie à grande pente, on pourra obtenir des tracés avec une implantation dans des zones plus «réceptives » et par conséquent de construction plus facile. Dans tous les cas, cette variable, en général, ne devrait être qualifiée au-delà de 30% et avec des valeurs entre 10% et 20%, elle suppose l'introduction d'un paramètre de qualité dans la conception de l'infrastructure.

La modification des pourcentages des valeurs précédentes en fonction de plusieurs hypothèses permettra d'obtenir de multiples alternatives pour le territoire en enrichissant le niveau et la profondeur de l'étude. Dans le cas des études informatives de telles alternatives pourront être analysées au moyen d'une évaluation multicritère.

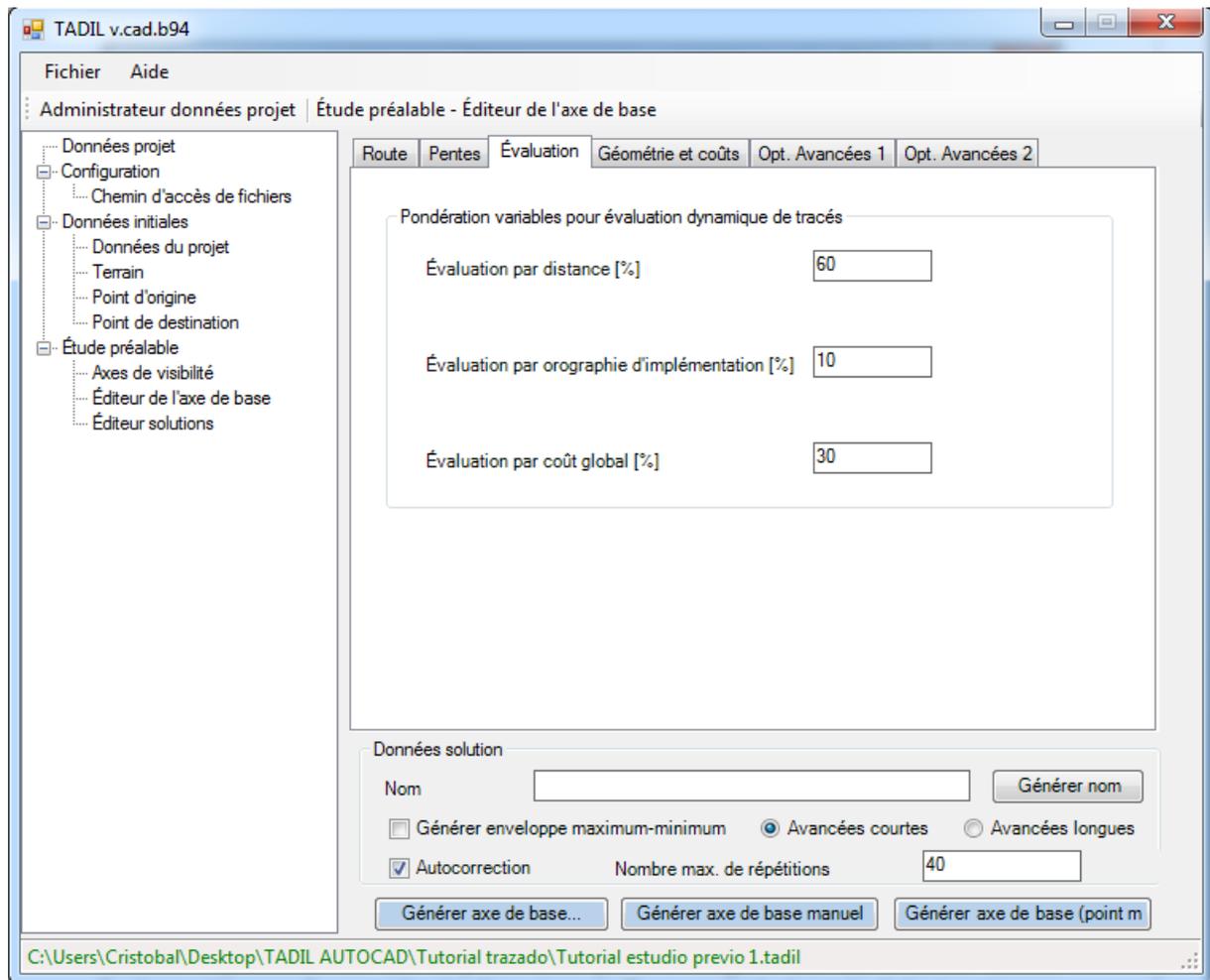


Image 7-11. Critères d'évaluation dynamique.

