

LES BONNES VIELLES REGLES DE L'ART POUR BUS – BARS BARRES OMNIBUS EN CUIVRE POUR B.T. OU M.T.

1- GENERALITES

Chaque fois que l'ingénieur ou le projeteur doit établir un projet de barres omnibus, il se trouve confronté avec des problèmes de divers ordres :

· Electriques

Quelle intensité peut-on faire passer dans une barre ou un jeu de barres donné et, inversement, quel conducteur faut-il prévoir pour une intensité donnée ? Quelle sera la chute de tension ? etc...

· Mécaniques

Quelles dimensions faut-il donner aux barres pour que celles-ci présentent une résistance mécanique compatible avec leurs conditions d'emploi : leur propre poids d'abord et, dans le cas de conducteurs extérieurs, les surcharges dues au vent, à la neige, etc... ?

Deux facteurs, d'ailleurs liés l'un à l'autre, interviennent pour limiter le courant admissible dans un conducteur :

- la température atteinte par ce conducteur,
- les pertes par échauffement.

En dehors de toute spécification particulière, la température d'un conducteur en cuivre ne doit pas dépasser 90°, et ce pour les raisons suivantes :

- éviter l'oxydation très rapide du cuivre qui se produit, en présence de l'air, au-delà de cette température, et qui peut entraîner de dangereux échauffements locaux, aux joints et aux contacts ;
- éviter également tout effort mécanique important sur les supports, dû aux dilatations et aux contractions du cuivre ;
- assurer la sécurité des isolants ;
- limiter les risques d'incendie.

ECHAUFFEMENT DES BARRES

Un conducteur, une barre par exemple, parcouru par un courant produit une énergie sous forme de chaleur, proportionnelle à sa résistance et au carré de l'intensité du courant. Sa température augmente donc.

D'autre part, le conducteur perd de la chaleur par l'action de trois phénomènes : conduction, convection, rayonnement. La chaleur dissipée dépend de la température du conducteur. Quand cette température, dans des conditions de service déterminées, atteint une valeur telle que l'énergie calorifique produite est égale à celle qui est dissipée pendant le même temps, elle se stabilise à cette valeur d'équilibre.

Trois causes, nous l'avons dit, entraînent la dissipation de la chaleur :

- la conduction
- la convection
- le rayonnement.

La conduction ne dissipe, en général, que peu de chaleur, car les isolants sont de mauvais conducteurs thermiques.

Quant à la convection et au rayonnement, leurs effets relatifs sont très variables.

Exemple :

- ambiance 30° - chaleur dissipée par convection 2/3
- élévation de température de 30 à 40° . -chaleur dissipée par rayonnement 1/3
- état de surface normal

La chaleur totale dissipée par unité de surface est plus élevée dans le cas d'un petit conducteur.

spri **BINAME** bvba

Kloosterstraat, 184 - 1702 Groot-Bijgaarden - Belgium

Tel : +32 (02)466.25.08 - Fax : +32 (02)466.59.90 - E-mail : info@biname.be - URL : <http://www.biname.be>

CHALEUR DISSIPEE PAR CONVECTION

Par unité de surface, la chaleur dissipée par convection dépend :

- de la forme du conducteur
- de ses dimensions
- de l'élévation de température qu'il subit.

Elle dépend aussi de la vitesse des filets d'air qui lèchent le conducteur et dont l'influence est considérable. (Nous ne nous occupons, pour l'instant, que des barres placées à l'intérieur, à l'abri des courants d'air, et dont les conditions de travail sont, de ce fait, les plus dures.)

Le refroidissement est meilleur, pour une barre rectangulaire, quand celle-ci est placée sur chant. Pour obtenir le maximum de refroidissement, il convient de placer les barres de telle façon qu'elles gênent le moins possible la circulation naturelle de l'air et qu'elle présentent le maximum de surface en contact avec l'air. C'est pourquoi il est souvent préférable d'utiliser un certain nombre de barres minces, sur chant, plutôt qu'un seul conducteur, plein et épais.

CHALEUR DISSIPEE PAR RAYONNEMENT

Par unité de surface, la chaleur dissipée par rayonnement dépend :

- de la température absolue du métal
- de l'état de sa surface.

Aux températures normales de fonctionnement des barres, l'émission de chaleur dépend beaucoup plus de la nature de la surface que de sa couleur.

Un cuivre brillant et poli émet moins de chaleur qu'une surface noire et mate (bien que cela soit dû plutôt à la matité qu'à la couleur).

On a constaté, au cours d'essais, qu'il était possible d'augmenter la chaleur dissipée par un conducteur de cuivre en le passant au papier de verre - et cela, non parce que la surface était devenue plus brillante, mais parce qu'elle était rendue plus rugueuse.

	Pouvoir émissif
- Corps noir	1
- Cuivre poli	0,3 à 0,60
- Cuivre normalement oxydé	0,5
- Cuivre très oxydé	0,7
- Cuivre peint : laque ou émail brillant	0,8 à 0,95
- Cuivre peint : peinture mate (quelle que soit la couleur)	0,98

Les résultats d'expériences confirment qu'en peignant les barres avec une peinture noire (glycérophthalique, par exemple), on peut augmenter la chaleur dissipée et, partant, le courant admissible dans une proportion de 18 à 25 %.

En oxydant les barres par électrolyse dans un bain de soude caustique (oxyde cuprique noir et tenace), on peut même obtenir un pouvoir émissif qui approche de l'unité.

spri **BINAME** bvba

Kloosterstraat, 184 - 1702 Groot-Bijgaarden - Belgium

Tel : +32 (02)466.25.08 - Fax : +32 (02)466.59.90 - E-mail : info@biname.be - URL : <http://www.biname.be>

2- DETERMINATION DES INTENSITES ADMISSIBLES

Les intensités admissibles dans un conducteur dépendent de la chaleur dissipée. Elles sont donc en fonction des caractéristiques dimensionnelles pour une température donnée.

Elles sont différentes suivant que le conducteur est parcouru par du courant continu ou du courant alternatif, ce dernier donnant lieu à des pertes supplémentaires.

Le calcul des pertes s'avérant malaisé, on a fait appel à l'expérimentation directe pour connaître les lois générales régissant les phénomènes physiques observés. Nous nous sommes basés sur des essais entrepris par la Copper Development Association au National Physical Laboratory de Teddington (Royaume-Uni).

