

DÉNÉBOLA : une nouvelle interface utilisateur et un nouveau mode de diffusion

Luc DELATTRE

Chef de la section Comportement des Sols et des Ouvrages Géotechniques
Laboratoire central des Ponts et Chaussées

Laurent MESPOULHE

Assistant Technique des TPE,
section Comportement des Sols et des Ouvrages Géotechniques,
Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
Cellule Départementale des Ouvrages d'Art, DDE du Lot

Jean-François GORSE

Chargé de mission Qualité logiciel au Service Informatique
Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

Note

PP 4320

technique

PP 4320 - 2000 - Mai-Juin 2000

Au terme de ces travaux, cette note a pour objectif de présenter les principales caractéristiques de la nouvelle interface du logiciel ainsi que les modalités de diffusion qui ont été retenues. Cette présentation est précédée d'un rapide rappel sur la méthode du coefficient de réaction. Elle est suivie de quelques points méthodologiques relatifs à la réalisation du produit.

Introduction

Pour les astronomes, DÉNÉBOLA désigne une étoile de magnitude très honorable, également connue sous le nom de β Lion. Dans le monde de la géotechnique, cette évocation va au logiciel développé dans les années 1970-80 par la section Soutènements et Travaux Maritimes du LCPC pour le calcul des écrans de soutènement (Balay et al., 1982 ; Balay, 1983).

Il s'agissait alors de fournir au réseau technique de l'équipement et aux entreprises et bureaux d'études qui le souhaitaient un outil permettant d'appliquer au calcul des écrans de soutènement la méthode du coefficient de réaction, méthode alors en plein essor depuis le début des années 1970. L'outil de calcul proprement dit était accompagné de recommandations portant sur le choix des paramètres à introduire dans les calculs (Balay, 1985).

Le logiciel, ainsi que les recommandations du LCPC, ont depuis lors été largement diffusés, le succès de la méthode du coefficient de réaction pour le calcul des écrans de soutènements ne se démentant pas, ceci en dépit des réserves qu'elle suscite par ailleurs. Cette diffusion s'est cependant trouvée progressivement freinée par l'obsolescence croissante d'une interface utilisateur développée dans les années 1980 avec des technologies maintenant largement dépassées.

Cette obsolescence ne touche toutefois que l'interface du logiciel, son moteur de calcul restant d'une qualité reconnue et la méthode de calcul gardant elle-même, du fait de son « efficacité », de beaux jours devant elle, avant de s'effa-

cer dans l'avenir face à la méthode des éléments finis.

Dans ces conditions, le LCPC a décidé en 1997 de moderniser l'interface utilisateur du logiciel. Il s'agissait alors de faire bénéficier DÉNÉBOLA des importants progrès réalisés en informatique dans le domaine des interfaces hommes-machines. Parallèlement à ces développements, les réflexions menées en matière de diffusion du logiciel ont conduit le LCPC à décider de confier la commercialisation de ce nouveau produit à des sociétés de services spécialisées dans la diffusion de logiciels.

DÉNÉBOLA

Rappel sur la méthode du coefficient de réaction

La méthode de calcul aux coefficients de réaction permet de déterminer les efforts et les déformations dans un écran de soutènement fiché dans le sol, aux différentes phases de travaux et d'exploitation (fig. 1). L'inertie de l'écran peut être variable et, outre la pression du sol, il peut être soumis à :

- des efforts de flexion en tête et à la base et, plus généralement, à des conditions aux limites les plus diverses ;
- des efforts hydrauliques dus aux pressions interstitielles ;
- l'action de tirants (précontraints ou non) et butons ;
- des moments extérieurs imposés ;
- des déplacements imposés.

La méthode repose sur une modélisation simplifiée de l'action du sol sur l'écran dans laquelle l'action du sol sur l'écran est réduite, en chaque point de