## 8. Les points Target

Les points target ou les points objectifs sont des points qui s'insèrent dans le territoire et que l'on prétend rapprocher de nos tracés.

TADIL permet d'introduire les points Target avec des axes de visibilité manuels comme polygones dont les sommets sont les points Target. L'utilisateur devra situer les espaces orographiques qui ne sont pas compris dans des zones de non passage. Si l'utilisateur établit aussi, des zones de non passage pour cause d'espaces abruptes de grande pente, il devra tenir compte que les points « target » ne se retrouvent pas dans ces zones, car ils seront systématiquement rejetés.

Il faut se rappeler que l'introduction des points « target » permet de les rapprocher des tracés sans pour autant passer par eux.

Les points « target » supposent que l'axe de visibilité automatique du tracé ne s'emploie pas.

Les points « target » peuvent avoir, en plus, un double objectif, celui-ci consiste à forcer les tracés à faire un balayage à travers le territoire. L'utilisateur pourra ainsi calculer les alternatives et les garder; avec la modification des points « target » on pourra obtenir des solutions qui passent par d'autres couloirs, enrichissant l'étude des alternatives.

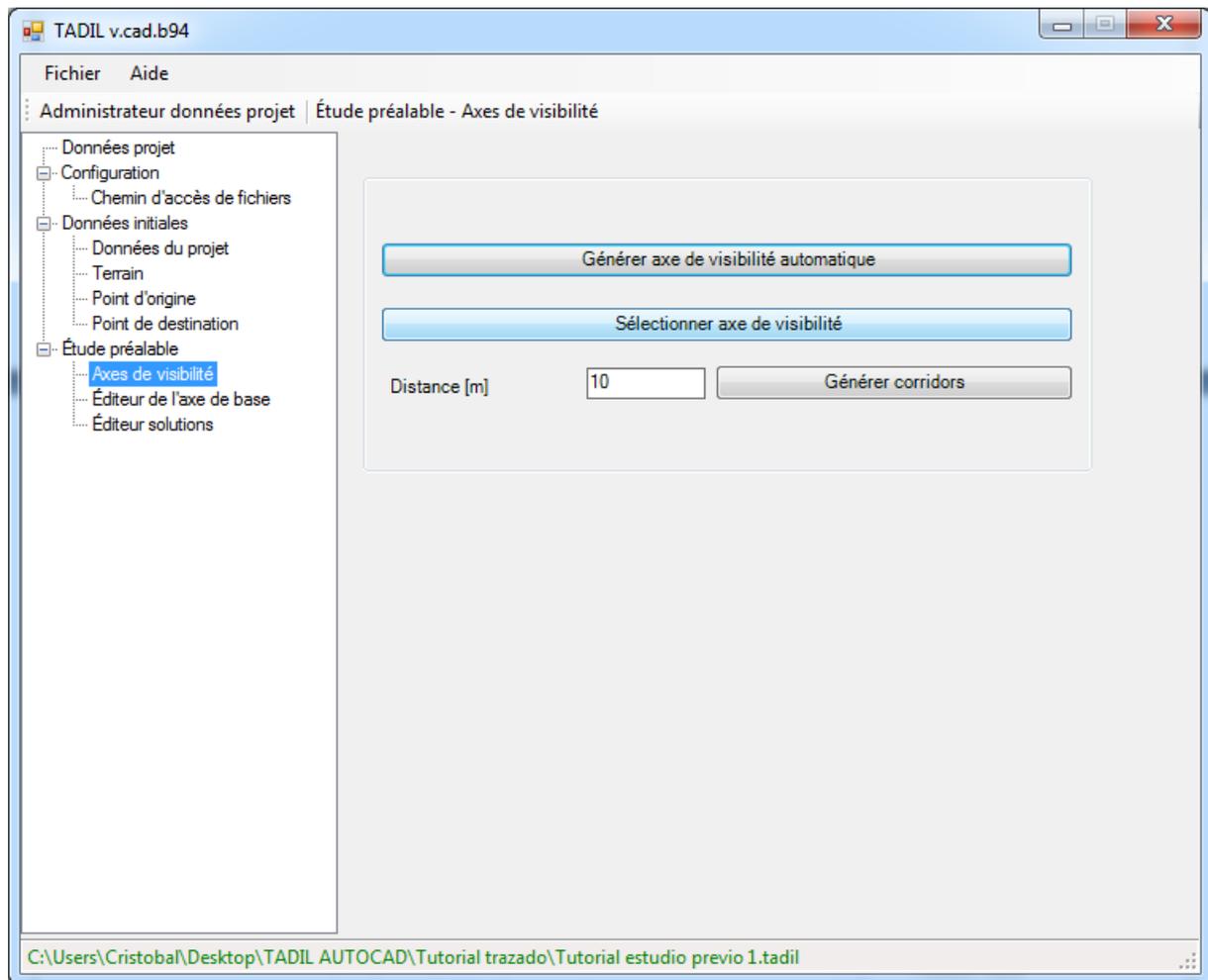


Image 7-12. Axes de visibilité automatique ou manuels, (points Target).

## CHAPITRE 7. ETABLISSEMENT DES TRACÉS

### SOUS -CHAPITRE 2. ETABLISSEMENT DES TRACÉS

#### 1. Procédés de calcul des tracés

Arrivé à ce point, dans le cas d'étude informative comme d'étude préalable, l'utilisateur sera prêt à établir des alternatives de tracé pour le territoire.

L'utilisateur pourra opter pour deux manières générales d'obtention de tracés:

- Avancées courtes.
- Avancées longues.

La différence se situe dans le procédé de recherche locale de tracés sur le territoire:

