

ÉTUDE COMPARATIVE DES DIVERSES FORMULES D'INTERACTION DES BARRES COMPRIMÉES FLÉCHIES

J. P. JASPART, Ch. BRIQUET et R. MAQUOI

1. — INTRODUCTION

Les ossatures des bâtiments en acier sont normalement constituées de poutres soumises principalement à une flexion et de poteaux sollicités en flexion et compression combinées. Ces derniers sont souvent désignés de ce fait sous le vocable de *barre comprimée fléchie*.

De nombreux travaux de recherche ont été consacrés dans le passé à l'étude du comportement de la barre comprimée fléchie et à l'évaluation de sa capacité portante. Ils ont conduit à de multiples formules d'interaction entre la compression et la flexion, dont certaines se sont trouvées introduites d'abord, dans les codes nationaux, plus tard, dans les Recommandations de la Convention Européenne de la Construction Métallique et enfin, plus récemment, dans le projet d'Eurocode 3, Partie 1.1, consacré aux constructions en acier à usage de bâtiment.

On peut presque affirmer qu'il y a autant de types de formules d'interaction des barres comprimées fléchies qu'il y a de chercheurs qui se sont attaqués au sujet. Ceci n'a rien de surprenant si l'on sait que l'étude rigoureuse de la barre comprimée fléchie est d'une très grande complexité et que toute formule d'interaction de barre comprimée fléchie n'est que le résultat d'un certain nombre de simplifications et d'approximations d'ingénieur.

L'application des formules d'interaction existantes à des cas de référence, pour lesquels on dispose de résultats d'essais, fournit des valeurs de la capacité portante qui peuvent différer, parfois très substantiellement, des valeurs relevées expérimentalement. Cette même divergence s'observe lorsque l'on confronte les valeurs calculées sur la base des courbes d'interaction et celles obtenues par simulations numériques des cas correspondants.

Une étude comparative a été réalisée récemment au Département M.S.M. de l'Université de Liège. Son objet est très limité et il serait sans doute hasardeux de généraliser à l'excès les conclusions qui en ont été tirées. Les auteurs du présent article ont néanmoins voulu montrer que la complexité formelle des expressions de l'interaction flexion-compression, telle qu'indiquée dans l'Eurocode 3, Partie 1.1, est loin de garantir une bonne concordance entre les résultats calculés et ceux obtenus, par voie numérique, en utilisant un logiciel de calcul par éléments finis. On peut dès lors s'interroger, semble-t-il à raison, sur le bien-fondé d'une telle complexité dès lors que des formulations existantes plus simples fournissent de bien meilleurs résultats de comparaison.

Pour effectuer l'étude comparative dont il est question, les auteurs ont fait le choix des quatre approches utilisées respectivement dans des règlements bien connus :

- une version des Recommandations Européennes, amendée ultérieurement, en ce qui concerne la barre comprimée fléchie, dans un document de travail [1];
- la norme allemande DIN 18800 [2];
- le code américain de l'AISC, dans sa version aux états-limites, dite *Load and Resistance Factor Design* [4];
- l'Eurocode 3, Partie 1.1, dans sa version soumise actuellement à l'enquête publique [3].

Ch. Briquet — Ing., Département M.S.M., Université de Liège

J. P. Jaspert — Chercheur Qualifié du F.N.R.S., Dr. Ing., Département M.S.M., Université de Liège

R. Maquoi — Professeur, Dr. Ing., Département M.S.M., Université de Liège

2. — LES BARRES COMPRIMÉES FLÉCHIES

EXAMINÉES

Pour la présente étude, deux types de section ont été examinés : la section laminée à chaud en double té et la section tubulaire de forme rectangulaire (fig. 1 b).

Les barres comprimées fléchies faisant usage de ces sections sont comprimées axialement et soumises en outre, soit à flexion mono-axiale, autour de l'axe fort ou de l'axe faible, soit à flexion bi-axiale, c'est-à-dire à flexions simultanées autour des deux axes principaux d'inertie. Afin de ne pas encore compliquer le problème avec le voilement potentiel des parois constituant la section transversale des barres comprimées fléchies, on se borne à n'examiner que des sections de Classe 1 ou 2.

La distribution des moments de premier ordre le long de la barre comprimée fléchie est supposée linéaire; elle est caractérisée par les valeurs du moment fléchissant aux extrémités, soit respectivement M et $0.5M$ (voir fig. 1 a), et ce, quel que soit l'axe de flexion.

Les extrémités de la barre comprimée fléchie sont supposées ne pouvoir subir de déplacement transversal, perpendiculairement à l'axe longitudinal de l'élément; ceci revient à dire que la barre comprimée fléchie appartient à une ossature à nœuds non déplaçables. Enfin, il est admis que la charge critique de flambement sous compression centrée est plus faible pour le flambement par flexion autour de l'axe de faible inertie que pour le flambement par flexion autour de l'axe de forte inertie. Ceci se traduit mathématiquement par l'inégalité :

$$\bar{N}_z < \bar{N}_y \quad (1)$$

où \bar{N} représente l'effort de compression centrée réduit, obtenu comme le rapport entre la charge ultime de flambement N_u de l'élément structural et la résistance plastique en compression N_p de la section.

3. — SIMULATIONS NUMÉRIQUES

Le comportement des barres comprimées fléchies décrites ci-avant a été étudié jusqu'à la ruine — repérée par la charge maximum atteinte — à l'aide du logiciel de calcul par éléments finis FINELG développé au Département M.S.M. de l'Université de Liège. Ledit logiciel prend en compte tout type de non linéarité matérielle et/ou géométrique; il autorise donc l'existence de contraintes résiduelles et de déformées initiales.

