Présentation générale

Freelem est un logiciel éléments finis, gratuit, permettant le calcul de structures dits de type "poutre" (ex. : charpente), qu'elles soient en métal ou en bois.
Sans disposer de toutes les fonctionnalités disponibles dans les logiciels commerciaux concurrents (analyse élasto-plastique, harmonique, temporelle etc...), Freelem se veut tout de même une alternative crédible à ces logiciels pour un grand nombre de calculs. En effet, dans de nombreux cas, un nombre limité de fonctionnalités est nécessaire. Pour cette raison, la programmation de Freelem s'est concentrée sur ces fonctionnalités de base, en veillant à ce que l'interface utilisateur soit la plus claire possible.

Ainsi, Freelem intègre les éléments suivants :
- une saisie utilisateur basée sur un formulaire équipé de 4 onglets (noeuds, barres, chargements, combinaisons), dotée d'une interface graphique directX
- un solveur permettant d'obtenir déplacements/rotations, puis torseurs transitants et contraintes dans la structure, ainsi que ses fréquences propres
- des catalogues (profilés, matériaux, appuis) permettant à l'utilisateur de modéliser tout type de structures.

Les fonctionnalités ainsi programmées permettent des calculs complexes, comme présentés dans la section Qualification (calculs de charpentes par exemple). Un rédacteur automatique de note a été également programmé (ouverture d'un fichier Word dans lequel sont rédigées les différentes hypothèses de modélisation et résultats de calculs, puis intégrées automatiquement toutes les captures d'écran générées par l'utilisateur).

Pourquoi utiliser Freelem ?

1. Coût : Freelem est gratuit ...

2. Qualification : un travail de qualification significatif a été mené et présenté dans ce site, via les tests AFNOR et des confrontations avec un logiciel commercial concurrent (logiciel renommé, orienté génie civil, très puissant et complet dans les analyses non linéaires) sur des calculs plus ou moins complexes. **Tous les tests effectués sont concluants, que ce soit en analyse statique ou en analyse modale**.

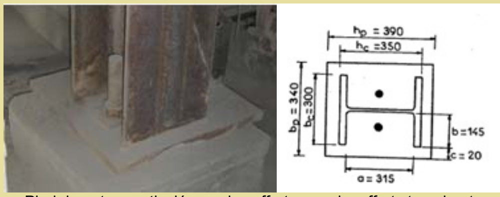
3. Transparence : Freelem se veut également transparent et didactique dans sa démarche. A cet effet, l'aide jointe au logiciel tente de pointer du doigt les pièges, nombreux, inhérents à l'utilisation sans recul d'une "boîte noire". Le calcul poutre n'est en soi pas compliqué, mais la majorité des erreurs commises dans des modélisations poutre proviennent de la méconnaissance des théories sous-jacentes. L'analyse des différents cas tests AFNOR est à cet effet très enrichissante.

4. Simplicité / Compacité : Freelem est un logiciel concis, le nombre de lignes de code est globalement peu élevé (grâce entre autres au Framework et aux puissantes fonctionnalités de directX). L'exécutable 1.1.0 pèse 560 Ko. Les fichiers flm associés sont également très peu gourmands en espace (le fichier flm de la charpente présentée en accueil pèse 5 Ko soit 340 fois moins que le fichier équivalent sur le logiciel concurrent utilisé pour la confrontation des résultats). Il est vrai qu'aujourd'hui les disques durs ont des capacités impressionnantes, mais multipliés par x, les gains d'espace peuvent être considérables. L'énorme différence de taille entre les fichiers flm et les fichiers équivalents sur les autres logiciels provient également du fait que le flm ne stocke que les informations de modélisations et non les résultats. Ceci est peu gênant dans la mesure où l'exécution d'un calcul poutre est quasi immédiate.
   Enfin, Freelem se veut simple d'utilisation en embarquant le minimum d'options et de paramètres. Parfois les logiciels sont dotés d'un nombre de fonctionnalités très impressionnant, pas toujours très utiles, éventuellement redondantes, qui peuvent au final perturber la compréhension et l'interprétation des calculs réalisés.

Les pieds de poteaux peuvent être articulés ou encastrés. La plupart du temps, afin d'éviter de récupérer d'importants moments (et donc de devoir dimensionner d'importantes fondations), les pieds sont considérés articulés (2 tiges rapprochées).
Ces problématiques sont traitées, entre autres, dans les ouvrages de Lescouarc'h : "Pieds de poteaux articulés" (juin 1982) et "Pieds de poteaux encastrés" (avril 1988).