- Avec le procédé des avancées courtes, on obtient des alignements qui permettent une meilleure adaptation au territoire avec des longueurs d'alignements en accord avec la norme considérée.
- Avec le procédé des avancées longues, on obtient des alignements avec la longueur maximum établie par la norme et un tracé plus simple avec moins d'alignements. Bien qu'à priori ce tracé puisse apparaître plus avantageux, en général il sera plus coûteux que ceux obtenus avec les avancées courtes.

Dans les deux cas, une fois calculée l'alternative, l'utilisateur pourra obtenir des sous variantes (enveloppe de maximums et minimums)

Dans plusieurs sous-variantes, on obtient les points de l'enveloppe des axes basiques du tracé de l'alternative principale. La sous -variante de l'enveloppe de maximums s'obtient en orientant les itinéraires vers ces points maximums et, de la même façon, l'enveloppe des minimums vers les points minimums. Ainsi, les points maximums et minimums se convertissent en points target. Dans certains cas, on peut voir une claire optimisation de la longueur du tracé.

En appliquant un des procédés, (avancées courtes et longues), et obtenant les enveloppes, (maximum et minimum), l'utilisateur pourra obtenir trois sous-variantes par l'alternative principale. Si on applique, en plus les deux procédés et ses enveloppes, les sous-variantes deviendront six.

En plus, la génération de l'axe de base peut être faite par les méthodes suivantes:

- Génération de l'axe de base dès le point d'origine jusqu'au point de destination.
- Génération de l'axe de base avec projection au point moitié.
- Génération manuelle de l'axe de base par l'utilisateur. Avec cette option, l'utilisateur sélectionne les tronçons de l'éventail dans chaque avancée jusqu'au point de destination. L'utilisateur pourra faire autant d'axes comme il voulait.

On doit remarquer:

- Pour l'option de génération de l'axe de base avec projection au point moitié, l'option d'avancées longues n'est pas activée.