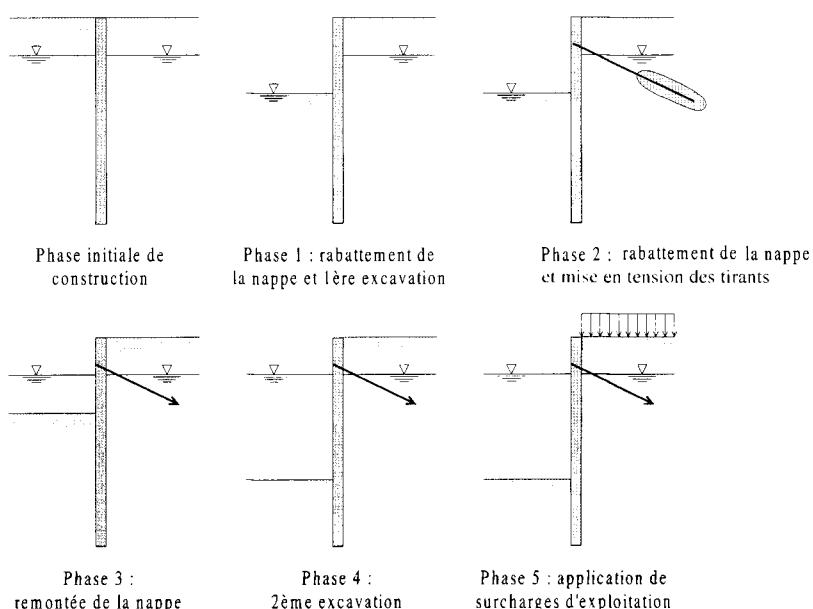


Fig. 1 - Exemple de la décomposition de l'étude d'un écran en phases de calcul.

l'ouvrage, à gauche et à droite, à une pression horizontale, liée au déplacement du niveau considéré par une loi de réaction. Les lois de réaction utilisées, couramment mais abusivement désignées par le terme de « lois élastoplastiques », sont des lois de mobilisation linéaire avec paliers de poussée et de butée. Elles sont donc typiquement composées de trois parties (fig. 2) :

- le domaine de poussée limite caractérisé par la pression p_a ;
- le domaine de butée limite caractérisé par la pression p_p ;
- le domaine pseudo-élastique, caractérisé par le coefficient de réaction k_h ; ce domaine peut lui-même être décomposé en sous-domaines, caractérisés par une succession de valeurs de k_h .

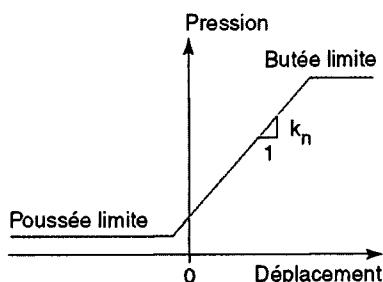


Fig. 2 - Loi de réaction à une phase donnée et à un niveau z donné.

Sans rentrer dans le détail de l'implantation de la méthode de calcul au coefficient de réaction dans le logiciel DÉNÉBOLA, décrit par ailleurs (Balay et al., 1983), les deux points développés ci-après précisent les modalités particulières d'application de la méthode qui ont été retenues.

Caractéristiques de l'ouvrage pouvant être intégrées dans le calcul

Dans la chronologie des différentes séquences de travaux, une nouvelle phase de calcul se définit, par rapport à la précédente, par la déclaration de nouveaux paramètres de calcul, qui peuvent être choisis parmi les suivants (liste exhaustive) :

- nouvelles caractéristiques mécaniques de l'écran (produit EI) ;
- nouvelles caractéristiques géotechniques du sol (poids volumiques, divers coefficients de pression, termes de cohésion) ;
- nouveaux coefficients de réaction du sol sur l'écran ;
- nouveaux niveaux du sol et de la nappe de part et/ou d'autre de l'écran, et/ou nouvelles surcharges uniformes en tête ;

- nouvelle distribution des pressions hydrauliques ;
- nouvelle distribution de surcharges localisées en tête ;
- nouvelles conditions aux limites ;
- nouveaux tirants, ou tirants supprimés, ou boutons ;
- nouveaux moments d'excentrement ou moments d'excentrement supprimés ;
- nouveaux déplacements imposés à la paroi ou déplacements imposés supprimés.

nement, désormais familiers aux utilisateurs.

Elle se compose donc d'une fenêtre graphique autour de laquelle sont disposés, sous la forme de menus et de raccourcis (barres d'icônes), les différentes fonctions de gestion, d'édition, de modélisation et d'exploitation (fig. 3).

Une interface dédiée au calcul des écrans de soutènement

DÉNÉBOLA offre la possibilité de distinguer la réaction du sol à des sollicitations de décompression (vers la poussée) de celle qu'il oppose à des sollicitations de compression (vers la butée). Le domaine pseudo-élastique se trouve ainsi décomposé en deux sous-domaines, caractérisés par deux coefficients de réaction différents.

Par ailleurs, DÉNÉBOLA offre la possibilité de modifier les courbes de réaction du sol d'une phase de calcul à la suivante, conformément à la pratique recommandée. Cette possibilité est accompagnée de la possibilité de tenir compte du comportement hystélique du sol.