Pied de poteau encastré : reprise de tous les efforts et moments

Un autre exemple de poteau encastré en pied :
Photo1 Photo2 (photo1 = vue poteau, photo 2 = zoom pied)
Autres photos de pied de poteau : Photo3 Photo4



Pied de poteau articulé : reprise effort normal + efforts tranchants
Moments non repris

Cette page présente les résultats d'une programmation intégrée à Freelem (version tuyauterie), effectuée suivant "Pieds de poteaux encastrés" de Lescouarc'h.
Il s'agit d'une feuille de calcul permettant de distribuer l'effort normal et les moments de flexion sur les 4 tiges constituant l'encastrement. L'équilibre de l'effort et des moments se fait en considérant une traction dans les tiges tendues et une compression sur une partie de la surface du béton.

Les hypothèses de calculs sont :
a- la partie de fondation située immédiatement sous la platine se comporte comme une poutre en béton armé, à axe longitudinal suivant la verticale, avec les tiges d'ancrage dans le rôle d'armatures. On adopte pour cette poutre l'hypothèse de Navier-Bernouilli : les déformations en un point d'une section, pour le béton et l'acier des tiges, sont proportionnelles à la distance de ce point à l'axe neutre (hypothèse acceptable si platine très rigide)
b- le béton et les tiges d'ancrage présentent un comportement élastique linéaire
c- seules les tiges tendues sont prises en compte dans le calcul (non prise en compte des tiges situées dans la zone de béton comprimé)
d- la platine est considérée comme ayant un comportement élastique linéaire (garantie de rigidité, nécessaire pour une hypothèse d'encastrement).

Les notations sont les suivante : N0 = effort normal positif si compression, My0 et Mz0 = moments de flexion, bp et hp = dimensions de la platine, dty et dtz = distance entre tiges et axes de symétrie de la platine.

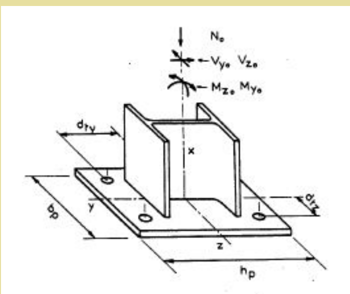
2 cas particuliers se présentent :

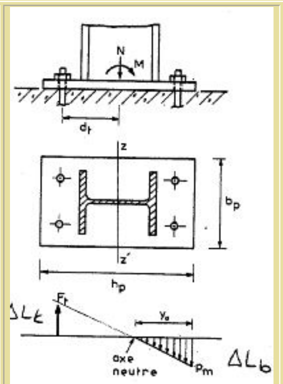
- si la compression est importante, aucune tige n'est tendue. La compression de la platine sur le béton s'exprime : pm = N0 / bp / hp + 6 My0 / bp² / hp + 6 Mz0 / bp / hp²
Cette solution n'est acceptable que si tout le béton est comprimé, soit pmin = N0 / bp / hp - 6 My0 / bp² / hp - 6 Mz0 / bp / hp² ≥ 0

- à l'inverse, si la traction est importante, il n'y a pas de compression sur le béton, et toutes les tiges sont tendues. Dans ce cas, la répartition des tractions dans les tiges se fait en équilibrant les moments par les entraxes entre tiges. C'est cette répartition simplifiée que Freelem utilise dans le solveur pour déterminer les efforts de traction dans les chevilles. Les efforts de traction dans les tiges s'expriment, selon position de la tige : Nj = -N0 / 4 +- My0 / 4 / dtz +- Mz0 / 4 / dty
Ce cas de figure est donc vérifié si l'effort de traction minimal est positif, soit -N0 / 4 - My0 / 4 / dtz - Mz0 / 4 / dty ≥ 0

Pour les autres cas de figure, l'ouvrage de Lescouarc'h propose 2 méthodes pour résoudre le problème : une méthode analytique itérative (résolution d'une équation du 3ème degré) dans le cas où 2 tiges sont tendues, et une méthode itérative géométrique dans le cas où 1 ou 3 tiges sont tendues. Cette méthode géométrique consiste à positionner alétaoirement la fibre neutre (ligne où les déformations de la platine sont nulles), jusqu'à parvenir à l'équilibre statique.