- De même, pour l'option de génération manuelle de l'axe de base on ne considère pas l'option d'avancées longues.

Par conséquent, le total de sub-variables possibles pour la même configuration de conditions de traçade peut être jusqu'à 15, étant donné qu'on obtient un seul axe de base manuel.

Si on trouve des zones orographiques très complexes ou si avec les conditions établies par l'utilisateur aucune solution n'est possible, l'utilisateur pourra activer l'option Autocorrection. Cette option permet de réinitialiser le calcul et crée automatiquement une zone de non passage dans le dernier point où le logiciel n'a pas trouvé de solution. Cette option n'est pas activée avec les options de projection au point moitié ou axe de base manuel.

Finalement, l'utilisateur pourra activer "Permettre réductions ponctuelles de vitesse"; avec cette fonction on facilite l'étude des itinéraires, rendant plus facile la recherche des couloirs. Dans une seconde phase, l'utilisateur pourra désactiver cette option s'il désire une meilleure adaptation à la norme de départ.

Dans le paragraphe suivant, on va voir les possibilités d'augmenter de manière considérable, le numéro des alternatives à étudier.

Image 7-13. Génération de tracés.

En plus, TADIL intègre les fonctions nécessaires pour faire une étude globale de solutions du terrain. Il permet de générer des corridors dans toute la cartographie séparés selon les distances indiquées par l'utilisateur. Ces corridors sont axes de visibilité qui évitent les zones de non passage.

L'utilisateur pourra sélectionner ces corridors et obtenir des solutions (sub-variables) pour chacun des corridors. Cette fonction enrichit donc l'étude et donne des conclusions sur les corridors les plus adéquats.

Image 7-14. Génération de corridors.

## 2. Procédé d'établissement des alternatives

Comme on a vu dans le paragraphe précédent, on pourra obtenir jusqu'à six sous-variantes à partir d'une alternative principale.

Pour enrichir la capacité d'analyse et profiter des possibilités de TADIL, l'utilisateur pourra élaborer de nouvelles archives en modifiant les variables qui s'introduisent dans le programme; en particulier l'utilisateur pourra analyser l'effet de modifier les variables suivantes:

- Géométrie: en modifiant les valeurs de déblai maximum et de remblai, hauteur maximum du pilier, pente maximum du tracé et de structure, ou bien directement ou bien au moyen de l'application de coefficients réducteurs.
- Type de route, (vitesse de l'élaboration de projet)

- Commutation du point de départ par celui d'arrivée.
- Modifiant les qualifications dans l'évaluation dynamique des tracés.
- En introduisant les points targets dans le territoire, (axes de visibilité manuels); dans ce dernier cas l'utilisation de points targets permettra d'élaborer des itinéraires à travers d'autres couloirs.

Pour chaque modification, L'utilisateur gardera le nom du tracé principal en vue d'établir des sous-variantes pour enveloppes et d'obtenir les résultats pour les avancées rapides et courtes.

Comme on peut observer, en appliquant ce procédé l'utilisateur pourra établir des centaines d'alternatives dans le territoire.

## CHAPITRE 7. ÉTABLISSEMENT DES TRACÉS

### SOUS CHAPITRE 3. DÉPARTS

#### 1. Obtention des données

Les données des alternatives que l'utilisateur pourra obtenir dépendront du type d'étude qui s'effectue :

- dans le cas d'étude préalable, l'utilisateur pourra obtenir graphiquement l'axe du tracé sur plan et le profil longitudinal, ainsi que les listings sur plan et les profils.
- dans le cas d'étude informative, l'utilisateur pourra obtenir en plus, le dessin sur plan des terrassements et les sections transversales.

Dans l'option de l'étude informative, une fois calculé le tracé, l'utilisateur pourra obtenir les listings de l'équilibre des terrassements de terres et de budget dans le menu budget, la viabilité économique dans le menu rentabilité et finalement l'évaluation multicritère des alternatives qu'il a sélectionné.

L'utilisateur peut obtenir la liste de définition sur plan et profil dans l'éditeur de solutions, tandis que les autres rapports sont disponibles dans le Gérant de Rapports.