L'interface de DÉNÉBOLA comporte un ensemble de fonctionnalités dédiées, d'une part, à la modélisation de l'ouvrage et, d'autre part, à l'exploitation du calcul.

Fonctionnalités de modélisation

Les fonctionnalités de modélisation respectent la logique de construction et de calcul de l'ouvrage par phases successives. Ainsi, l'utilisateur définit la situation initiale et les phases successives de la construction.

La situation initiale est définie à l'aide d'un Assistant déclinant successivement :

- le titre du projet ;
- la lithologie du site ;
- les caractéristiques de l'écran ;
- les niveaux des terrains et de la nappe ainsi que les surcharges proches de l'écran.

Partant de cette situation initiale, les **phases successives** de construction sont décrites. De façon pratique, l'utilisateur crée une nouvelle phase par

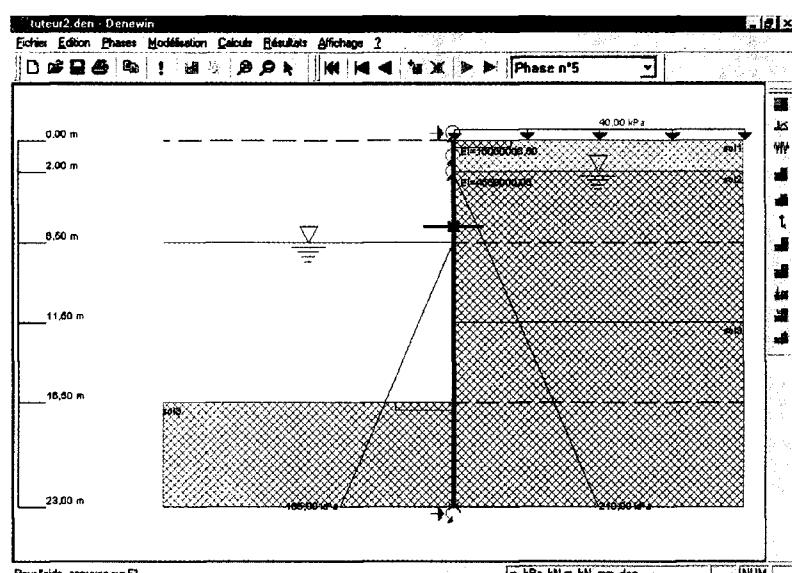


Fig. 3 - Interface utilisateur de DÉNÉBOLA, en mode de modélisation.

duplication de la phase précédente et apporte les modifications voulues à cette nouvelle phase. Ces modifications peuvent concerner les niveaux de terrain ou de la nappe, les pressions de l'eau, les coefficients de réaction sur l'écran, les caractéristiques de l'écran, les conditions aux limites en tête et en pied d'écran, les propriétés du terrain, les tirants et butons, les surcharges sur le terrain et efforts sur la structure ou encore, les valeurs imposées des déplacements.

Ces opérations font appel aux menus **Phases et Modélisation**. Le menu Phases permet de créer et de supprimer une phase de calcul et de naviguer entre les phases. Le menu Modélisation permet d'intervenir, pour la phase courante, sur les caractéristiques de l'ouvrage.

La fenêtre graphique permet de visualiser la configuration de l'ouvrage dans la phase courante. Elle est paramétrable, l'utilisateur ayant la possibilité de choisir les données qu'il souhaite voir représentées. Elle donne directement accès, par ailleurs, à l'aide de la souris (double-clic, menu associé au curseur) aux fonctionnalités d'édition des caractéristiques de l'ouvrage.

Lancement du calcul

Un menu spécifique permet à tout moment de lancer le calcul. L'interface constitue alors un fichier de données respectant la syntaxe exigée par le moteur de calcul et lance ce dernier.

Ce menu permet par ailleurs de définir les paramètres de calcul (critères de convergence, etc.).

Fonctionnalités d'exploitation des résultats

Des modes d'édition variés

Les fonctionnalités d'exploitation des résultats sont accessibles, une fois les calculs effectués, à travers le menu **Résultats**. Les options disponibles dans DÉNÉBOLA donnent accès à une gamme variée de représentations, tant dans les résultats accessibles que dans leurs modes de visualisation.

Ainsi, trois ensembles de résultats peuvent être consultés :

- le **récapitulatif des données** rappelle de façon synthétique les hypothèses relatives à chacune des phases de calcul ;
- l'**éditeur de courbes** donne accès aux représentations graphiques des différentes grandeurs caractérisant l'ouvrage : déformée, courbes de moments fléchissants et d'efforts tranchants, pressions des terres et de l'eau ;
- différentes **grandes particulières** sont accessibles directement : déplacements et efforts maximaux, efforts d'ancreages.

