

Optimisation des structures: critères prépondérants et méthode de prédimensionnement en structure métallique

Autor(en): **Brozzetti, J. / Lescouarc'h, Y. / Lorin, P.A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht**

Band (Jahr): **10 (1976)**

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-10414>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Optimisation des structures: Critères prépondérants et méthode de prédimensionnement en structure métallique

Optimierung von Tragwerken: Entscheidende Kriterien und Verfahren zur Vorbemessung im Stahlbau

Structural Optimization: Prevailing Criteria and Proportioning Approach in Steel Structures

J. BROZZETTI Y. LESCOUARC'H P.A. LORIN
Centre Technique Industriel de la Construction Métallique
Puteaux, France

1 - INTRODUCTION

L'idéal que cherchent à atteindre tous ceux qui sont associés à l'art de construire est de réaliser l'ouvrage qui donnera les meilleures garanties de service dans des conditions requises de sécurité et au meilleur prix.

L'optimisation envisagée ainsi n'est aujourd'hui pas accessible par des méthodes déductives. Elle demeure un art. Cependant, pour les démarches qu'il doit faire en vue de cette optimisation, l'ingénieur dispose de moyens de plus en plus élaborés. Les critères qu'il faudra respecter dans ces choix sont dans la pratique imposés par les autorités responsables de la sécurité, par les maîtres d'ouvrage et par les maîtres d'oeuvre. On les trouve exposés soit dans les textes réglementaires [1,2], soit dans des cahiers des charges.

Par utilisation des techniques de programmation linéaire, le projeteur peut dans la pratique optimiser sa structure en poids, tout en satisfaisant un certain nombre de critères aux états limites ultimes. Un programme de dimensionnement optimal de structures à barres, visant ces objectifs, a été réalisé dans le cadre de travaux entrepris au CTICM et nous montrerons un certain nombre d'exemples qui mettent en lumière l'influence que peut avoir le respect des critères de vérification sur l'optimisation de la structure.

2 - RAPPEL DES DIFFERENTS CRITERES A SATISFAIRE AUX ETATS LIMITES ULTIMES

Un état limite ultime est atteint lorsqu'un des phénomènes suivants se produit :

- a) perte d'équilibre de la structure
- b) transformation de tout ou d'une partie de la structure en un mécanisme
- c) instabilité de forme :
 - d'ensemble de la structure,
 - individuelle d'une barre
- d) déformations excessives
- e) cumul de déformations sous charges répétées
- f) rupture d'un élément (fragilité ou par fatigue).

Un état limite d'utilisation est atteint lorsque la structure devient inapte aux fonctions normales pour lesquelles elle est conçue, en particulier lorsque les déformations excessives entraînent une interruption du service normal de la structure ou des désordres dans les éléments non structuraux.

Dans le cadre actuel français de la philosophie de la sécurité, pour vérifier la sécurité vis-à-vis des états limites, le projeteur multiplie les valeurs (caractéristiques ou nominales) des actions par des facteurs appelés coefficients de pondération. Les valeurs de ces coefficients dépendent de l'état limite considéré (état limite d'utilisation ou état limite ultime) du type d'action envisagé (actions permanentes ou variables) et de la combinaison d'actions étudiée (intervention simultanée d'actions variables).

Ainsi, pour la vérification à l'état limite ultime, on est conduit à considérer les plus défavorables des combinaisons d'actions données dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1

SYMBOLES

- Majuscules

Q = action permanente

G = surcharge

S = neige

W = vent

- Indices

e = extrême

r = réduite

Cas de combinaisons d'actions		
prenant en compte une des trois actions Q, S, W.	$\frac{3}{2} Q + \frac{4}{3} G$	$\frac{3}{2} Q + G$
	$\frac{3}{2} S + \frac{4}{3} G$	$\frac{3}{2} S + G$
	$\frac{3}{2} W + \frac{4}{3} G$	$\frac{3}{2} W + G$
prenant en compte simultanément deux des trois actions Q, S, W.	$\frac{17}{12} (S_r+W) + \frac{4}{3} G$	$\frac{17}{12} (S_r+W) + G$
	$\frac{17}{12} (W+Q) + \frac{4}{3} G$	$\frac{17}{12} (W+Q) + G$
	$\frac{17}{12} (Q+S) + \frac{4}{3} G$	$\frac{17}{12} (Q+S) + G$
prenant en compte simultanément trois des actions Q, S, W.	$\frac{4}{3} (Q + S_r + W + G)$	$\frac{4}{3} (Q+S_r+W) + G$
prenant en compte les actions climatiques extrêmes	$Q + S_{re} + W_e + G$	$Q + S_{re} + W_e + G$
	$Q + S_e + G$	$Q + S_e + G$

A l'état limite d'utilisation, la vérification doit être effectuée en considérant les combinaisons les plus défavorables des actions non pondérées.