Ci-dessous la description de l'obtention de l'équation du 3ème degré caractéristique de la flexion monoaxiale (et utilisée également de manière itérative pour la flexion biaxiale, avec 2 tiges tendues) :





<u>Détermination de l'équation du 3ème degré caractérisant l'équilibre d'une flexion monaxiale N + M</u>

1) Déformations εt des tiges tendues et εb du béton subissant compression max proportionnelles à la fibre neutre, soit : εt / (dt + hp/2 - y0) = εb / y0

2) Loi de Hooke : σt = Ft/At = Ea x εt et pm = Eb x εb (pm étant la compression maximale sur béto

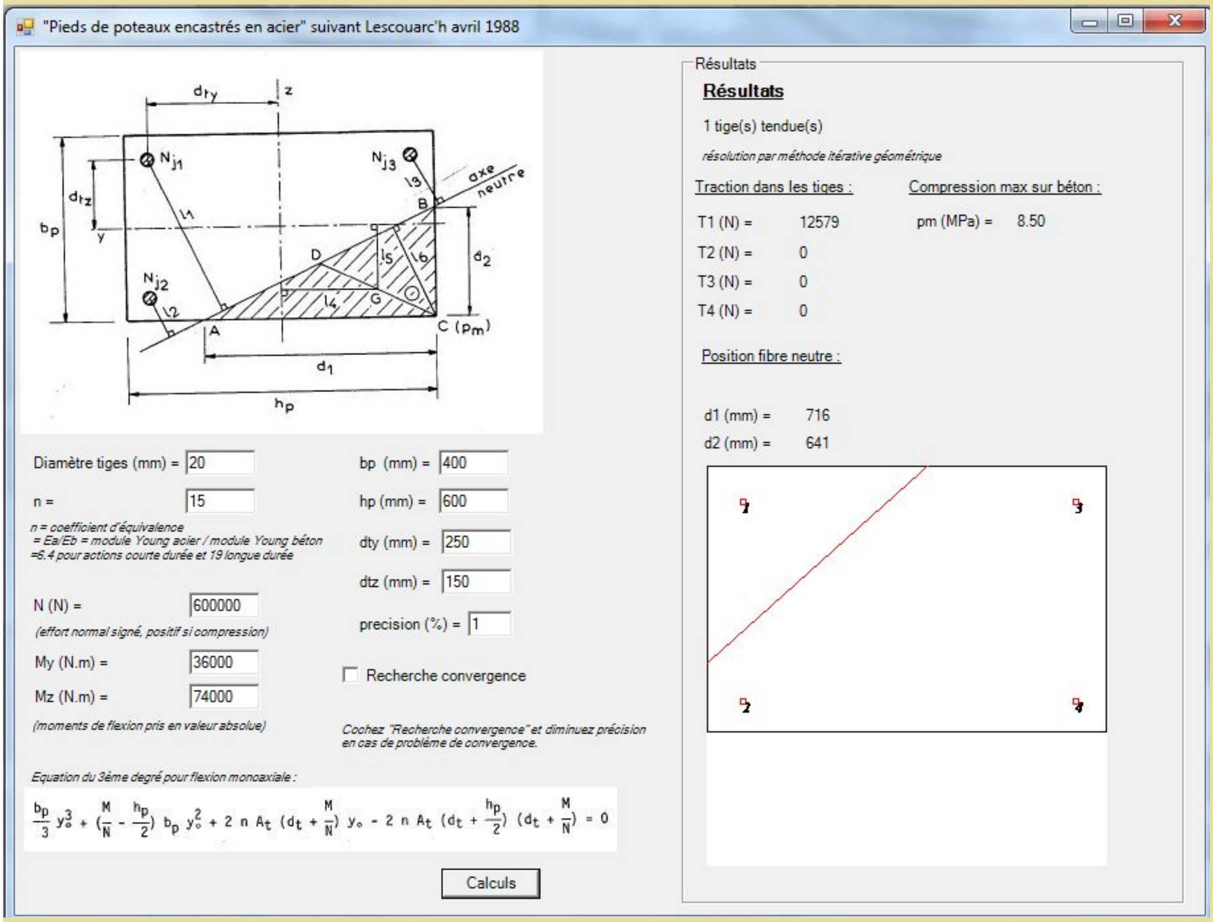
3) Equilibre de l'effort normal N : une partie en traction dans les tiges nommée Ft, et un compression sur le béton : la compression max est égale à pm, la compression min à 0, la c moyenne sur la zone comprimée est donc égale à pm/2. La force de compression sur cette zone y0 x bp est donc égale à pm/2 x y0 x bp.
On a donc : N = pm/2 x y0 x bp - Ft

4) Equilibre des moments par rapport à l'axe zz' : le moment induit par les tiges tendues est égal à La position du CDG des efforts pour une répartition triangulaire (en termes de moment induit) e 1/3 de la distance. On en déduit le moment induit par la zone comprimée : pm/2 x y0 x bp x (hp/2 D'où : M = Ft x dt + pm/2 x y0 x bp x (hp/2 - y0/3)

Ces relations donnent finalement l'équation du 3ème degré et permettent de trouver pm, y0 et Ft.