Ainsi qu'on l'a déjà dit plus haut, deux sections différentes sont examinées par la voie de la simulation numérique (voir fig. 1 b) :

- la section tubulaire de forme rectangulaire, laminée à chaud, de dimensions $200 \times 100 \times 6,3$ mm;
- la section en double té à larges ailes, laminée à chaud, de type HE 160 B.

Ces deux sections sont très représentatives des sections couramment utilisées en Europe. On donnera successivement à chacun de ces poteaux une longueur L telle que l'élanement $\bar{\lambda}$ soit égal à 1,5 pour le flambement autour de l'axe de faible inertie et à 0,9 pour le flambement autour de l'axe fort. L'acier constituant ces deux sections est de la nuance S235, dont la limite d'élasticité f_y vaut 235 MPa. Un défaut de rectitude initial de type sinusoïdal et d'amplitude e^* égale au 1/1 000 de la longueur L est supposé exister aussi bien dans la direction Y que dans la direction Z (voir fig. 1 a).

Les simulations numériques conduites pour chacune des sections visent à donner l'évolution de la charge de compression à la ruine en fonction du rapport N/M entre l'effort axial et le moment de flexion primaire maximum pour chacune des quatre situations suivantes :

- flexion mono-axiale autour de l'axe de forte inertie avec déplacements latéraux selon Y empêchés par un système de contreventement approprié (fig. 2 a);
- flexion mono-axiale autour de l'axe de forte inertie de la poutre non tenue latéralement (fig. 2 b);
- flexion mono-axiale autour de l'axe de faible inertie (fig. 2 c);
- flexion bi-axiale (fig. 2 d) avec moments M_y et M_z tels que $M_y/M_{py} = M_z/M_{pz}$, M_{py} et M_{pz} étant respectivement les résistances plastiques de la section pour la flexion autour des axes de forte et de faible inertie.

4. — FORMULES D'INTERACTION

Le mode de ruine d'une barre comprimée fléchie est largement dépendant du type de sollicitation et du fait que la poutre est ou n'est pas tenue latéralement. La figure 3 traduit ce fait de manière fort schématique.

La figure 3 a est représentative d'une barre comprimée fléchie soumise à flexion mono-axiale autour de l'axe de forte ou de faible inertie lorsque la poutre est tenue latéralement. L'instabilité dans le plan de sollicitation de flexion, sous l'effet conjugué de la compression et de la flexion, est déterminante pour des valeurs élevées et intermédiaires de l'effort de compression réduit; en présence de compression modérée, la ruine survient par excès de plastification et donc par épuisement de la résistance de section.

Pour une barre comprimée fléchie non tenue latéralement, soumise à flexion mono-axiale autour de l'axe de forte inertie, un mode de ruine supplémentaire est à considérer lorsque la flexion reste modérée : l'instabilité par flambement autour de l'axe de faible inertie (voir fig. 3 b pour la section tubulaire). Pour la barre comprimée fléchie à section en double té, le déversement peut devenir déterminant en présence d'une flexion importante; pour une barre comprimée fléchie élançée à section en double té, la ruine sera donc gouvernée par l'instabilité, et ce, quel que soit le rapport N/M (voir ligne en traits interrompus à la figure 3 c, où $\bar{M}_{LT} = M_{LT}/M_{py}$, expression dans laquelle M_{LT} désigne le moment résistant en déversement).

Le mode de ruine de la barre comprimée fléchie soumise à flexion biaxiale est largement tributaire des rapports N/M_y , N/M_z et M_y/M_z qui caractérisent la trajectoire de chargement (fig. 3 d).

Les diagrammes donnés à la figure 3 ne sont qu'indicatifs. Selon l'élanement de la barre comprimée fléchie considérée, certains modes de ruine peuvent être plus ou moins déterminants : ainsi, notamment, une barre comprimée fléchie courte périra toujours par excès de plastification, et donc par épuisement de la résistance d'une section, quelles que soient les sollicitations.

Les modes de ruine possibles doivent être couverts par les formules d'interaction développées à des fins pratiques. Ils sont repris au tableau 1 pour les quatre groupes de formulations auxquelles il a été décidé de se référer.