Selon l'état limite considéré, la vérification consiste en particulier à contrôler si la structure satisfait aux critères de déformations, d'instabilité ou de résistance.

Il a paru utile, dans le cadre de cet article, de bien souligner les principes sur la manière de prendre en compte la sécurité dans l'optique des règlements actuels français. Car il est de l'opinion des auteurs que ces considérations sont de nature à avoir une influence très importante, non seulement sur la façon dont on entend poser le problème de l'optimisation, mais aussi sur la nature des résultats de cette optimisation.

L'étude et la mise au point d'un projet de construction passent toujours par trois phases essentielles, à savoir :

- . le choix des dispositions générales de la construction,
- . la détermination des dimensions de tous les éléments composants,
- . la vérification que les dimensions adoptées sont acceptables et -en particulier- confèrent à la construction un degré de sécurité suffisant.

En ce qui concerne la première phase, on admet généralement que seul le choix des dispositions générales de l'ouvrage et de sa conception constitue oeuvre d'imagination créatrice, pour laquelle l'intuition et l'expérience de l'architecte et du constructeur jouent un rôle essentiel.

La question qui nous préoccupe dans le cadre de cet exposé est de savoir s'il existe des méthodes pratiques qui permettent de déterminer un choix préalable des sections ou composants d'une structure quelconque et qui, d'une part satisfont à l'ensemble des critères de vérification que nous venons de décrire brièvement et d'autre part, conduisent à une optimisation de poids de la structure.

3 - TECHNIQUES D'OPTIMISATION DES STRUCTURES

Le cadre réduit de cet article ne nous permet pas d'exposer les fondements de la méthode utilisée ni le détail de sa formulation en termes de programmation linéaire. Cette étude a fait l'objet de plusieurs publications [5,6,7] où l'on trouvera la formulation du problème de prédimensionnement optimal en termes de

de programmation linéaire, avec le choix de la fonction objective (que l'on peut linéariser) et la prise en compte, d'une part de l'interaction effort normal-moment fléchissant et d'autre part du flambement.

L'approche utilisée par les auteurs se distingue d'autres méthodes itératives [3,4] de type "heuristique", qui abordent le problème de la recherche d'un optimum au travers d'un processus complexe "d'itération-contrôle-modification" permettant de prendre en considération de nombreux critères de vérification (contrainte, stabilité, déformabilité) de la structure étudiée. Ces méthodes présentent, à défaut d'un manque de généralités et d'une incertitude sur l'optimum atteint, l'avantage d'avoir été pensées comme un programme module (PLADS-I PLASTIC ANALYSIS AND DESIGN SYSTEM, écrit dans un système général de langage orienté : ICES INTEGRATED CIVIL ENGINEERING SYSTEM). A ce titre, il a le mérite d'être immédiatement disponible et utilisable par l'ingénieur de bureau d'études.

4 - EXEMPLES D'APPLICATION

Le programme de prédimensionnement automatique des structures permet de prendre en compte la stabilité individuelle des barres et une combinaison quelconque d'états de charges pondérées. Il est cependant nécessaire, pour être en conformité avec les règlements de calcul [1,2], de contrôler que la solution obtenue satisfait les critères aux états limites d'utilisation et de vérifier les conditions d'instabilité d'ensemble de la structure.

Nous donnons ci-après deux exemples qui démontrent que d'une part, la solution optimale recherchée dépend des critères d'états limites adoptés, selon que le dimensionnement se réfère à un règlement de calcul en élasticité [1] ou en plasticité [2], d'autre part le prédimensionnement est d'autant plus proche de la solution finale optimale que l'on considère ou non les conditions d'instabilité individuelle.

Exemple 1 : A titre d'exemple, nous donnons les résultats obtenus sur la structure donnée à la figure 1a. Les schémas 1b et 1c donnent la valeur de deux combinaisons de charges les plus défavorables pour la structure considérée, à savoir charges permanentes + neige et charges permanentes + neige + vent.