La consultation de ces résultats peut se faire suivant plusieurs modes en fonction des souhaits de l'utilisateur :

- la logique du calcul par phases est respectée ; ainsi, il est possible de superposer ou de juxtaposer les résultats relatifs à une sélection de phases ou encore d'établir les courbes enveloppes des résultats relatifs à un ensemble de phases ;
- de la même façon, les fonctionnalités disponibles autorisent la superposition ou la juxtaposition des résultats relatifs à plusieurs grandeurs (fig. 4) ;

- enfin, une option du menu permet de basculer la représentation graphique vers une représentation en tableau.

Une structure de rapport

Chacune des exploitations faites par l'utilisateur donne lieu à la création d'une **Page** de résultats. Un ensemble de pages constitue ainsi un rapport, qu'il est possible de gérer à sa guise : suppression ou ajout de pages nouvelles, reclassement de pages.

Chaque page est en outre identifiée, si l'utilisateur le souhaite, par un cartouche identifiant le nom de l'entreprise émettrice ainsi que les modalités d'émissions (date, nom de l'émetteur, nom du vérificateur).

Les fonctionnalités standards de WINDOWS

La gestion des fichiers

Les fonctions de gestion sont conformes à l'ergonomie de WINDOWS. Elles sont regroupées au sein d'un menu déroulant **Fichiers**. Elles permettent de définir un nouveau projet, d'ouvrir un projet existant, d'enregistrer le projet courant sous son nom ou sous un nouveau nom.

Ces fonctionnalités de gestion de fichiers sont accompagnées, de façon classique, des fonctionnalités d'impression : imprimer, aperçu avant impression et configuration de l'impression.

Une liste des derniers fichiers ouverts est également affichée, permettant de les rappeler rapidement.

Les fonctionnalités d'édition

Les fonctionnalités d'édition, rassemblées dans le menu **Édition**, permettent, classiquement, d'annuler une opération ou de la rétablir. Elles permettent également de supprimer ou de copier un élément de la fenêtre graphique. Cette dernière fonction permet notamment d'exporter des éléments graphiques vers d'autres applications sous WINDOWS (WORD notamment).

L'aide en ligne

L'aide comprend trois rubriques principales :

- le guide d'utilisation décrit le fonctionnement du logiciel ; ce fonctionnement est illustré par deux exemples d'utilisation ;

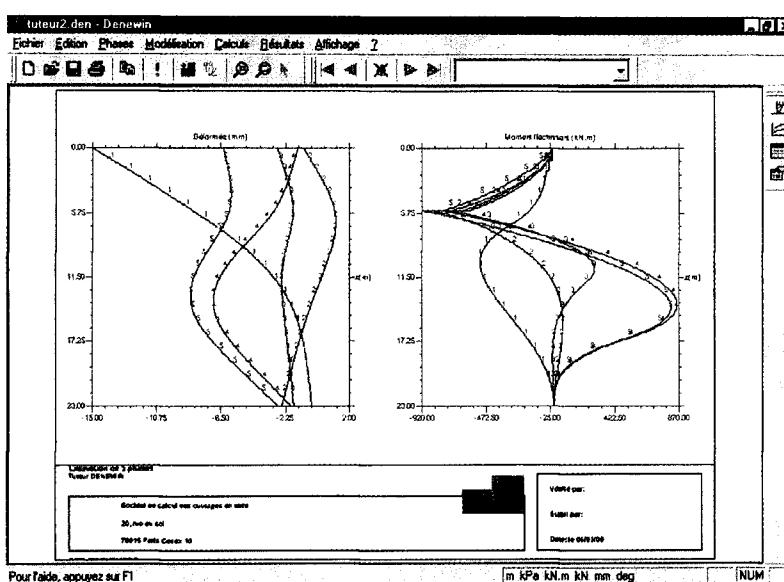


Fig. 4 - Interface utilisateur, en mode d'exploitation des résultats.

- le manuel de référence décrit précisément le fonctionnement de chacun des composants de l'interface ;
- le manuel technique documente la méthode du coefficient de réaction et, en particulier, la construction des courbes de réaction, le mode de résolution adopté et les conventions de signes ; il s'agit donc de la documentation du moteur de calcul.

L'aide est accessible en ligne, à travers l'interface. Elle est également disponible sur un document papier.