CONDITIONS DES ESSAIS

Les essais ont été effectués sur des conducteurs en cuivre disposés horizontalement dans une ambiance à température constante de 20° environ, dans une atmosphère exempte de courants d'air. Les surfaces des barres servant aux essais étaient moyennement ternies pour se rapprocher le plus possible des conditions normales de travail.

Les conducteurs utilisés étaient :

- des barres rectangulaires sur chant, dont les dimensions allaient approximativement de 25 x 3 à 100 x 6 ;
- des barres rondes, pleines ou tubulaires, d'un diamètre allant approximativement de 12 à 38 mm.

RESULTATS DES ESSAIS

On a constaté que pour tous les conducteurs essayés, quelles que soient leurs formes ou leurs dimensions, il y avait une relation linéaire entre le logarithme de l'énergie fournie à la barre par unité de longueur et par unité de temps, et le logarithme de l'élévation de température de la barre, une fois la température stabilisée.

$$\log W = k \log (q - t)$$

W énergie fournie par unité de longueur

q température de la barre

t température de l'air ambiant

k constante.

3- COURANT ALTERNATIF ADMISSIBLE

Un courant alternatif crée un champ magnétique qui réagit, non seulement sur les autres conducteurs, à condition qu'ils ne soient pas trop éloignés, mais encore sur le conducteur parcouru par le propre courant qui lui a donné naissance.

Il en résulte qu'un courant alternatif circulant dans une barre subira des distorsions et que sa densité ne sera pas la même en tous points de la section de la barre ; ce phénomène pourra être si complexe qu'il ne sera pas toujours possible de le prédéterminer et d'en calculer, de façon acceptable, les conséquences. Pour de fortes intensités en particulier, la seule méthode satisfaisante consistera souvent à faire des essais et des mesures en vraie grandeur, dans des conditions très proches des véritables conditions de travail, sinon les mêmes.

spri **BINAME** bvba

Kloosterstraat, 184 - 1702 Groot-Bijgaarden - Belgium

Tel : +32 (02)466.25.08 - Fax : +32 (02)466.59.90 - E-mail : info@biname.be - URL : <http://www.biname.be>

SELF-INDUCTION ET EFFET DE PEAU

Sans vouloir énoncer les lois générales de l'induction électromagnétique, rappelons que tout phénomène variable tend à produire un phénomène antagoniste, s'opposant à la cause qui lui a donné naissance.

Le courant alternatif circulant dans un conducteur crée un champ magnétique. Ce champ magnétique variable va donc produire un phénomène antagoniste, ici une force contre-électromotrice, tendant à s'opposer au passage du courant qui a engendré le champ magnétique.

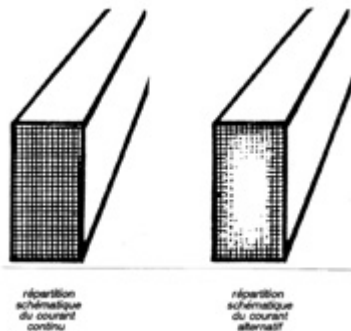
D'autre part, on constate qu'un tel champ magnétique alternatif n'a pas la même valeur en tous points de l'espace mais qu'au contraire, très intense sur l'axe du conducteur, il diminue rapidement à mesure qu'on s'en écarte.

On conçoit que la force contre-électromotrice, qui est proportionnelle au champ magnétique et qui varie en grandeur comme lui, sera très élevée sur l'axe du conducteur et diminuera à mesure qu'on s'en écartera. Par suite, le courant rencontrant moins d'obstacles à la périphérie qu'au centre du conducteur aura tendance à se concentrer à la surface de celui-ci.

Tout se passe comme si la partie centrale de la barre devenait très résistante et comme si, seule, la "peau" restait conductrice.

L'effet de peau a pour résultat de concentrer le courant sur les bords de la barre. Son importance dépend de l'épaisseur de la barre et du rapport de la hauteur à l'épaisseur.

Les courbes de la figure ci-après, tracées d'après les calculs de Dwight, donnent le coefficient d'effet de peau pour des barres de cuivre méplates.



Elles montrent tout l'intérêt que présente l'utilisation de barres pour lesquelles le rapport " hauteur / épaisseur " est grand. A section égale en effet, non seulement de telles barres ont une plus grande surface de refroidissement, mais encore la densité de courant y est plus uniforme.

BARRES MULTIPLES

D'une façon générale, pour les barres omnibus destinées à être parcourues par des courants de forte intensité, il faut tenir compte des trois facteurs essentiels :

1. Les barres doivent présenter le maximum de surface permettant de dissiper la chaleur.
2. Les barres doivent être disposées de façon à gêner le moins possible les courants d'air naturels.
3. La densité de courant doit être aussi uniforme que possible dans toutes les différentes parties des conducteurs.

Les barres méplates rectangulaires doivent être montées autant que possible parallèlement, leurs grands axes étant verticaux pour faciliter la circulation de l'air.

Le courant admissible dans de telles barres dépend essentiellement des dimensions et proportions des méplats et de leur disposition.

A titre indicatif, le tableau ci-après donne une évaluation approximative des coefficients par lesquels il faut multiplier le courant admissible dans une barre en courant alternatif 50 Hz, pour obtenir le courant admissible dans une barre multiple formée de 2, 3 ou 4 barres élémentaires (maximum pratiquement admissible).

Lorsque les barres omnibus sont destinées à être parcourues par des courants de forte intensité, les barres doivent :

- présenter le maximum de surface permettant de dissiper la chaleur,
- être disposées de façon à gêner le moins possible les courants d'air naturels.

spri **BINAME** bvba

Kloosterstraat, 184 - 1702 Groot-Bijgaarden - Belgium

Tel : +32 (02)466.25.08 - Fax : +32 (02)466.59.90 - E-mail : info@biname.be - URL : <http://www.biname.be>

Elles doivent donc être montées autant que possible parallèlement, leurs grands axes étant verticaux pour faciliter la circulation de l'air.

Les barres multiples sont réalisées en plaçant côte à côte des barres élémentaires ; mais au-delà d'un certain nombre (quatre au maximum), l'effet de peau diminue de façon considérable la proportion du courant qui est transporté par les conducteurs centraux. Le courant admissible dans de telles barres dépend essentiellement des dimensions et proportions des méplats et de leur disposition.