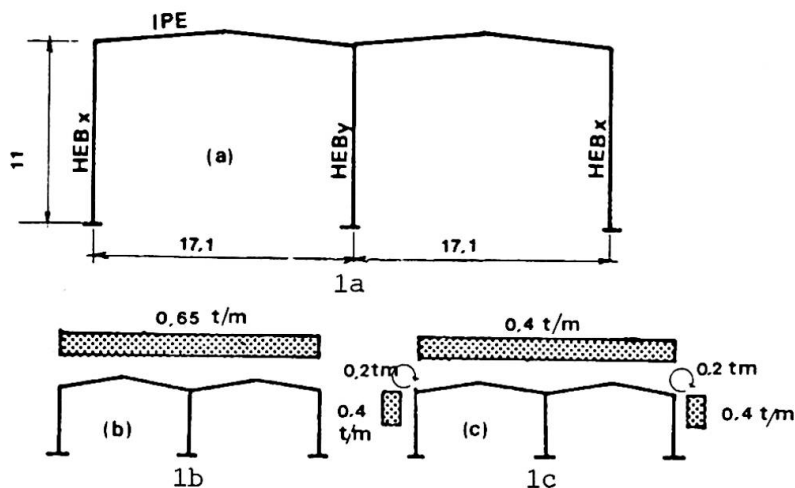


Fig. 1

Les résultats sont résumés dans le tableau de la page suivante.

Tableau 2

		Poids (tonnes)	$\frac{\Delta H}{H} \left(\frac{1}{150} \right)$	$\frac{\Delta v}{L} \left(\frac{1}{200} \right)$	Nbre plastification état limite utilisation
Elas. [1]	poteaux HEB 200 traverse IPE 360	3,98	$\frac{1}{199,5}$	$\frac{1}{350}$	0
Plas. [2]	poteaux HEB 200 traverse IPE 300	3,47	$\frac{1}{174}$	$\frac{1}{210}$	2
Pred.	poteaux HEB 180 traverse IPE 360	3,64	$\frac{1}{144}$	$\frac{1}{332}$	

Dans cet exemple particulier pour lequel les conditions d'instabilité au flambement sont vérifiées, l'optimisation est différente selon qu'elle est élastique ou plastique. Dans les deux cas elle satisfait aux conditions de déformabilité aux états limites d'utilisation ; par contre, la présence de 2 rotules plastiques aux états limites d'utilisation n'est pas acceptée en élasticité. Le gain de poids est ici de 12,8%.

Le prédimensionnement initial donnait une solution proche de la solution élastique, mais la condition de déformabilité en tête du poteau n'était pas vérifiée, quoique la condition de flambement du poteau était satisfaisante.

Exemple 2 : Soit la structure donnée en figure 2, avec le cas de charges pondérées considéré. Les résultats du prédimensionnement sont rassemblés dans le tableau 3.

Fig. 2

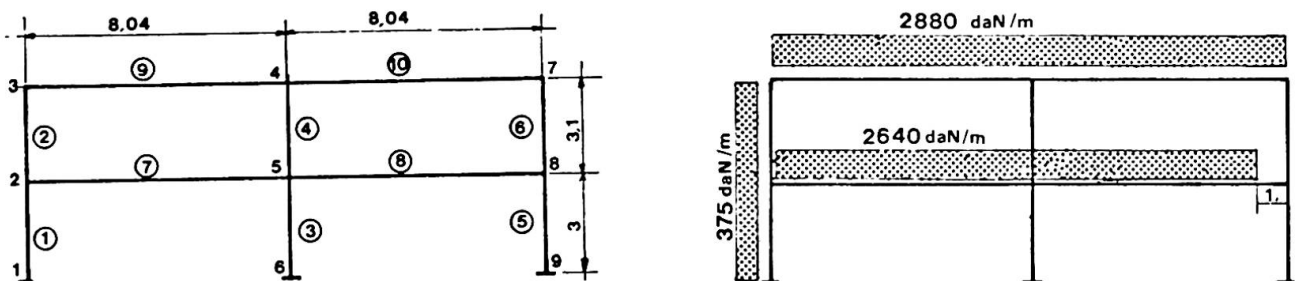


Tableau 3

	Poteaux 1,2,5,6	Poutres 3,4	Poutres 7,8,9,10
sans interaction M, N, ni flambement	IPE 300	HEB 100	IPE 400
avec interaction M, N et flambement	IPE 360	HEB 160	IPE 400
solution opt. selon Elas [1]	IPE 360	HEB 200	IPE 400

L'examen des résultats de ce tableau par le programme de prédimensionnement automatique des structures montre que si le dimensionnement sans interaction M et N est acceptable pour les poutres (c'est-à-dire lorsque la sollicitation de

flexion est prépondérante), il n'en est pas de même pour les poteaux où l'effort axial est prépondérant. Il est nécessaire alors d'introduire dans le prédimensionnement les conditions d'interaction entre l'effort normal et le moment fléchissant et les conditions d'instabilité (voir 2ème ligne du tableau 3). L'introduction de ces conditions amène généralement une redistribution des efforts entre les sections et peut conduire aussi à une augmentation des sections simplement fléchies (barres). La 3ème ligne du tableau 3 donne la solution finale compatible avec les exigences d'un règlement élastique [1].