La diffusion de DÉNÉBOLA

Le souci de valoriser au mieux l'investissement réalisé a conduit le LCPC à rechercher une formule « active » de diffusion de DÉNÉBOLA. Dans cet objectif, il a été choisi d'en confier la diffusion à la société GRAITEC, auteur des développements réalisés sur DÉNÉBOLA et diffuseur de nombreux logiciels dans le domaine du génie civil (programme EFFEL, en particulier), et à Ponts Formation Édition, déjà diffuseur de plusieurs programmes du LCPC.

Quelques clés relatives à l'opération

La modernisation de l'interface utilisateur de DÉNÉBOLA a été décidée par le LCPC en 1997. La forme retenue a consisté en une sous-traitance externe, sur la base d'un cahier des charges établi par le LCPC et diffusé pour avis à un panel d'utilisateurs (Mme Fornallaz, LRPC de Lille – M. Bangratz, LREP – M. Jézéquel, LRPC de St Brieuc –

M. Bescond, LRPC d'Aix-en-Provence).

Le contrat de sous-traitance a été signé en décembre 1997 avec la société GRAITEC à l'issue d'un appel d'offre lancé au cours de l'été 1997 et auquel cinq entreprises ont été admises à concourir.

Les spécifications ont été établies entre janvier et juin 1998 par l'entreprise GRAITEC sur la base du cahier des charges fourni par le LCPC. Ces spécifications consistent en un document traduisant les fonctionnalités du produit en spécifications techniques, complété par une maquette animée montrant les objets « métiers », graphiques et textuels, manipulés par l'utilisateur au travers de l'interface.

Le développement proprement dit du logiciel a été mené entre juillet et décembre 1998.

La qualification du logiciel, avec identification et correction des bogues, a été menée entre janvier et juillet 1999. Elle a associé un panel d'utilisateurs, chargés d'identifier les dysfonctionnement du logiciel. Ce panel d'utilisateurs était constitué de MM. Canépa (LREP), Bangratz (LREP), Lavarde (LRPC de Rouen), Cuvillier (LRPC de Lille), Dagba (SETRA) et Lemoine (CET-MEF).

L'ensemble des travaux a été accompagné d'un programme d'**assurance qualité** mis en œuvre sous la responsabilité du service informatique du LCPC (M. Gorse). Ce programme, accepté et formalisé avec l'entreprise GRAITEC, a explicité le rôle des filières technique, qualité et d'usage dans l'accompagnement du cycle de développement de DÉNÉBOLA. Il a contribué au développement d'un produit de qualité con-

forme à nos exigences et qui devrait conduire, in fine, à la certification de DÉNÉBOLA : *label Ipc*.

Conclusion

Le moteur de calcul de DÉNÉBOLA possède des qualités indéniables sur le plan informatique et sur le plan de la mise en œuvre de la méthode du coefficient de réaction. Sur le plan informatique, il est bien écrit, présente une bonne robustesse, et a été largement testé depuis le début des années 1980, date de son écriture. Ce sont des qualités essentielles pour un logiciel de calcul numérique. Du point de vue de l'utilisateur, ce moteur de calcul offre toutes facultés d'exploiter au mieux la méthode du coefficient de réaction, grâce notamment aux possibilités d'adapter les lois de réactions aux phases successives de calcul et de tenir compte de l'histoire du chargement du sol (hystérésis).

Ces dernières qualités avaient pu paraître comme un handicap tant que, par défaut d'une interface utilisateur adaptée, elles pouvaient rendre complexe la mise en œuvre du logiciel.

La nouvelle interface utilisateur de DÉNÉBOLA a été conçue pour faciliter la mise en œuvre du moteur de calcul. Elle fait appel aux technologies modernes, mais aussi usuelles désormais, de communication homme-machine. Elle bénéficie donc de toutes les qualités d'ergonomie et d'interactivité liées à ces technologies.

Dans sa nouvelle version, DÉNÉBOLA est donc un outil de qualité homogène, alliant un moteur de calcul performant, fiable et robuste à une interface utilisateur ergonomique et conviviale. La parole est aux utilisateurs...

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-
- | | |
|--|--|
| <p>BALAY J., FRANK R., HARFOUCHE L. (1982), Programme DÉNÉBOLA pour le calcul des soutènements par la méthode des modules de réaction, Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, 120, pp. 3-12.</p> | <p>BALAY J., HARFOUCHE L. (1983), Programme DÉNÉBOLA pour le calcul des soutènements par la méthode des modules de réaction, Notice d'utilisation. Paris : LCPC, 82 pages.</p> |
| <p>BALAY J. (1985), Recommandations pour le choix des paramètres de calcul des écrans de soutènement par la méthode aux modules de réaction, Note d'information technique, Paris : LCPC, 24 pages.</p> | |
-