A titre indicatif, le tableau suivant donne une évaluation approximative des coefficients par lesquels il faut multiplier le courant admissible dans une barre en courant alternatif 50 Hz, pour obtenir le courant dans une barre multiple de 2, 3 ou 4 barres élémentaires de largeur et épaisseur donnée. Les barres sont dans une ambiance normale de 30°C et peuvent subir un échauffement de 50°C. Le tableau a été établi en appliquant une méthode décrite par DWIGHT (Electrical Coils and Conductors - HB DWIGHT, Mc GRAW HILL). On a supposé que le pouvoir émissif des barres était de 0,4 (barres nues non peintes). Une peinture mate, donnant un pouvoir émissif de 0,7 permettrait un accroissement de l'ordre de + 7,5 % des valeurs indiquées.

COEFFICIENTS MULTIPLICATEURS POUR BARRES MULTIPLES (COURANT ALTERNATIF)											
N	LARGEUR DES BARRES										
	50 mm		80 mm			100 mm			160 mm		
	épaisseur en mm		épaisseur en mm			épaisseur en mm			épaisseur en mm		
	6,3	10	6,3	10	16	6,3	10	16	6,3	10	16
2	1,77	1,72	1,72	1,65	1,61	1,70	1,60	1,50	1,60	1,49	1,45
3	2,27	2,25	2,24	2,12	2,03	2,17	2,02	1,90	2,02	1,95	1,80
4	2,93	2,70	2,69	2,60	2,42	2,64	2,40	2,24	2,40	2,20	2,10

N = nombre de barres en parallèle.

spri **BINAME** bvba

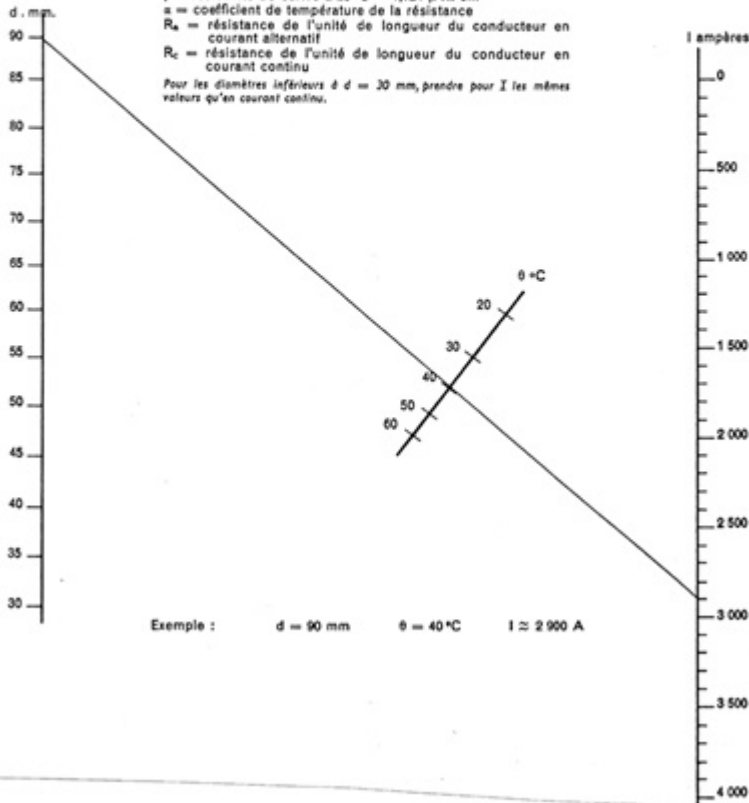
Kloosterstraat, 184 - 1702 Groot-Bijgaarden - Belgium

Tel : +32 (02)466.25.08 - Fax : +32 (02)466.59.90 - E-mail : info@biname.be - URL : <http://www.biname.be>

INTENSITÉS ADMISSIBLES - Barres rondes et pleines en cuivre
courant alternatif

$$I = 25,9 \cdot S^{0,5} \cdot \rho^{0,5} \frac{\theta^{0,5}}{\sqrt{[1 + \alpha(\theta + 10)] \rho}} \frac{1}{\sqrt{\frac{R_a}{R_c}}} \frac{1}{\sqrt{\frac{1 - 0,015(\theta + 10)}{10}}}$$

I = intensité admissible en ampères
 S = section en $\text{cm}^2 = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{d^2}{100}$ (d étant exprimé en mm)
 ρ = périmètre en $\text{cm} = \frac{\pi d}{10}$
 θ = échauffement en °C au-dessus d'une ambiance de 30°C
 ρ = résistivité du cuivre à 20°C = 1,724 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$
 α = coefficient de température de la résistance
 R_a = résistance de l'unité de longueur du conducteur en courant alternatif
 R_c = résistance de l'unité de longueur du conducteur en courant continu
 Pour les diamètres inférieurs à $d = 30$ mm, prendre pour I les mêmes valeurs qu'en courant continu.



4- CONSTITUTION DES JEUX DE BARRES

Lorsque l'on est contraint d'envisager plusieurs barres par phase, il va sans dire que la disposition sur chant avec intervalles entre barres au moins égaux à leur épaisseur et insertion de cales est en tous points intéressante. Nous ne saurions que vous conseiller l'utilisation du système PSB de ERIM -voir notice technique IR010 (sur demande).

En effet, elle favorise au maximum les échanges thermiques avec l'air ambiant et, de surcroît, augmente le moment d'inertie et le module de résistance à la flexion, facteurs qui concourent à une meilleure tenue mécanique.

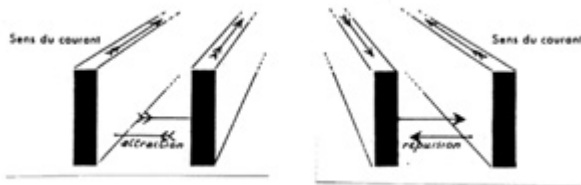
L'étude de la constitution d'un jeu de barres repose sur des considérations d'ordre électrique (efforts électrodynamiques, échauffements) et sur des considérations mécaniques (solllicitations statiques et dynamiques). L'ensemble de ces problèmes est explicité dans les chapitres qui suivent.

EFFORTS ELECTROMAGNETIQUES SUBIS PAR DES BARRES OMNIBUS

Tout conducteur placé dans un champ magnétique subit, lorsqu'il est traversé par un courant, une force qui selon les lois de l'électromagnétisme tend à le déformer pour lui faire couper le nombre maximum de lignes de force du champ, ou qui, en d'autres termes, tend à le faire traverser par le flux maximum.