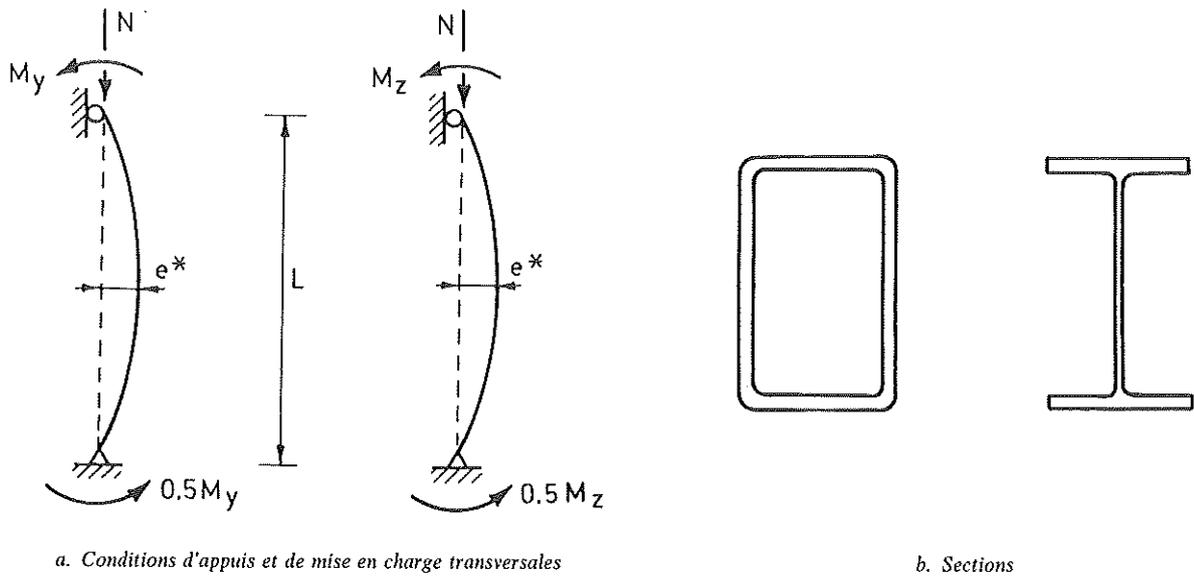


Fig. 1 - Barres comprimées fléchies étudiées

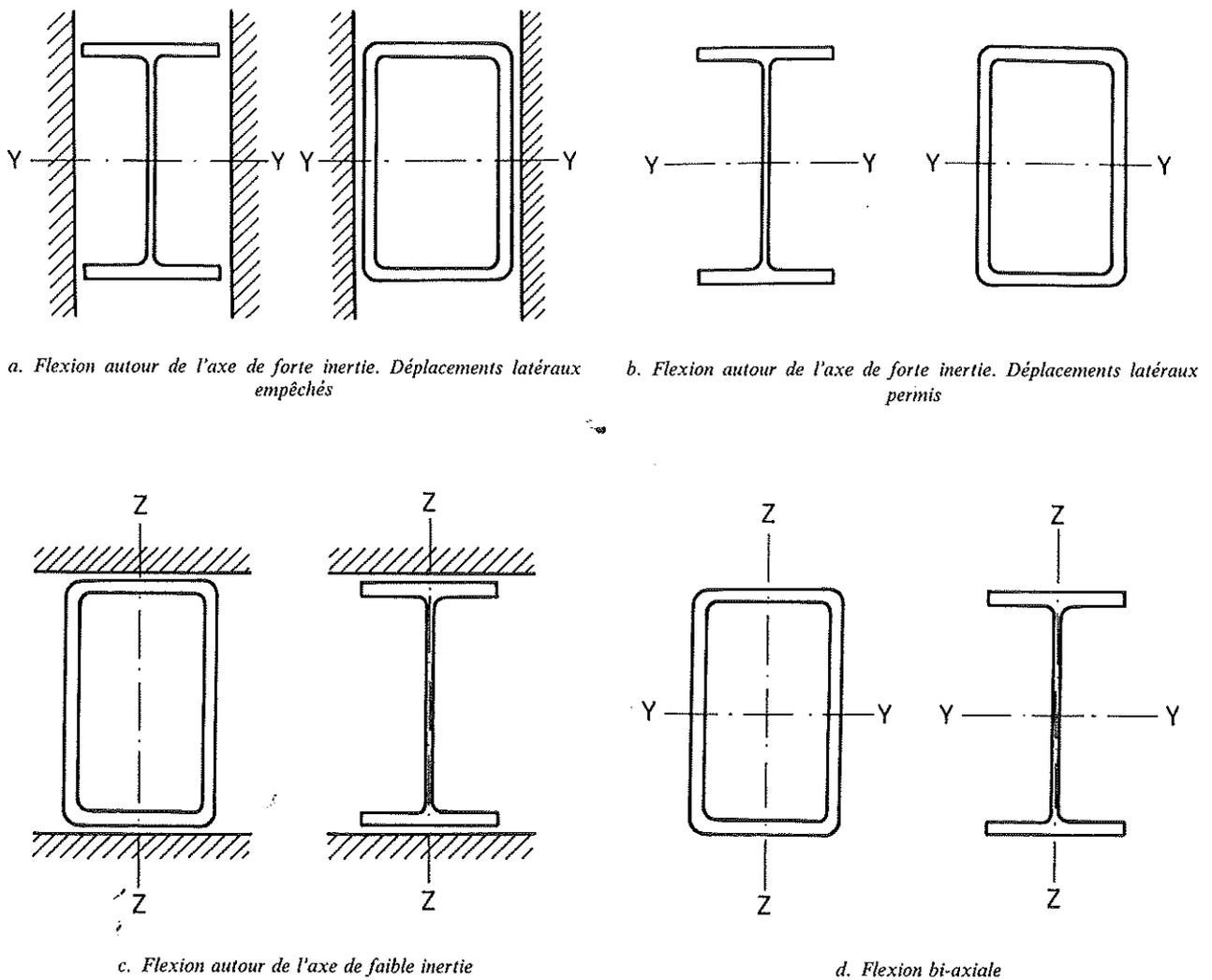


Fig. 2 - Représentation symbolique des quatre cas examinés

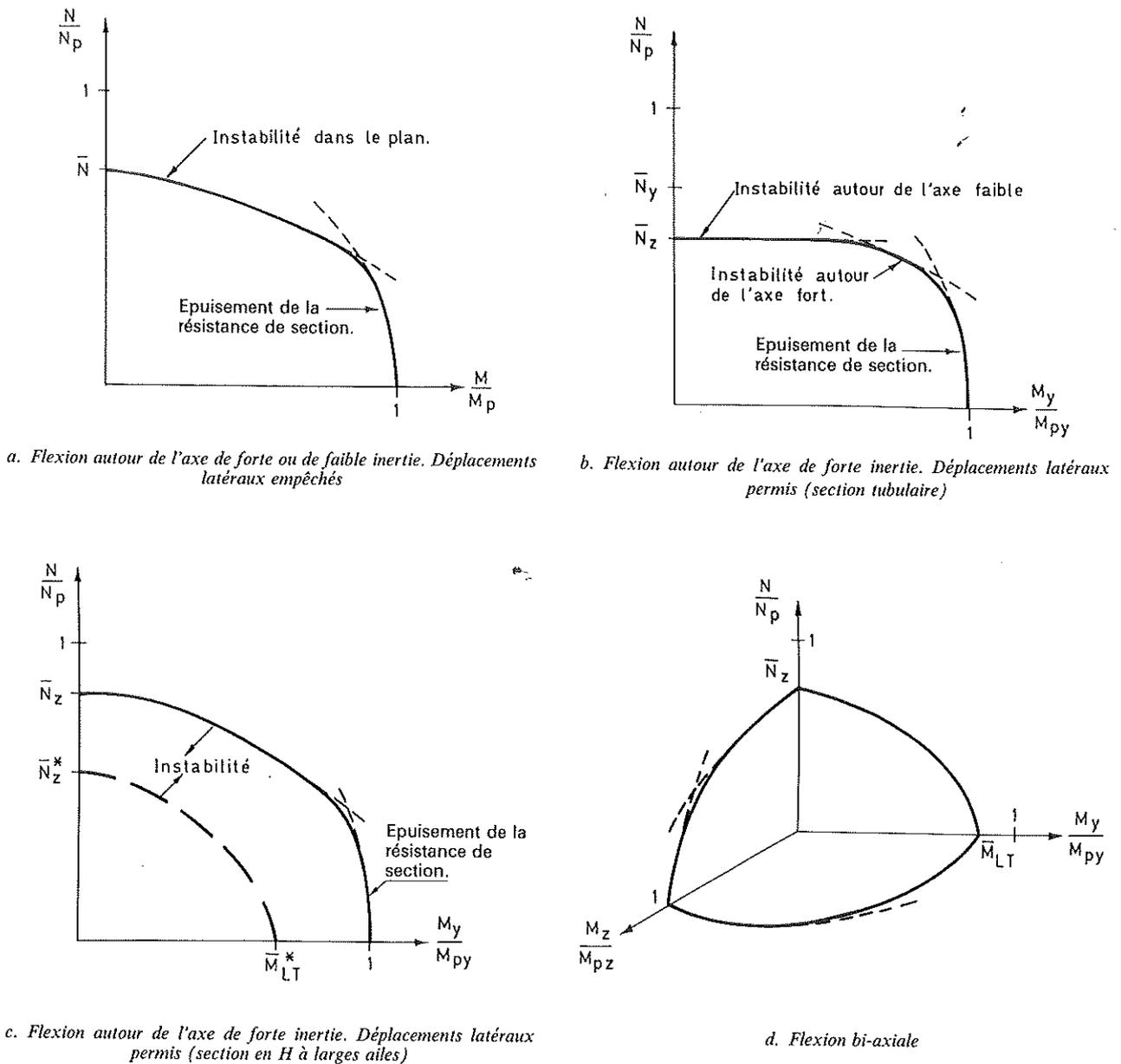


Fig. 3 — Représentation symbolique des modes de ruine d'une barre comprimée fléchie

La proposition ECCS-1985 adopte une formule spécifique pour chacun des modes de ruine. L'approche utilisée dans la DIN 18800 incorpore dans une formule unique les vérifications de stabilité de l'élément et de résistance des sections, à l'exception toutefois du cas de flexion mono-axiale autour de l'axe de forte inertie de la barre comprimée fléchie non tenue latéralement mais pour laquelle le déversement n'est pas susceptible de se produire. Pour cette dernière, le flambement sous compression centrée par flexion hors du plan de sollicitation de flexion doit être vérifié indépendamment. L'Eurocode 3, quant à lui, propose une formulation encore plus condensée