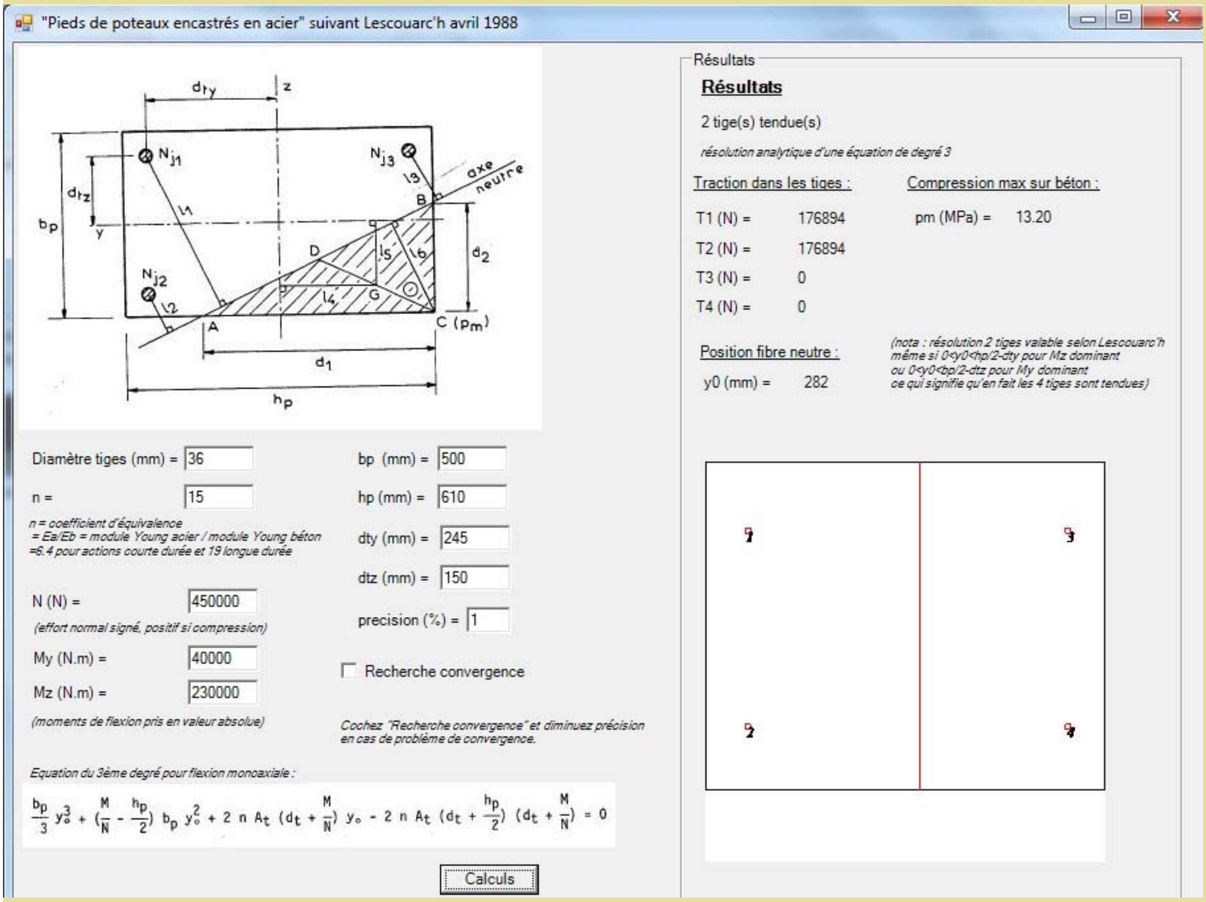
Les logiciels de fabricants de chevilles, en premier lieu HILTI et son PROFIS, et SPIT et son EXPERT, prennent également en compte la compression de la platine sur le béton. Il s'agit d'excellents logiciels, complets et très bien faits, et bien évidemment utilisables uniquement avec les chevilles de leur marque.