Les barres omnibus subissent de telles forces dues aux champs magnétiques produits par les conducteurs voisins et parallèles.

Lorsque dans deux barres voisines les courants sont de même sens, l'effort subi par les barres est une attraction ; si les courants sont de sens opposés, les barres se repoussent.



En service normal, ces efforts sont suffisamment petits pour pouvoir être négligés. En court-circuit ils peuvent devenir considérables et atteindre des valeurs plusieurs milliers de fois supérieures à leur valeur en service normal. On est amené à en tenir compte pour le calcul mécanique des barres omnibus.

En cas de court-circuit, ces forces prennent naissance très brusquement ; elles sont unidirectionnelles pour le courant continu, vibratoires ou pulsatoires pour le courant alternatif et les efforts auxquels peuvent être soumises les barres ou leurs supports sont de quatre types :

- 1) attraction ou répulsion transversale ;
- 2) efforts dus à des vibrations ;
- 3) efforts longitudinaux dus à une flexion transversale des barres ;
- 4) moments de torsion provenant également de la flexion transversale.

COURT-CIRCUITS EQUILIBRES DANS LES DISTRIBUTIONS TRIPHASEES

Dans ce cas, les courants dans chacune des phases conservent leur déphasage de 120°, et du fait que le sens du courant change constamment dans deux phases par rapport à la troisième, l'amplitude et le sens des forces qui prennent naissance changent constamment.

La force d'attraction maximale entre deux barres quelconques (par exemples les barres 1 et 3, figure ci-après) est, en négligeant l'influence de la troisième :

$$FA = 1/4 \left(2.04 I^2 \frac{l}{s_1} \right) K.10^{-8}$$

Dans le cas de barres équidistantes $s_1 = 2s$ d'où :

$$FA = 1/8 \left(2.04 I^2 \frac{l}{s} \right) K.10^{-8}$$

De même la force de répulsion maximale qui agit simultanément entre deux barres, par exemple entre les barres 1 et 2, a pour valeur, en négligeant l'influence de la troisième barre (barre n° 3) :

$$FB = 3/4 \left(2.04 I^2 \frac{l}{s} \right) K.10^{-8}$$

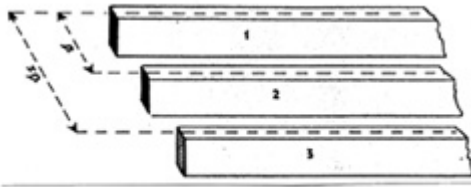
En composant les forces, attraction et répulsion, qui agissent à un moment donné sur une barre quelconque, on trouve que le maximum d'effort qu'elle subit en court-circuit est :

$$F_{max} = 1,53 I^2 \cdot \frac{l}{s} \cdot K.10^{-8}$$

spri **BINAME** bvba

Kloosterstraat, 184 - 1702 Groot-Bijgaarden - Belgium

Tel : +32 (02)466.25.08 - Fax : +32 (02)466.59.90 - E-mail : info@biname.be - URL : <http://www.biname.be>

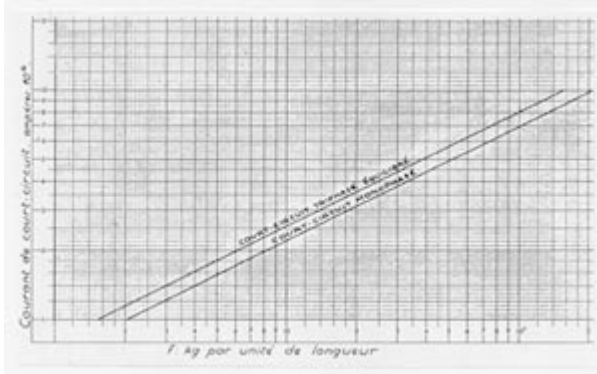


Court-circuit triphasé équilibré

Cette force est moins élevée que celle qui se produit en monophasé. Mais les court-circuits monophasés sont les plus fréquents, même dans une distribution triphasée, et ce sont les plus dangereux. Il sera donc prudent de calculer les barres et les supports d'une distribution triphasée pour qu'ils puissent résister aux effets des courts-circuits monophasés, en monophasé, les courants dans les deux barres étant déphasés de 180°.

Les courbes ci-après montrent la relation qui existe entre le courant de court-circuit et la force électromagnétique qui prend naissance par unité de longueur entre des barres de section circulaire, d'écartement unitaire, en monophasé et en triphasé équilibré.

Ces courbes n'ont pas été corrigées pour tenir compte de l'effet des extrémités et ne sont donc valables que lorsque le rapport l/s de leur longueur totale à leur écartement est supérieur à 20.



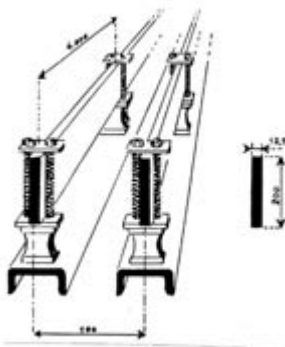
Pour déterminer la force agissant sur une longueur 1 cm de barre (par exemple la longueur d'une portée), écartées de s cm et ayant un facteur de forme K , il suffit de relever sur la courbe la force unitaire F correspondant à un courant maximum de court-circuit I

$$(I = 1,8 \sqrt{2} \cdot I_e),$$

et de multiplier par $\frac{l}{s} \cdot K$

Exemple :

Effort s'exerçant en cas de court-circuit monophasé sur une portée entre 2 barres de 200 x 12,5 mm écartées de 100 mm. Longueur de la portée : 4 m.



Courant maximum de court-circuit $I = 30.000$ ampères.

Détermination de K : $a = 1,25$ cm, $b = 20$ cm, $s = 10$ cm.

$$\frac{a}{b} = \frac{1,25}{20} = 0,06$$

spri **BINAME** bvba

Kloosterstraat, 184 - 1702 Groot-Bijgaarden - Belgium

Tel : +32 (02)466.25.08 - Fax : +32 (02)466.59.90 - E-mail : info@biname.be - URL : <http://www.biname.be>

$$\frac{s-a}{a+b} = \frac{8,75}{21,25} = 0,41$$

On peut ainsi résumer les formules à appliquer :

Si L est très grand par rapport à s ,

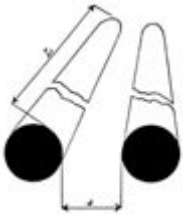
$$\sqrt{\left(\frac{L}{s}\right)^2 + 1} - 1$$

est pratiquement égal à L/s et on revient à la formule (2).