puisqu'il distingue seulement deux situations, selon que la barre comprimée fléchie est ou n'est pas tenue latéralement et que, dès lors, il y a ou il n'y a pas de danger de déversement. Enfin, la version LRFD du code AISC use d'une seule et même formule d'interaction pour traiter tous les modes de ruine possibles pour l'action conjointe de compression et de flexion mono ou bi-axiale.

Le lecteur intéressé plus particulièrement par l'une ou l'autre de ces formulations est prié de consulter les documents cités en références.

5. — ÉTUDE COMPARATIVE

5.1. — Barre comprimée fléchie à section tubulaire

Les quatre approches, détaillées au tableau 1, ont été appliquées à la barre comprimée fléchie dont la section tubulaire a les dimensions $200 \times 100 \times 6,3$ mm et pour laquelle il n'y a aucun danger de déversement. Leurs résultats sont comparés à ceux obtenus par simulation numérique des

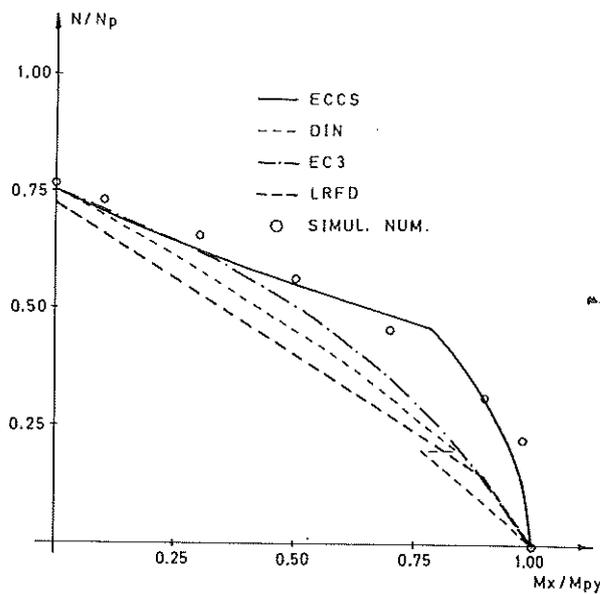
TABEAU I
Quatre formules de dimensionnement