<u>Résultats avec 1 seule tige tendue</u>

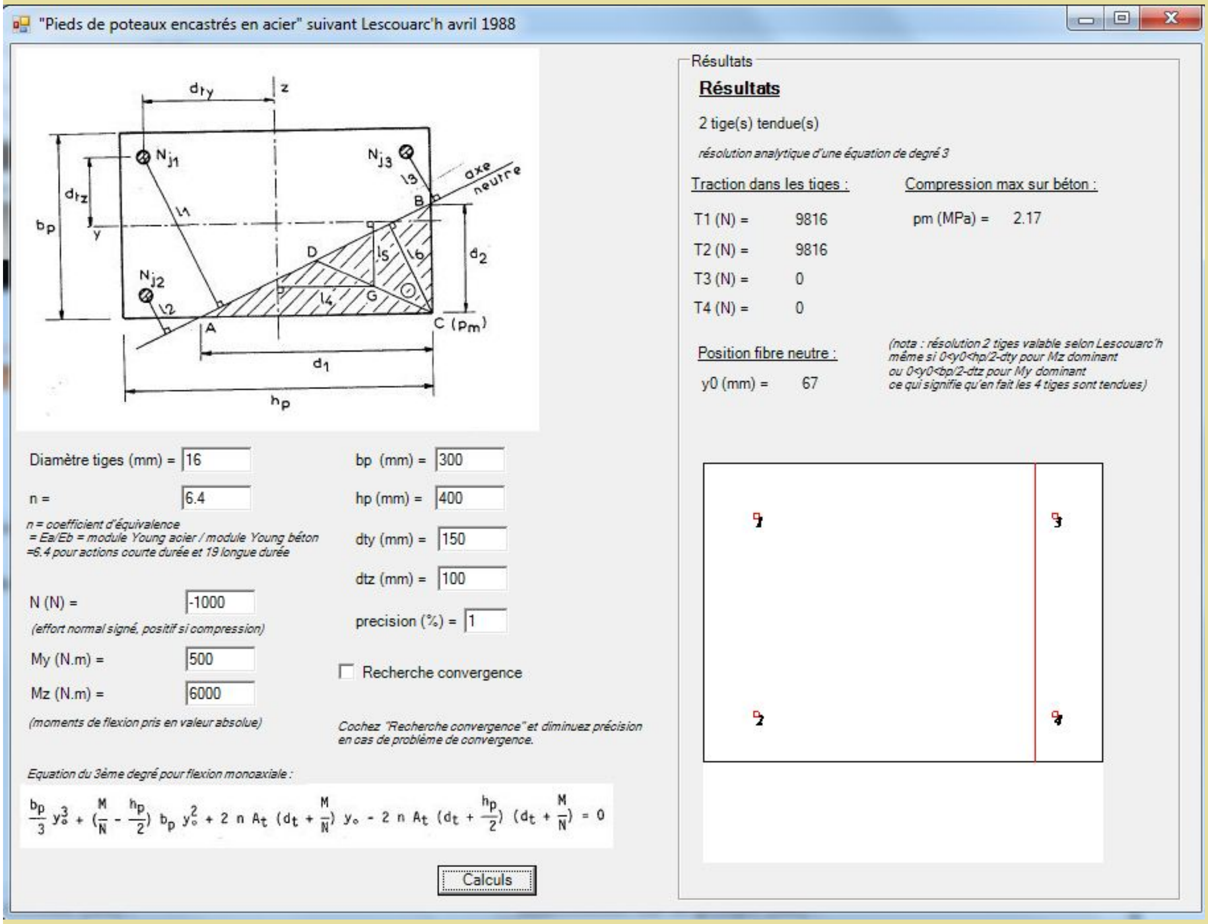


Résultats référence ("Pieds de poteaux encastrés" page 143) : Nj = 11 710 N / pm = 8.34 MPa / d1 = 730mm / d2 = 640mm

Résultats avec 2 tiges tendues



Résultats référence ("Pieds de poteaux encastrés" page 134) : Nj = 176 640 N / pm = 13.3 MPa / y0 = 281mm



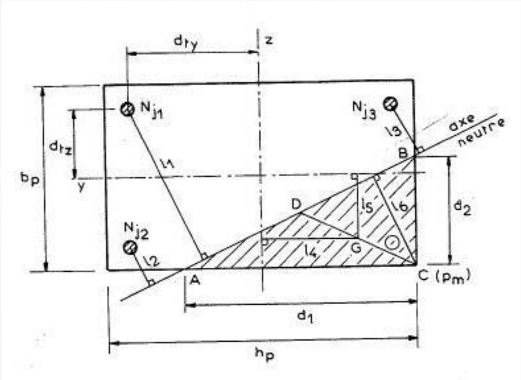
Comparaison avec le logiciel SPIT EXPERT