Dans beaucoup de cas et d'une manière générale, on obtient des résultats suffisamment précis en utilisant la formule suivante:

$$F_{max} = 2,04 I^2 \left(\frac{L}{s} - 1\right) 10^{-4} \quad (4)$$

En pratique on se basera sur les indications de la figure ci-dessous pour choisir la formule :



Formules à utiliser :

$$\text{Si } \frac{L}{s} \phi 20 \quad F_{max} = 2,04 \cdot I^2 \cdot \frac{L}{s} \cdot 10^{-8} \quad (2)$$

$$\frac{L}{s} \pi 4 \quad F_{max} = 2,04 \cdot I^2 \left[\sqrt{\left(\frac{L}{s}\right)^2 + 1} - 1 \right] 10^{-8} \quad (3)$$

$$4 \pi \frac{L}{s} \pi 20 \quad F_{max} = 2,04 \cdot I^2 \left(\frac{L}{s} - 1\right) 10^{-8} \quad (4)$$

FACTEUR DE FORME

Les formules précédentes ne s'appliquent qu'à des conducteurs ronds. Lorsqu'il s'agit de méplats, il est nécessaire d'introduire un facteur de correction K dans la formule, sauf si les conducteurs sont très petits ou très éloignés (Dwight).

On a alors :

$$F_{max} = 2,04 I^2 \frac{L}{s} K \cdot 10^{-8} \quad (5)$$

Les courbes ci-après donnent K en fonction de l'expression

$$\frac{s-a}{a+b}$$

pour différentes valeurs de a/b ;

"a" représentant l'épaisseur de la barre ou du groupe de barres,

"b" la hauteur de la barre ou du groupe de barres,

"s" l'entr'axe des barres ou groupes de barres.

spri **BINAME** bvba

Kloosterstraat, 184 - 1702 Groot-Bijgaarden - Belgium

Tel : +32 (02)466.25.08 - Fax : +32 (02)466.59.90 - E-mail : info@biname.be - URL : <http://www.biname.be>

5- ISOLATEURS SUPPORTS

Les isolateurs supports de barres, utilisés en basse tension ou en moyenne tension, sont généralement formés d'un corps isolant de forme cylindrique ou tronconique, en porcelaine ou isolant synthétique, sur lequel est fixée la pièce maintenant la ou les barres. Ces dernières sont soit maintenues par vis de serrage soit rendues solidaires par plaques de serrage faisant partie de la tête de l'isolateur, ce qui évite de créer des points chauds dus à l'enlèvement de matière pour le passage du boulon.

Au point de vue résistance du jeu de barres aux sollicitations statiques, on admet que chaque barre ou ensemble de barres d'une même phase, travaille à la flexion entre deux supports consécutifs. Suivant le mode de fixation des barres indiqué ci-dessus, on admet que dans le premier cas elles sont sur appuis simples, et que dans le second elles sont encastrees.

Le moment de flexion résultant est : $M = F.L/K$ avec F déterminé par le calcul des efforts, L la distance entre appuis, K étant un coefficient dépendant du mode de fixation (8 pour les appuis simples, 12 pour les encastremets). Le taux de fatigue, quotient du moment de flexion par le module de résistance à la flexion, suivant l'axe à considérer, est alors déterminé en supposant que la barre n'est pas continue et fixée sur appuis simples. Les efforts dus au courant de court-circuit étant en général de durée extrêmement courte et le courant maximum de court-circuit étant très rare, il n'est pas exagéré d'admettre comme taux de fatigue pratiquement la limite élastique du métal (2.500 kg/cm² pour le cuivre écroui).

Pour la détermination des isolateurs eux-mêmes, il faut remarquer que l'effort en tête est l'effort maximum qu'ils doivent supporter à la flexion. Sa valeur correspond à une force F appliquée au centre de gravité du conducteur, tandis que celle indiquée comme caractéristique d'un support dans les catalogues des fabricants est la force F_n appliquée au ras de la calotte supérieure. La réduction de l'effort admissible qui en résulte peut atteindre 20 % et même davantage avec des isolateurs en matière moulée.

En chaque point d'un jeu de barres, à l'effort de flexion agissant dans le plan transversal, s'ajoute un effort longitudinal. En effet, les barres en fléchissant sous l'action des sollicitations électrodynamiques tirent sur les isolateurs dans le sens longitudinal pour raccourcir les portées. La variation de longueur résultante peut d'ailleurs se calculer en admettant que la courbe de flexion est une parabole.

Dans le cas général où le jeu de barres comporte plusieurs portées, les isolateurs de la portée centrale ne fléchissent pas, alors que les autres fléchissent d'autant plus qu'ils se rapprochent des extrémités. La force longitudinale est difficile à calculer ; il est préférable de prévoir des barres et des supports transversaux du type PSB de façon à éviter des efforts longitudinaux excessifs.

Aux efforts longitudinaux précédents peuvent s'ajouter des effets de dilatation s'il n'existe pas de joints et les isolateurs peuvent supporter des sollicitations dangereuses, surtout dans le cas de barres boulonnées sur iso.

En dehors des problèmes de dimensionnement des isolateurs et de fixation des barres, il faut s'attacher également à la fixation des isolateurs sur leurs ferrures pour éviter l'effet de choc dû aux efforts en cas de court-circuit, lorsqu'il y a du jeu dans les fixations.

EFFORTS VIBRATOIRES – RÉSONANCE

Les efforts mécaniques subis par les barres peuvent, lorsqu'il existe des conditions de résonance, être amplifiés considérablement par les vibrations.

Les efforts vibratoires affectent peu, en général, les conducteurs eux-mêmes, mais ils peuvent être très dangereux pour les supports et les isolateurs.

Les barres omnibus isolées dans un compound, dans l'huile, etc..., ont peu de chance d'entrer en vibration, mais il n'en est pas de même pour les barres dans l'air dont l'amortissement est insuffisant pour empêcher l'apparition de vibrations si les circonstances s'y prêtent.