FLEXION MONO-AXIALE		FLEXION BI-AXIALE		
Stabilité dans le plan de sollicitation (//)	Résistance des sections d'extrémité	Stabilité dans le plan \perp au plan de sollicitation	Stabilité	Résistance de section
ECCS-85	<p>Déversement non susceptible de se produire</p> $\frac{N}{N_{u//}} + \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{u//}} (\bar{N}_{u//} \lambda_{//})^2} \frac{C_m M_{//}}{M_{u//}} \leq 1$ <p>Déversement susceptible de se produire</p> $\frac{N}{N_{u\perp}} + \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{u//}} (\bar{N}_{u//} \lambda_{//})^2} \frac{C_m M_{//}}{M_{u//}} \leq 1$	$f \left(\frac{N}{N_p}; \frac{M_{//}}{M_{p//}} \right) \leq 1$	$\frac{C_m M_{//}}{M_{u//}} + \frac{C_m M_{\perp}}{M_{u\perp}} \leq 1$	$f \left(\frac{N}{N_p}; \frac{M_{//}}{M_{p//}}; \frac{M_{\perp}}{M_{p\perp}} \right) \leq 1$
DIN	<p>Déversement non susceptible de se produire</p> $\frac{N}{N_{u//}} + \frac{\beta_{m//} M_{//}}{M_{p//}} \leq 1 - \Delta_a$ <p>Déversement susceptible de se produire</p> $\frac{N}{N_{u\perp}} + \frac{M_{//}}{\kappa_{m//} M_{p//}} k_{//} \leq 1$	$f \left(\frac{N}{N_p}; \frac{M_{//}}{M_{p//}} \right) \leq 1$	$N < N_{u\perp}$	$\frac{N}{\min(N_{u//}; N_{u\perp})} + \frac{\beta_{m//} M_{//}}{M_{p//}} k_{//} + \frac{\beta_{m\perp} M_{\perp}}{M_{p\perp}} k_{\perp} \leq 1 - \Delta_a$
EC3	<p>Déversement non susceptible de se produire</p> $\frac{N}{\min(N_{u//}; N_{u\perp})} + \frac{k'_{//} M_{//}}{M_{p//}} + \frac{k'_{\perp} M_{\perp}}{M_{p\perp}} \leq 1$ <p>Déversement susceptible de se produire</p> $\frac{N}{N_{u\perp}} + \frac{M_{//}}{\kappa_{m//} M_{p//}} k_{//} \leq 1$	$f \left(\frac{N}{N_p}; \frac{M_{//}}{M_{p//}} \right) \leq 1$	$N < N_{u\perp}$	$\frac{N}{N_{u\perp}} + \frac{M_{//}}{\kappa_{m//} M_{p//}} k_{//} + \frac{M_{\perp}}{M_{p\perp}} k_{\perp} \leq 1$
LRFD	<p>Déversement non susceptible de se produire</p> $\frac{N}{2 \min(N_{u//}; N_{u\perp})} + \frac{M'_{//}}{M_{u//}} + \frac{M'_{\perp}}{M_{p\perp}} \leq 1 \text{ for } <$ <p>Déversement susceptible de se produire</p> $\frac{N}{\min(N_{u//}; N_{u\perp})} + \frac{8}{9} \left(\frac{M'_{//}}{M_{u//}} + \frac{M'_{\perp}}{M_{p\perp}} \right) \leq 1 \text{ for } \geq 0.2$	$\frac{N}{\min(N_{u//}; N_{u\perp})} < 0.2$	$\frac{N}{\min(N_{u//}; N_{u\perp})} \geq 0.2$	$\frac{N}{\min(N_{u//}; N_{u\perp})} < 0.2$

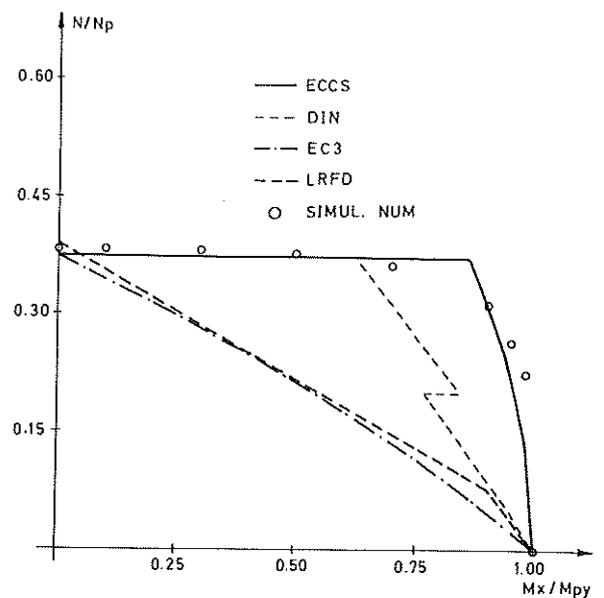
cas correspondants aux figures 4 a à 4 c. On peut donc en conclure que :