Sollicitation par cheville (kN) :

Chevilles	1	2	3	4
Ni	9.70	9.06	0.00	0.00

Résultats avec 3 tiges tendues

"Pieds de poteaux encastrés en acier" suivant Lescouarc'h avril 1988



Diamètre tiges (mm) = 20

n = 9

n = coefficient d'équivalence
= Ea/Eb = module Young acier / module Young béton
=6.4 pour actions courte durée et 19 longue durée

N (N) = -6000

(effort normal signé, positif si compression)

My (N.m) = 3000

Mz (N.m) = 12000

(moments de flexion pris en valeur absolue)

bp (mm) = 400

hp (mm) = 600

dty (mm) = 250

dtz (mm) = 150

precision (%) = 5

☐ Recherche convergence

Cochez "Recherche convergence" et diminuez précision en cas de problème de convergence.

Equation du 3ème degré pour flexion monoaxiale :

$$\frac{b_p}{3} y_o^3 + \left(\frac{M}{N} - \frac{h_p}{2}\right) b_p\, y_o^2 + 2\, n\, A_t \left(d_t + \frac{M}{N}\right) y_o - 2\, n\, A_t \left(d_t + \frac{h_p}{2}\right)\left(d_t + \frac{M}{N}\right) = 0$$

Calculs

Résultats

Résultats

3 tige(s) tendue(s)

résolution par méthode itérative géométrique

Traction dans les tiges :

T1 (N) =	14999
T2 (N) =	11041
T3 (N) =	932
T4 (N) =	0

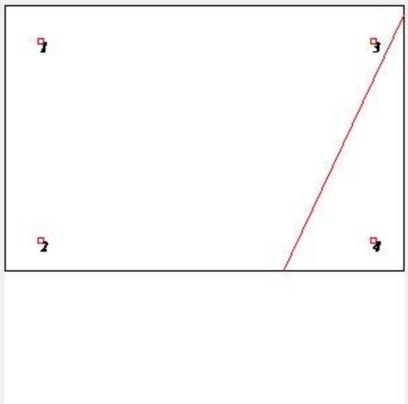
Compression max sur béton :

pm (MPa) = 1.80

Position fibre neutre :

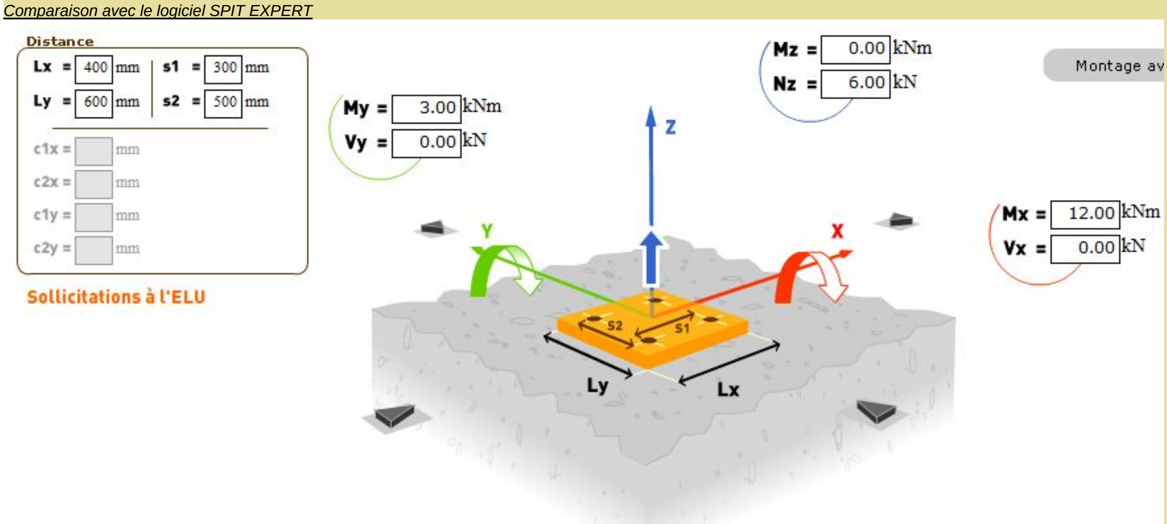
d1 (mm) = 181

d2 (mm) = 386



Pas de valeur référence dans l'ouvrage de Lescouarc'h --> comparaison avec les logiciels SPIT EXPERT et HILTI PROFIS