5 - CONCLUSIONS

La méthode mise au point dans le cadre d'études entreprises au CTICM trouve son fondement dans l'application du théorème statique en plasticité et les techniques de programmation linéaire. Elle conduit d'une manière pratique à un prédimensionnement initial correct, à condition toutefois de prendre en considération les conditions d'interaction entre sollicitation de flexion et effort axial et les conditions de stabilité individuelle au flambement des barres.

Il y a lieu cependant de procéder à une vérification de ce prédimensionnement initial, pour contrôler si la structure satisfait aux diverses exigences imposées par les codes de calcul aux états limites d'utilisation.

La fonction à optimiser est le coût total de la structure, c'est-à-dire la somme des coûts des aciers, de la fabrication, du montage et de l'entretien. Une étude factorielle de l'influence de ces divers coûts dans l'établissement d'une fonction économique a été étudiée [8]. Si cette étude a montré qu'il était possible d'améliorer sensiblement la fonction économique, la qualité du dimensionnement n'est cependant pas accrue dans les mêmes proportions. En particulier, du fait de nombreuses hypothèses au niveau de la prise en compte dans le prédimensionnement de l'instabilité individuelle des barres, le gain de précision dû à l'amélioration de la fonction économique est illusoire.

Le programme de prédimensionnement automatique des structures est valable quelle que soit la configuration géométrique de la structure et la nature des charges extérieures appliquées. Cependant, le nombre de sections potentiellement critiques choisies et celui des contraintes résultant des conditions de plastification, d'interaction M et N et d'instabilité de flambement des barres comprimées et fléchies, en limitent l'application pratique à des structures relativement simples (portiques simples, portiques accolés, cadres multi-étagés de 2 niveaux, 3 baies).

6 - REFERENCES

- [1] CTICM
Règles de calcul des constructions en acier
CTICM-ITBTP, décembre 1966
- [2] CTICM
Recommandations pour le calcul en plasticité des constructions en acier
CTICM, décembre 1974
- [3] EMKIN L.Z., LITTLE W.A.
Plastic Design of Multistory Steel Frames by Computer
Journal of the ASCE, vol. 96, n°ST11, November 1970
- [4] EMKIN L.Z., LITTLE W.A.
Storywise Plastic Design for Multistory Steel Frames
Journal of the ASCE, vol. 98, n°ST1, January 1970
- [5] BROZZETTI J., LESCOUARC'H Y.
Prédimensionnement des structures métalliques à barres par la méthode statique et la programmation linéaire
Revue Française de Mécanique, n°48, 1973

- [6] BROZZETTI J., LESCOUARC'H Y., LORIN P.A.
Le prédimensionnement des structures par assimilation du matériau
à un solide rigide plastique
Annales de l'ITBTP, Supplément au n°316, avril 1974
- [7] LESCOUARC'H Y., SCHOULER B.
Recherche automatique d'un système complet de mécanismes indépendants
CTICM, Construction Métallique, n°3, 1973
- [8] BOUILLOT C.
Dimensionnement optimal en plasticité des structures
Rapport interne du CTICM, juin 1974

RESUME

L'article expose brièvement l'état des conditions à satisfaire dans le cadre d'une philosophie réglementaire aux états limites. Il est actuellement possible de tenir compte des conditions d'interaction effort normal-moment fléchissant et des conditions de flambement dans l'optimisation des structures à barres. Deux exemples montrent qu'il est important de prendre en considération ces critères si l'on veut aboutir à un prédimensionnement valable.

ZUSAMMENFASSUNG

Der Artikel weist kurz auf die Bedingungen hin, die im Rahmen einer vertretbaren Philosophie der Grenzzustände erfüllt sein müssen. Es ist heutzutage möglich, in der Optimierung von Stabtragwerken der gegenseitigen Wirkung zwischen Normalkraft und Biegemoment und dem Knicken Rechnung zu tragen. Zwei Beispiele zeigen, dass es wichtig ist, solche Kriterien in Betracht zu ziehen, wenn eine günstige Vorbemessung erreicht werden soll.

SUMMARY

The paper states briefly the conditions to be satisfied within the framework of an ultimate state design philosophy. It is presently possible to improve the optimization of structures by taking into account interaction between normal force and bending moment and buckling conditions. Two examples show that it is important to consider such criteria, if we want to achieve a proper members selection.