- Les quatre approches fournissent des évaluations assez réalistes de la capacité portante de la barre comprimée fléchie soumise à flexion mono-axiale autour de l'axe de forte inertie et tenue latéralement, c'est-à-dire dans le sens perpendiculaire au plan de sollicitation de flexion (fig. 4 a). Pour de faibles valeurs du rapport N/M , la résistance de section est déterminante; la DIN 18800, le code AISC-LRFD et l'Eurocode 3 donnent des valeurs assez sécuri-

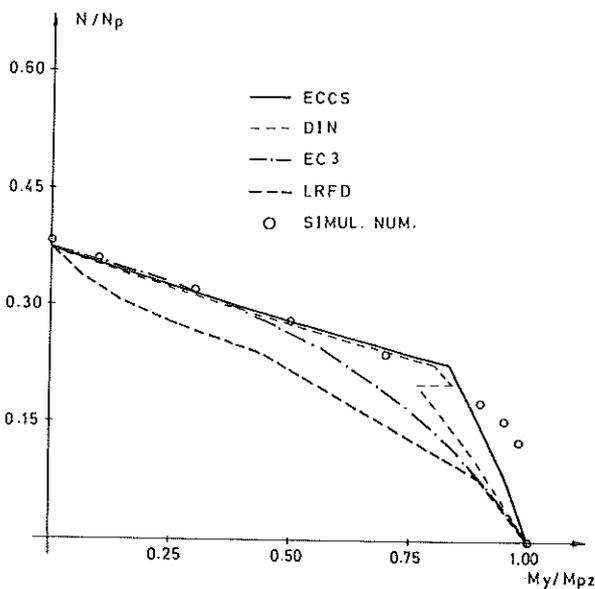
taires de la capacité portante; ceci résulte de toute évidence du fait que les formules correspondantes ont été bâties pour couvrir la vérification de la résistance de section. Les résultats de l'approche EC3-1985 sont en excellent accord avec ceux des simulations numériques, à l'exception toutefois de la zone de transition entre l'instabilité et la résistance de section, où les résultats sont quelque peu insécuritaires. Les conclusions ci-dessus peuvent être répétées pour le cas de la barre comprimée fléchie soumise à flexion mono-axiale autour de l'axe faible (fig. 4 c).



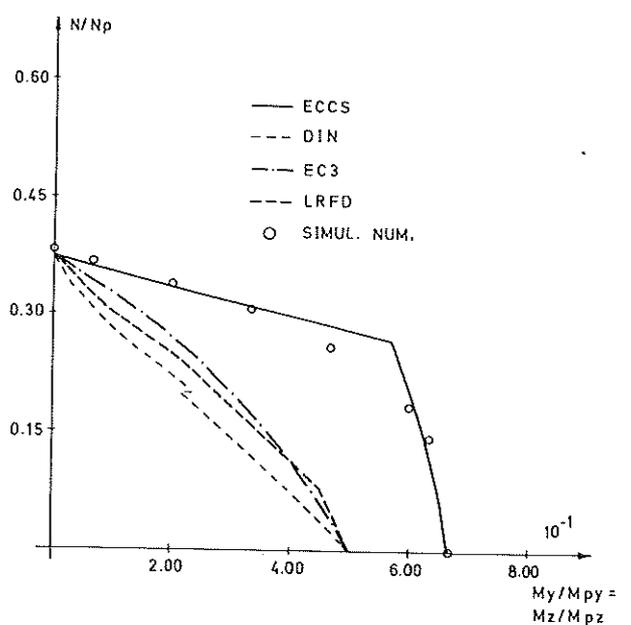
a. Flexion autour de l'axe de forte inertie. Déplacements latéraux empêchés



b. Flexion autour de l'axe de forte inertie. Déplacements latéraux permis



c. Flexion autour de l'axe de faible inertie. Déplacements latéraux permis



d. Flexion biaxiale

Fig. 4 — Comparaison entre résultats de simulations numériques et ceux des quatre approches examinées. Barre comprimée fléchie à section tubulaire de dimensions 200 × 100 × 6,3 mm

— Les formules d'interaction du code AISC-LRFD et de l'Eurocode 3 sous-estiment dramatiquement la capacité portante de la barre comprimée fléchie à section tubulaire rectangulaire soumise à flexion mono-axiale autour de l'axe de forte inertie lorsque les déplacements latéraux sont permis (fig. 4b). L'interaction forte entre les instabilités dans le plan et hors du plan de sollicitation que prédisent ces deux formules est contredite par le comportement réel, tel qu'il ressort de la simulation numérique; celle-ci semble en effet montrer que les amplifications des moments fléchissants respectivement autour des axes de faible et de forte inertie sont indépendantes, si ce n'est dans une zone très limitée où l'on passe d'un mode de ruine — flambement par flexion autour de l'axe de faible inertie — à un autre — instabilité autour de l'axe de forte inertie ou épaissement de la résistance de section. Dans les formulations ECCS-1985 et celles de la DIN 18800, aucun couplage n'est pris en compte; ceci explique en particulier les résultats légèrement insécuritaires fournis par l'approche ECCS-1985 dans cette zone de transition.