Comparaison avec le logiciel SPIT EXPERT



Sollicitation par cheville (kN) :

Chevilles	1	2	3	4
Ni	14.78	11.60	1.19	0.00

Comparaison avec le logiciel HILTI PROFIS

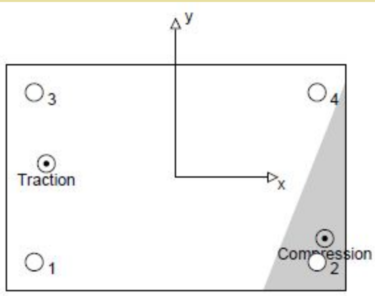
2 Cas de charges/Charges résultantes sur les chevilles

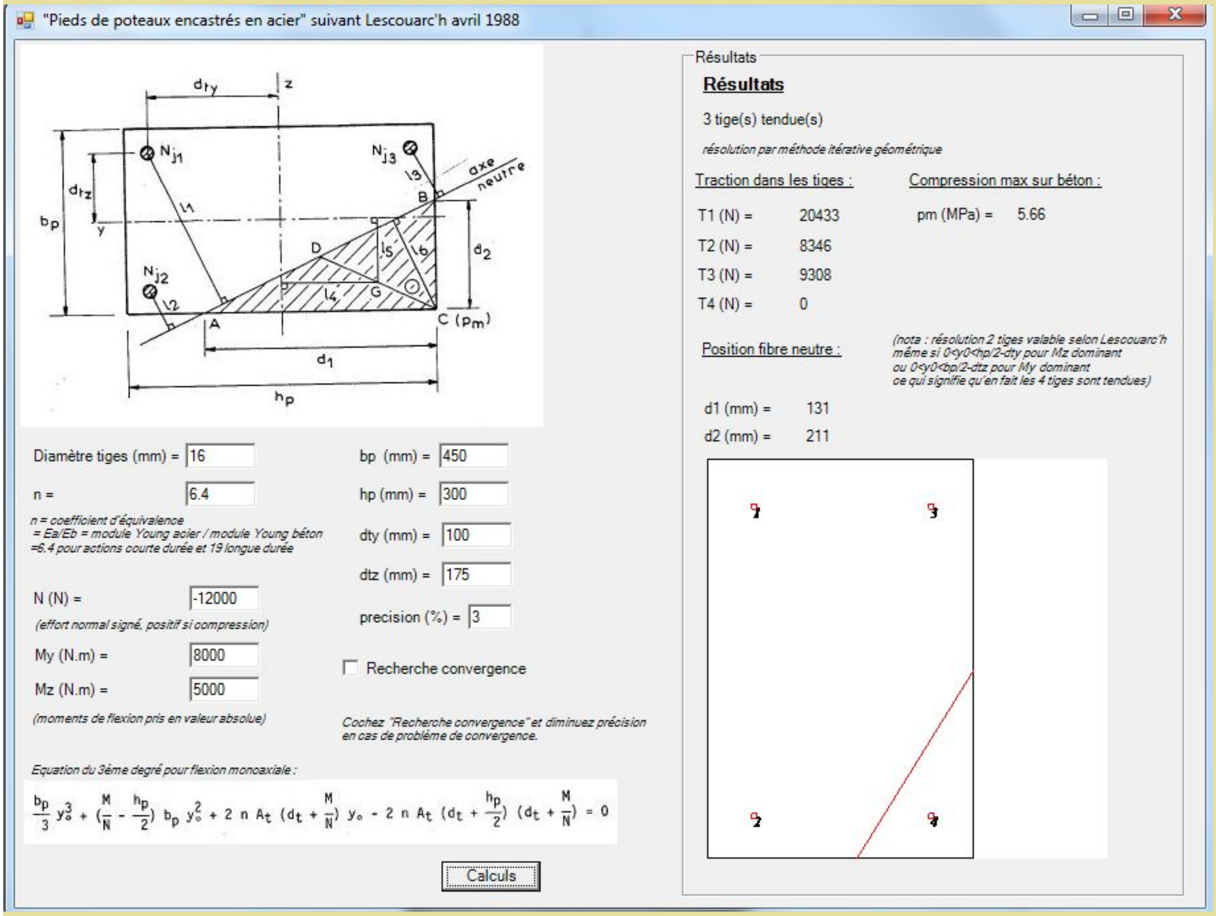
Cas de charges: Charges pondérées

Réactions des chevilles [daN]
Traction: (+Traction, -Compression)