Aucun isolateur, aucun support n'est absolument rigide. Lorsqu'ils sont soumis à une charge transversale, ils fléchissent plus ou moins. Ils présentent des fréquences de vibrations naturelles qui dépendent de leurs formes et de leurs dimensions. D'autre part, les conducteurs ont également une fréquence de vibrations naturelles qui leur est propre, et l'ensemble des barres et de leurs supports vibre à une fréquence qui est une résultante des fréquences élémentaires mais qui peut en être très différente.

spri **BINAME** bvba

Kloosterstraat, 184 - 1702 Groot-Bijgaarden - Belgium

Tel : +32 (02)466.25.08 - Fax : +32 (02)466.59.90 - E-mail : info@biname.be - URL : <http://www.biname.be>

En général, pour la fréquence composée, il se manifeste deux fréquences dominantes : la fréquence fondamentale et celle de son premier harmonique.

La fréquence de l'ensemble peut varier considérablement par exemple de 30 à 300 vibrations par seconde, et il y a toujours danger de résonance, au moins partielle, lorsque la fréquence des forces électromagnétiques de court-circuit diffère de moins de 30 % de la fréquence naturelle de l'ensemble de la structure.

Les cas d'application sont trop nombreux et trop différents pour qu'il soit possible de donner des règles de calcul.

Pratiquement, les barres et leurs supports présenteront toute sécurité vis-à-vis des accroissements de charge dus aux vibrations s'ils ont été calculés pour résister aux efforts transversaux (voir plus haut) dus à une onde dissymétrique de courant de court-circuit, c'est-à-dire pour un courant maximum $I = 1,8 \cdot 2 \cdot I_e$ (I_e = valeur efficace du courant de court-circuit).

PRECAUTIONS A PRENDRE CONTRE LES VIBRATIONS

Malgré tout, les vibrations sont indésirables et, étant donné l'imprécision qui existe dans la détermination de I , il est préférable de prendre des précautions pour limiter, sinon réduire, les vibrations, et en particulier éviter tout risque de résonance.

Il est à remarquer que, plus une structure est rigide, plus sa fréquence naturelle est élevée, et plus elle a de chance de présenter une dominante risquant de l'amener à un état de résonance avec la fréquence de forces électromagnétiques.

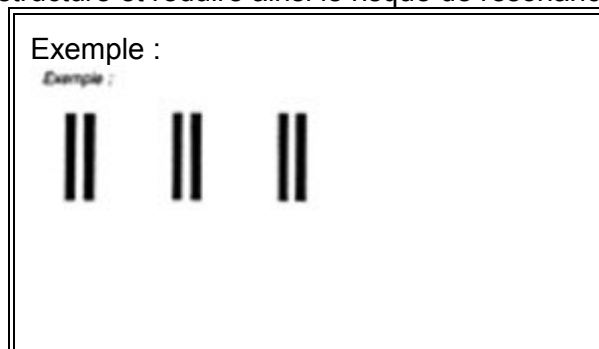
On est alors amené à modifier la rigidité de l'ensemble en agissant sur un ou plusieurs des facteurs suivants :

a) Souplesse des supports

On peut les rendre plus souples en les montant sur des bases semi-flexibles, ou bien on peut interposer des dispositifs à ressort entre les barres et les serre-barres. Dans le cas de barres très rigides (U, cornières, tubes, barres sur chant, etc.), des dispositifs de montage élastiques peuvent non seulement modifier la fréquence des vibrations naturelles et permettre d'éviter la résonance, mais encore réduire considérablement les efforts transmis aux supports.

b) Longueur de portée entre supports

En faisant varier la longueur de la portée entre supports voisins on peut faire varier la fréquence de vibrations naturelles d'une structure et réduire ainsi le risque de résonance.



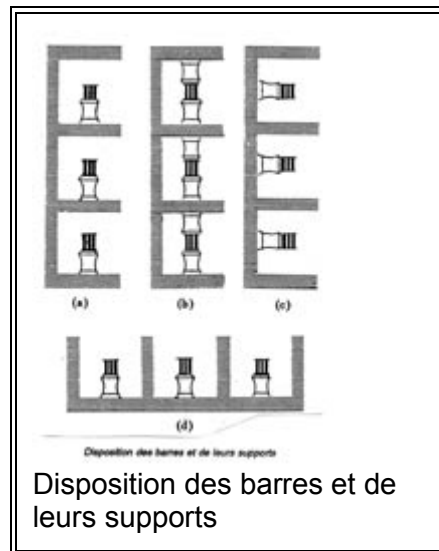
Des barres de 101 x 63 mm (normes britanniques) disposées comme indiqué sur la figure doivent être montées avec des portées comprises entre 0,76 m et 1,09 m si on veut éviter tout risque de résonance avec une alimentation de fréquence fondamentale égale à 50 Hz.

En pratique, on ne peut allonger indéfiniment les portées et il faut adopter un compromis entre l'augmentation des efforts transversaux due à l'augmentation de la portée et la réduction corrélative des efforts vibratoires.

spri **BINAME** bvba

Kloosterstraat, 184 - 1702 Groot-Bijgaarden - Belgium

Tel : +32 (02)466.25.08 - Fax : +32 (02)466.59.90 - E-mail : info@biname.be - URL : <http://www.biname.be>



c) Souplesse des conducteurs

Une trop grande rigidité des conducteurs peut être dangereuse pour l'ensemble de la structure. On peut avoir intérêt dans certains cas à utiliser des barres plus souples, mais une trop grande déformation par flexion transversale peut accroître dangereusement les efforts s'exerçant sur les supports. Là encore un compromis doit être adopté.

DISPOSITION DES SUPPORTS

Lorsque des courts-circuits considérables sont à craindre, il est préférable de disposer les isolateurs de sorte que les forces électromagnétiques s'exercent suivant leur axe, où ils présentent une bonne résistance à la compression, plutôt que suivant une direction perpendiculaire à cet axe. C'est ainsi que les dispositions (a) et (b) sont bonnes, en particulier cette dernière qui permet, en supportant les barres de deux côtés, de résister à des efforts mécaniques importants, tandis que les dispositions (c) et (d) sont plus douteuses.

6- ASSEMBLAGE DES BARRES OMNIBUS EN CUIVRE

D'une façon générale, les densités de courant à ne pas dépasser, selon la nature des surfaces en contact, sont :

- 0,5 à 0,6 A/mm² pour cuivre sur cuivre,
- 0,4 à 0,5 A/mm² pour laiton sur cuivre,
- 0,3 à 0,4 A/mm² pour laiton sur laiton.