L'utilisateur pourra exporter les graphiques de plan et sections de chaque solution dans l'éditeur de solutions à un fichier CAD lourd, ce qui peut être considérable quand beaucoup d'alternatives ont été calculées.

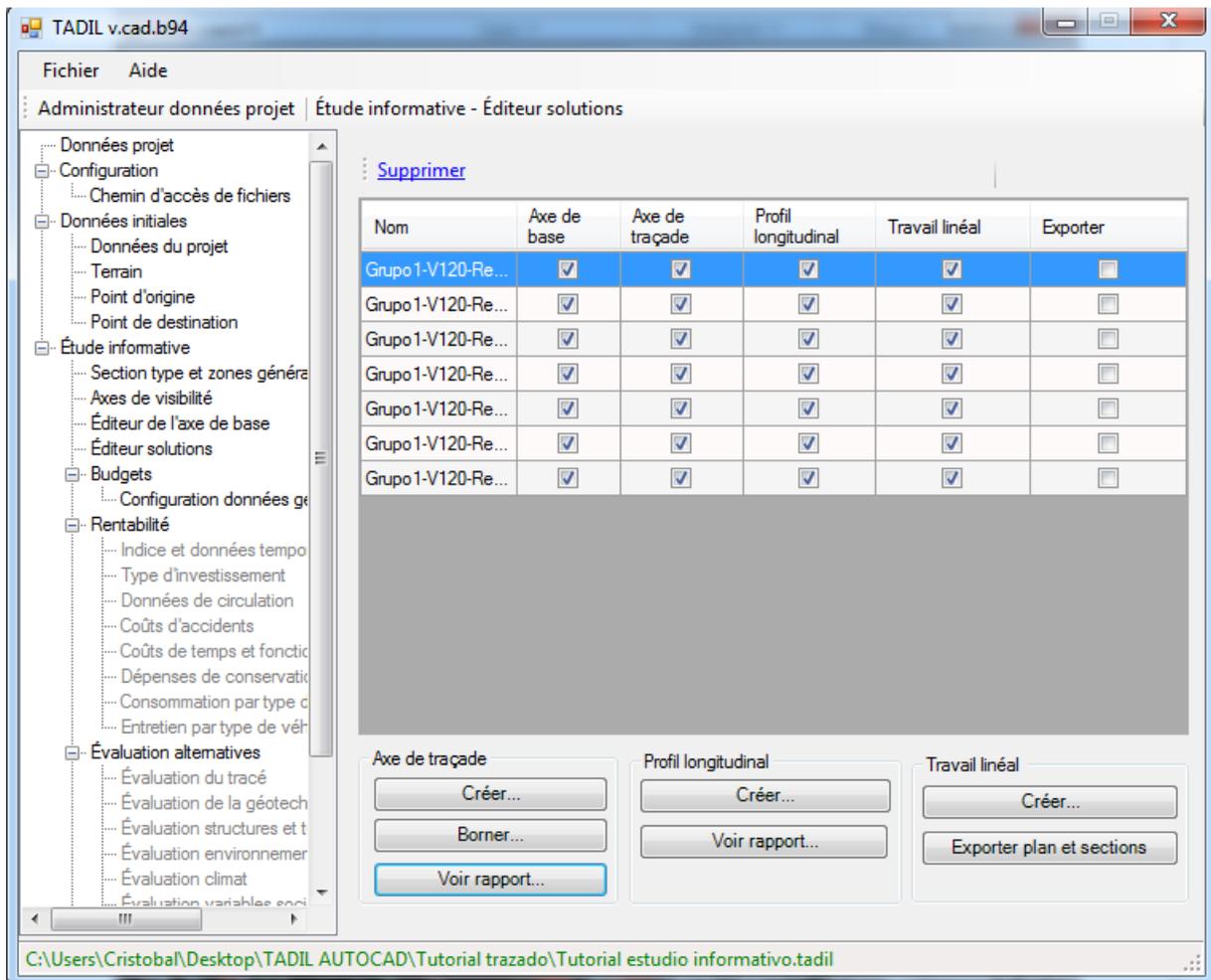


Image 7-15. Menu de départs pour axes sur plan et profil.