— Les approches de la DIN 18800, de l'Eurocode 3 et du code AISC-LRFD fournissent des valeurs comparables de la capacité portante, dans tout le domaine de variation de l'effort axial et des moments fléchissants, pour le cas de compression axiale combinée à flexion bi-axiale. Les résultats fournis par les formules d'interaction sont toutefois très différents, et de manière très significative, de ceux de la simulation, plus particulièrement dans le domaine des valeurs élevées et intermédiaires des moments fléchissants (fig 4d). Selon ces trois approches, la formule d'interaction en flexion bi-axiale, et en l'absence d'un effort axial de compression, se réduit à la forme linéaire suivante :

$$M_y/M_{py} + M_z/M_{pz} \leq 1 \quad (2)$$

Cette expression linéaire diverge considérablement (fig. 5) des critères de dimensionnement recommandés dans [5] pour l'évaluation de la résistance plastique des sections tubulaires de forme rectangulaire, soumises à flexion biaxiale :

$$0.75 (M_y/M_{py})^2 + M_z/M_{pz} \leq 1 \quad \text{si } M_y/M_{py} \leq 2/3 \quad (3a)$$

$$0.75 (M_z/M_{pz})^2 + (M_y/M_{py}) \leq 1 \quad \text{si } M_y/M_{py} \geq 2/3 \quad (3b)$$

Des vérifications distinctes de la stabilité du poteau et de la résistance des sections, les plus sollicitées, à l'instar de ce que faisait l'approche, ECCS-1985 permet une bien meilleure évaluation de la capacité portante { 3X } (fig. 4d).

5.2. — Barres comprimées fléchies à section en double té

Des conclusions similaires peuvent être tirées pour la barre comprimée fléchie constituée de la section laminée à chaud à larges ailes HE 160 B. Seules les comparaisons relatives au cas de la barre comprimée fléchie non tenue latéralement et soumise à flexion mono-axiale autour de l'axe de forte inertie sont présentées ici (fig. 6). Elles mettent plus particulièrement en évidence ce qui suit :

— L'interaction réelle entre le flambement par flexion hors du plan de sollicitation de flexion et le déversement, pour la barre comprimée fléchie à section en double té, se marque davantage que l'interaction entre le flambement par flexion hors du plan de sollicitation de flexion et l'instabilité dans le plan de sollicitation de flexion pour la barre comprimée fléchie à section tubulaire.

— Tout comme la DIN 18800, l'Eurocode 3 et le code AISC-LRFD, l'approche ECCS-1985 sous-estime la capacité portante, mais dans une mesure nettement moindre. Il est un fait que la formule ECCS-1985 tient compte du couplage existant entre le flambement hors du plan de sollicitation de flexion et le déversement; cette prise en compte reste toutefois trop sécuritaire. La nécessité de vérifier séparément l'instabilité et la résistance de section permet néanmoins, contrairement aux approches DIN 18800, Eurocode 3 et AISC-LRFD, d'obtenir une bien meilleure évaluation de la capacité portante.

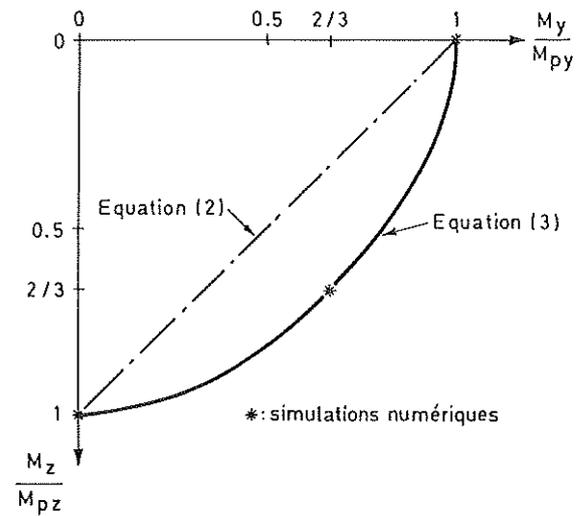


Fig. 5 — Résistance d'une section tubulaire de forme rectangulaire sous flexion bi-axiale

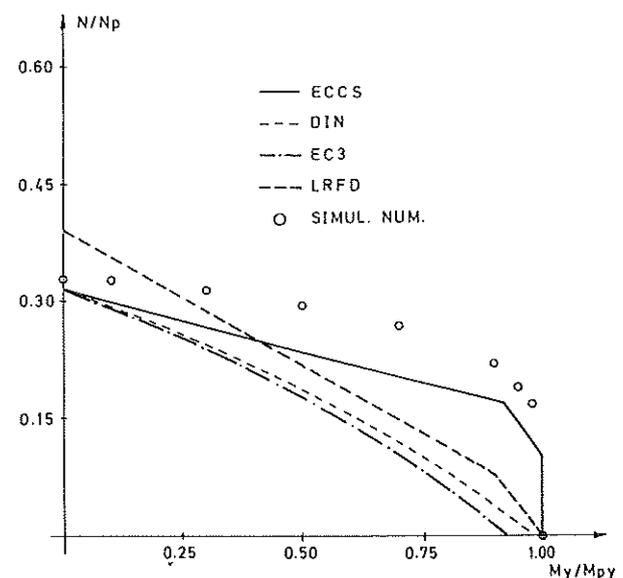


Fig. 6 — Comparaison entre résultats de simulations numériques et ceux des quatre approches examinées. Barre comprimée fléchie à section laminée à chaud HE 160 B non tenue latéralement et soumise à compression et flexion bi-axiale

TABLEAU 2
Qualités et faiblesses des quatre formules d'interaction

Formules d'interaction	RESISTANCE DE SECTION				INSTABILITE			
	N	M_y/M_z	$N-M_y/N-M_z$	$N-M_x-M_y$	Flambement sous N	Déversement sous M_y	Inst. d'ensemble sous $N-M_y/N-M_z$	Inst. d'ensemble sous $N-M_y-M_z$
ECCS-85	😊	😊	😊	😊	😊	😞	😞 *	😊
DIN	😊	😊	😞	😞	😊	😊	Pas de déversement 😊 Déversement possible 😞 *	😞
EC3	😊	😊	😞	😞	😊	😊	😞 *	😞
AISC-LRFD	😊	😊	😞	😞	😊	😊	😞	😞

* La continuité entre les formules "sans déversement" et "avec déversement possible" n'est pas assurée.