La qualité d'un joint, c'est-à-dire sa résistance de contact, dépend pour une large part de la préparation des surfaces et de leur maintien en cours du service. Comme indiqué ci-après, les serrages par boulons sont économiques et peuvent être avantageusement remplacés par des assemblages par serre-barres en matériaux cuivreux lorsqu'il s'agit de courant alternatif. Les serrages par boulons s'effectuent généralement jusqu'à des pressions de l'ordre de 0,5 kg/mm² de section de contact, à l'aide de clés dynamométriques répartissant bien la pression sur les surfaces en contact.

spri **BINAME** bvba

Kloosterstraat, 184 - 1702 Groot-Bijgaarden - Belgium

Tel : +32 (02)466.25.08 - Fax : +32 (02)466.59.90 - E-mail : info@biname.be - URL : <http://www.biname.be>

DIVERS TYPES D'ASSEMBLAGES - AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Les joints entre barres omnibus se divisent en deux catégories principales :

1. - joints par contact : boulonnés, serrés ou rivés,
2. - joints soudés.

JOINTS PAR CONTACT

a) Joints boulonnés

Ils sont compacts et sûrs mais ils obligent à percer des trous dans les conducteurs d'où diminution de leur section effective et distorsion de courant. De plus, les pressions de serrage produites par les différents boulons sont en général inégales.

b) Joints serrés

Les barres sont serrées entre des serre-barres (voir fiche technique AC 0301 - sur demande). On évite ainsi de percer les conducteurs dont la section demeure entière. La masse de métal qui entoure le joint, bien que le rendant plus encombrant, lui assure un meilleur refroidissement. La pression de serrage est plus uniforme que dans les joints boulonnés.

c) Joints rivés

Ils sont efficaces s'ils sont bien faits mais ils ne peuvent être ni démontés ni resserrés en service. Ils sont souvent très difficiles à réaliser sur place.

JOINTS SOUDES

a) Joints soudés à l'étain

Ils sont déconseillés s'ils ne sont pas renforcés par boulonnage ou par serrage entre des serre-barres (voir notice AC0301 - sur demande).

b) Joints réalisés par soudure en bout

Ils sont efficaces et compacts, peu coûteux, mais ils ne peuvent être effectués que sur de petits conducteurs et sont, en général, difficiles à effectuer sur place.

c) Joints soudés par soudure autogène

Ils nécessitent des précautions (éviter les atmosphères réductrices à chaud), si les conducteurs sont en cuivre électrolytique. S'il s'agit de cuivre désoxydé (en général au phosphore), il faut tenir compte de ce que la résistivité de ce cuivre désoxydé est plus élevée que celle du cuivre électrolytique (d'environ 18 %).

D'une façon générale, on voit que les joints les plus avantageux, donc les plus utilisés, sont les joints par contact.

NATURE DU CONTACT ENTRE DEUX CONDUCTEURS

Aussi polie que soit la surface d'un métal, il est impossible de la rendre parfaitement lisse ; si on examinait au microscope, on constaterait qu'elle présente un grand nombre de petites aspérités. Lorsque deux surfaces de cette sorte sont appliquées l'une contre l'autre, sous une certaine pression, elles ne sont en communication que par des points de contact séparés, constitués par les aspérités. Lorsque la pression appliquée est suffisante, les aspérités s'écrasent partiellement et la surface de contact augmente.

Les surfaces les mieux polies présentent des aspérités d'une hauteur supérieure à 100 angstroms; sous l'effet de la pression, cette hauteur peut être réduite à 30 angstroms environ. Mais ceci ne peut encore être considéré comme un contact électrique parfait, lequel n'existerait que si les atomes des deux métaux en présence se trouvaient à une distance au plus égale à l'écartement atomique normal du métal, c'est-à-dire inférieure à 3,5 angstroms dans le cas du cuivre.

La surface réelle de contact d'un joint est donc toujours très inférieure à la surface des parties métalliques appliquées l'une contre l'autre , cette dernière étant appelée pour cette raison "surface de contact apparente".

En pratique, la surface réelle de contact se limite aux régions dans lesquelles la pression est appliquée d'une façon effective. Dans un joint par recouvrement, tel qu'un joint boulonné, ces régions sont constituées par les zones avoisinant les boulons.

spri **BINAME** bvba

Kloosterstraat, 184 - 1702 Groot-Bijgaarden - Belgium

Tel : +32 (02)466.25.08 - Fax : +32 (02)466.59.90 - E-mail : info@biname.be - URL : <http://www.biname.be>

RESISTANCE ELECTRIQUE D'UN JOINT

Pour que le joint soit efficace, sa résistance doit être aussi faible que possible. Elle dépend essentiellement de deux facteurs :

- 1) dans le joint le courant ne passe pas directement d'un conducteur à l'autre mais ses lignes de force subissent une distorsion qui augmente la résistance du joint d'une résistance R_d ;
- 2) il existe une résistance de contact à l'interface des métaux ou résistance R_i ;

La résistance totale du joint est : $R_t = R_d + R_i$ (1)

EFFET DE DISTORSION

La distorsion des lignes d'écoulement du courant dans un joint de recouvrement affecte la résistance de celui-ci. Il est vraisemblable qu'un effet identique se manifeste à chacune des aspérités qui constituent en réalité le joint, mais on ne considère ici que la résistance due à l'étalement des lignes d'écoulement du courant dans l'ensemble du joint.

Quand la largeur est la même pour les deux barres, cet effet de distorsion ne dépend que du rapport : longueur du recouvrement

Epaisseur de la barre

Même dans un joint parfaitement réalisé entre deux barres minces ayant une résistance de contact uniforme, la répartition du courant dans la surface de contact n'est pas uniforme.

En pratique, le courant se concentre aux extrémités du joint où la densité du courant de contact peut être plusieurs fois supérieure à ce qu'elle est au centre.

On voit donc qu'il est inutile d'essayer d'augmenter le rendement d'un joint en augmentant exagérément la longueur de son recouvrement.

La courbe ci-après donne les résultats des recherches effectuées par Melsom et Booth ; d'après ces auteurs, l'effet de distorsion est le même dans un joint en T que dans un joint droit.

Le rapport des résistances est le rapport de la résistance de distorsion R_d à la résistance R_b d'une longueur de conducteur égale à celle du recouvrement :

$$e = \frac{R_d}{R_b} = \frac{ab}{ql} R_d$$

expression dans laquelle :

a = largeur de la barre

b = épaisseur de la barre

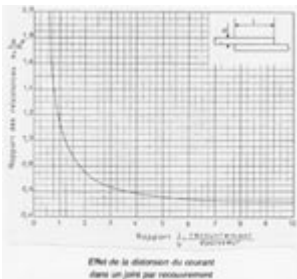
l = longueur du recouvrement

q = résistivité du métal.