Cheville	Traction	Cisaillement	Cisaillement x	Cisaillement y
1	1158.4	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0
3	1482.6	0.0	0.0	0.0
4	118.0	0.0	0.0	0.0

Déformation max à la compression du béton: 0.08 [‰]
Contrainte max à la compression du béton: 2.43 [N/mm²]
Charges de traction résultantes dans (x/y)=(-229/24): 2759.0 [daN]
Charges de compression résultantes dans (x/y)=(264/-108): 2159.0 [daN]

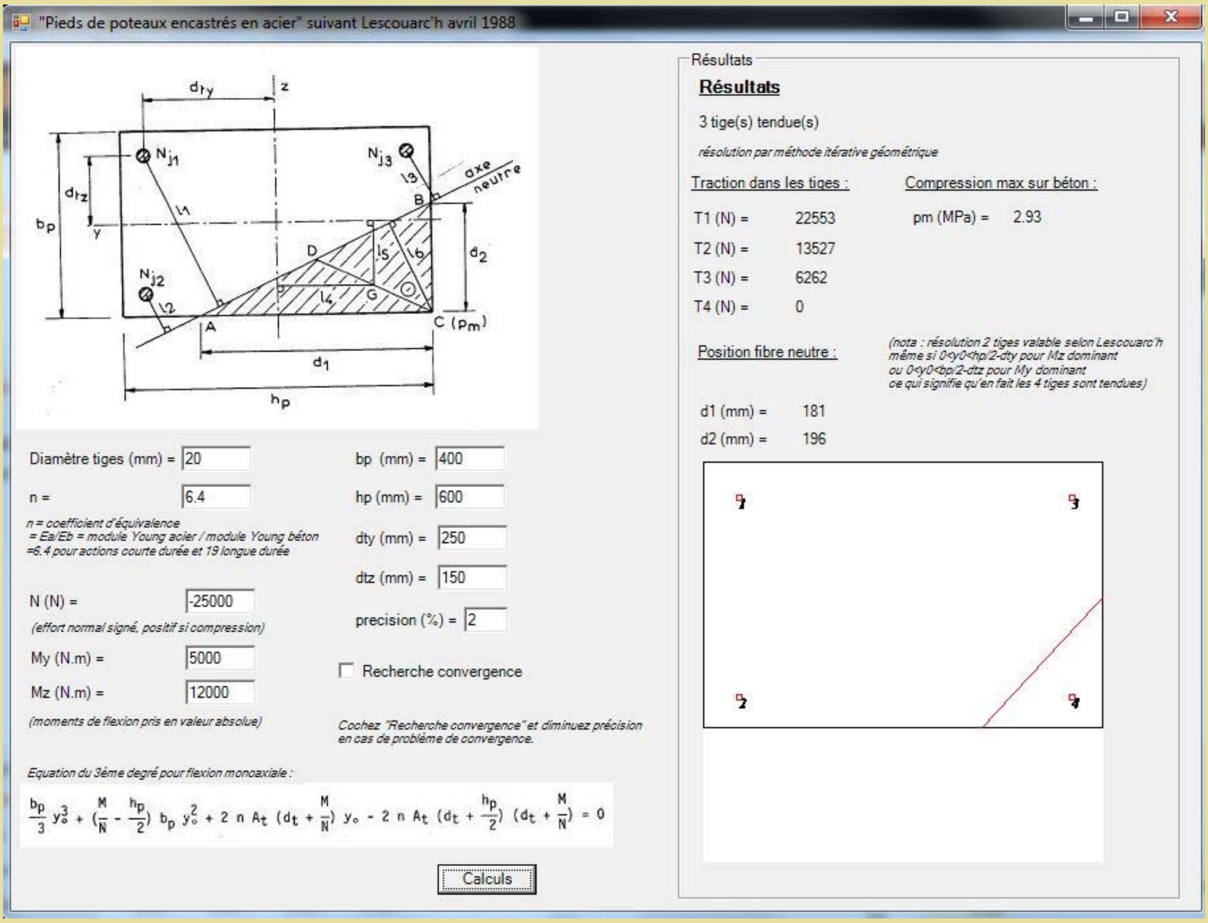




Comparaison avec le logiciel SPIT EXPERT

Sollicitation par cheville (kN) :

Chevilles	1	2	3	4
Ni	19.81	8.62	9.06	0.00



Comparaison avec le logiciel SPIT EXPERT

Sollicitation par cheville (kN) :

Chevilles	1	2	3	4
Ni	22.49	13.73	6.45	0.00