6. — CONCLUSIONS

Malgré son caractère limité, l'étude comparative qui a été entreprise semble devoir conduire à quelques conclusions intéressantes :

- Lorsque la résistance de section est déterminante (faibles valeurs du rapport N/M), les approches AISC-LRFD et Eurocode 3 sont trop sécuritaires. Elles le restent lorsqu'on considère l'interaction entre les instabilités dans et hors du plan de sollicitation de flexion. Remplacer simplement, lorsque le flambement hors du plan est possible, N_z par N_y dans la formule d'interaction pour l'instabilité dans le plan de sollicitation de flexion ne peut constituer une manière cohérente de prendre en compte l'amplification réelle des moments fléchissants autour des axes de forte et de faible inertie.
- Les approches DIN 18800 et ECCS-1985 couvrent avec des formules différentes l'interaction entre les instabilités par flambement dans et hors du plan de sollicitation de flexion, lorsque le déversement est ou n'est pas susceptible de se produire. Il en résulte une transition non continue lorsqu'on passe d'une formule (déversement possible) à l'autre (déversement empêché).
- Selon la formule ECCS-1985, le cas de flexion mono-axiale autour de l'axe fort (ruine par déversement) ne constitue pas un cas limite de celui de compression combinée à flexion mono-axiale autour de l'axe de forte inertie (ruine par instabilité à caractère spatial).

7. — VUES PROSPECTIVES

Les conclusions énoncées à l'encontre des quatre formules d'interaction considérées dans le présent article permettent de dégager de manière précise l'ensemble des conditions auxquelles la formule d'interaction idéale se devrait de répondre. Ces conditions sont au nombre de quatre :

1. Lorsque l'élanement de la barre comprimée fléchie diminue, la résistance de section prend progressivement le pas sur les phénomènes d'instabilité (flambement, déversement). La formule d'interaction doit alors s'identifier à un critère de vérification de la résistance d'une section comprimée et fléchie, qu'il s'agisse d'une sollicitation $N + M_y$, $N + M_z$ ou $N + M_y + M_z$. Une situation similaire peut survenir pour des barres comprimées fléchies plus élancées, caractérisées par une faible valeur du rapport effort normal/moment de flexion.
2. En particulier, la formule d'interaction se doit de couvrir de manière précise les ruines par épuisement de résistance de section des profils soit uniquement comprimés (N), soit uniquement fléchis (M).
3. Pour des élancements plus importants, la barre comprimée fléchie peut se trouver en danger d'instabilité.

Dans le cas de barres comprimées fléchies tenues transversalement et soumises à compression et flexion mono-axiale combinées, il importe que la formule d'interaction puisse s'adapter aux différents modes de ruine (instabilité et épuisement de résistance de section) dont l'apparition

dépend du rapport effort de compression/moment de flexion.

Dans le cas de barres comprimées fléchies, non tenues latéralement et soumises à flexion mono-axiale ou bi-axiale, la formule d'interaction doit traduire correctement les interactions axe fort — axe faible dont la nature et l'importance dépend du danger ou non d'apparition de phénomènes de déversement. A cet égard, la transition douce et continue, par la formule d'interaction, d'un type d'interaction à un autre est particulièrement souhaitable.

4. La ruine par instabilité d'une barre comprimée fléchie soit par flambement sous effort axial de compression seul, soit par déversement sous moment de flexion seul doit être couverte par la formule d'interaction, à titre de cas particulier de la condition énoncée au point (3) ci-dessus.

Le tableau 2 récapitulatif suivant indique la manière dont les quatre formules retenues satisfont à ces différentes conditions. Il met encore davantage en évidence les faiblesses et manquements des formules actuellement contenues dans les codes et normes et en particulier, pour les pays européens, de l'Eurocode 3. Pour ce dernier, la complexité des expressions des principaux coefficients intervenant dans les relations d'interaction contraste assez singulièrement avec l'imprécision notoire à laquelle ces relations peuvent conduire.

Ce tableau laisse toutefois entrevoir les qualités intrinsèques de l'approche ECCS-1985, la moindre n'étant certainement pas de traduire de façon accessible à l'esprit la physique des phénomènes étudiés.

Il importerait de tirer profit de ces divers enseignements afin de tenter d'améliorer les règles de calcul des barres comprimées fléchies et d'établir des formulations alliant, autant que faire se peut, simplicité, précision et sens physique.

Une version en langue anglaise du présent article a été présentée lors de l'*Annual Meeting* du *Structural Stability Research Council*, qui s'est tenu à Milwaukee - Wisconsin (U.S.A.) les 5 et 6 avril 1993, et sera incorporée dans les *Proceedings* de ladite réunion.

8. — RÉFÉRENCES

- [1] ECCS-Task Working Group 8.1/8.2 — Documents de travail, 1985 (non publiés).
- [2] DIN 18800-Teil 1. — *Stahlbauten, Bemessung und Konstruktion*, Beuth Verlag GMBH, Berlin, mars 1988.
- [3] Eurocode 3-DAN. — *Calcul des structures en acier. Partie 1.1 : Règles générales et règles pour les bâtiments*. Norme expérimentale française P22-311.
- [4] American Institute for Steel Construction. — *Load and Resistance Factor Design. Manual of Steel Construction*. 1^{re} édition, 1986.
- [5] Chambre Syndicale des Fabricants des Tubes d'Acier et Cométube. — *Construire avec des profils creux*. 1^{re} édition, octobre 1984.