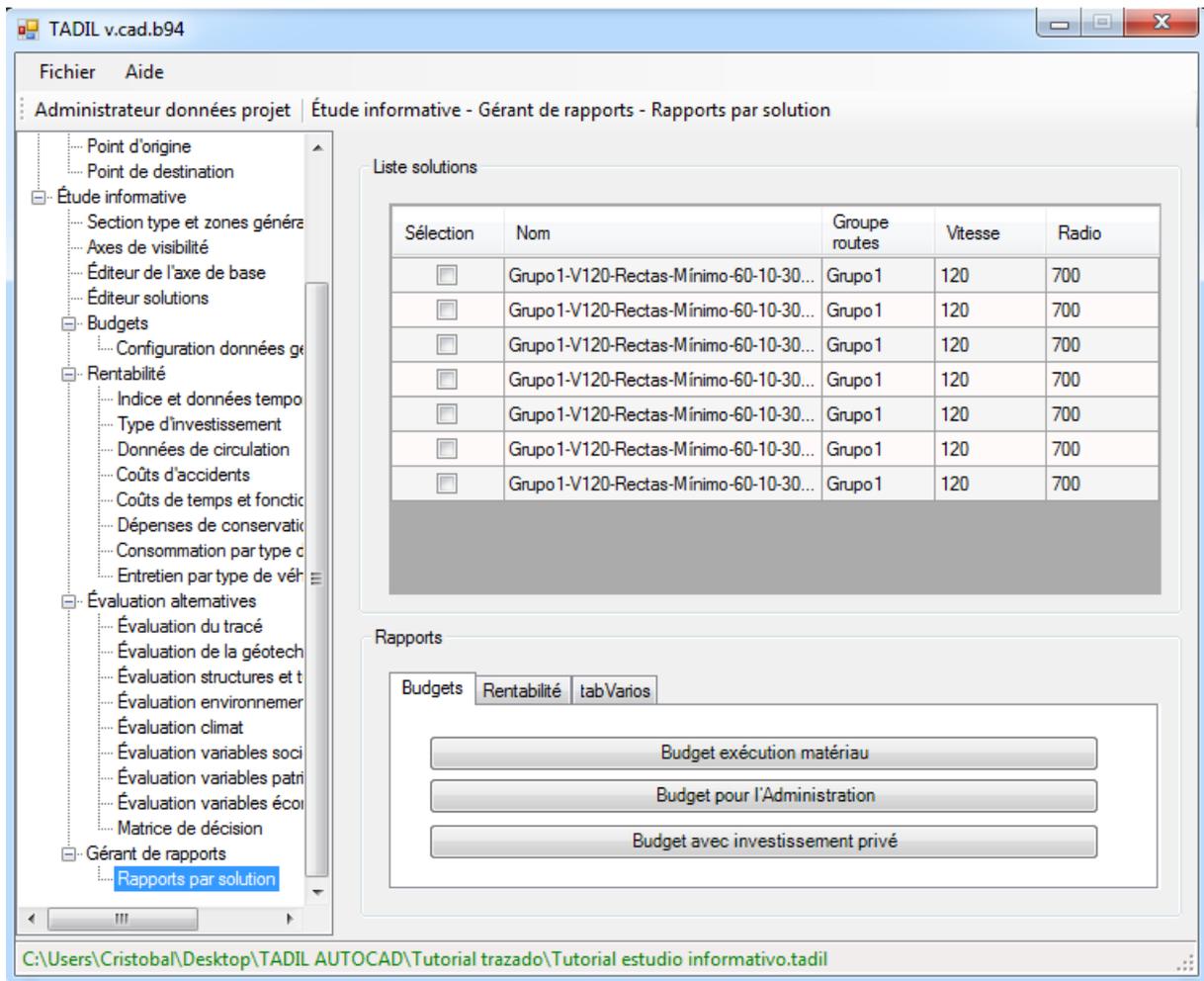


Image 7-16. Manu de gérant de rapports.