D'après cette courbe on voit que e tombe rapidement jusqu'à une valeur l/b de l'ordre de 2 et qu'ensuite il ne diminue que très lentement et se stabilise presque complètement quand l/b dépasse 6.

Il n'y a donc pas lieu, du point de vue de la distorsion, de réaliser des recouvrements d'une longueur supérieure à six fois l'épaisseur de la barre.

Toutefois, d'autres considérations peuvent parfois intervenir pour faire augmenter la longueur de recouvrement.



spri **BINAME** bvba

Kloosterstraat, 184 - 1702 Groot-Bijgaarden - Belgium

Tel : +32 (02)466.25.08 - Fax : +32 (02)466.59.90 - E-mail : info@biname.be - URL : <http://www.biname.be>

Résistance de contact

Comme on l'a vu, la véritable liaison électrique entre deux faces du joint est constituée par un grand nombre de points de contact séparés, formés par des pointes ou saillies dont la surface augmente à mesure qu'augmente la pression qui les écrase.

Deux facteurs principaux sont à considérer lorsqu'on étudie la résistance de contact :

- a) l'état des surfaces
- b) la pression appliquée.

a) Etat des surfaces de contact.

Les surfaces du cuivre doivent être planes et propres ; il n'est pas nécessaire qu'elles soient polies ou usinées avec un soin exagéré, les meilleurs résultats étant obtenus simplement avec un joint serré et propre.

Les oxydes et les sulfures qui apparaissent à la surface du cuivre ont une résistance plus grande que le cuivre. Toutefois l'oxyde de cuivre présente un coefficient de résistance qui est négatif et, par suite, la conductivité d'un joint réalisé entre deux surfaces de cuivre oxydées tend à augmenter lorsque la température du joint s'élève.

Cependant, la pellicule d'oxyde qui se forme sur le cuivre aux températures normales n'a que peu d'effet sur la résistance du joint. Elle est très mince (0,01 à 0,02 μ) et, comme les surfaces présentent une certaine rugosité, elle est aisément détruite ou percée au serrage du joint.

· Préparation des surfaces de contact

Les surfaces doivent être aplanies en cas de besoin et soigneusement nettoyées, une surface meulée ou sablée étant préférable à une surface lisse.

Il peut être intéressant d'empêcher les surfaces de se réoxyder après nettoyage ; ce résultat peut être obtenu en les recouvrant de vaseline : lorsque les faces du joint sont comprimées l'une contre l'autre, l'excès de vaseline est expulsé, formant un bourrelet étanche qui assure la protection ultérieure du joint.

· Etamage

Bien que n'étant pas nécessaire normalement, l'étamage des surfaces de contact d'un joint boulonné ou serré peut, dans certaines conditions, être avantageux.

Si les surfaces sont très rugueuses, l'étamage peut améliorer le joint, mais son rôle principal est d'empêcher l'oxydation et la dégradation corrélative du joint.

L'étamage est donc recommandé pour des joints travaillant à des températures élevées ou à des fortes densités de courant ou encore dans des ambiances corrosives. Pour obtenir les meilleurs résultats, les surfaces doivent être fraîchement étamées avant le serrage final du joint.

b) Effet de la pression sur la résistance de contact.

La résistance électrique d'un joint dépend principalement de la "pression totale appliquée" : plus cette pression est élevée, plus la résistance du joint est faible. Une pression élevée présente par ailleurs d'autres avantages : elle tend à maintenir les surfaces en contact plus intime, à les protéger de toute altération et, par suite, à conserver l'efficacité du joint.

La surface réelle de contact étant inconnue, la pression réelle l'est également. Cependant il est commode, surtout pour les représentations graphiques des variations de la résistance en fonction de la pression, d'utiliser pour celle-ci la valeur obtenue en divisant la force exercée par la surface apparente de contact. C'est ce qu'ont fait Melsom et Booth pour la courbe ci-dessous.

Jusqu'aux environs de 170 kg/cm², on constate une diminution de la résistance avec la pression, après quoi, même en augmentant considérablement la pression, on ne gagne que très peu de conductivité.

Néanmoins, avec des surfaces convenablement préparées, la résistance de contact peut être inférieure aux valeurs données par la courbe, en particulier aux faibles pressions.

· Précautions à prendre.

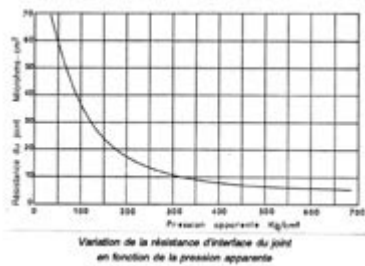
La pression de contact ne doit pas être trop élevée et ne doit pas dépasser la limite élastique de la barre, sinon l'échauffement pourrait produire un certain fluage du cuivre qui se traduirait au refroidissement par un contact moins intime entre les barres, en raison de la différence de dilatation

spri **BINAME** bvba

Kloosterstraat, 184 - 1702 Groot-Bijgaarden - Belgium

Tel : +32 (02)466.25.08 - Fax : +32 (02)466.59.90 - E-mail : info@biname.be - URL : <http://www.biname.be>

entre les boulons en acier et les barres en cuivre. Pour éviter cet inconvénient, il suffit d'utiliser des rondelles élastiques telles que les rondelles Grower ou Belleville.



EFFICACITE D'UN JOINT

L'efficacité d'un joint peut être mesurée par le rapport de la résistance R_i d'une partie du conducteur comprenant le joint, à la résistance R_b d'une longueur égale du conducteur sans joint, soit : R_j/R_b .

Nous avons vu, (formule 1), que la résistance du joint est :

$$R_j = R_d + R_i$$

R_d = résistance de distorsion = Qel/ab

R_i = résistance de contact ou d'interface = y/al

y = résistance du joint (voir courbe ci-avant)

$$R_j = R_d + R_i = \frac{Qel}{ab} + \frac{y}{al}$$

La résistance d'une longueur égale du conducteur droit serait :

$$R_b = \frac{Ql}{ab}$$

et par suite, le rapport R_j/R_b qui mesure l'efficacité du joint est:

$$\frac{R_j}{R_b} = e + \frac{yb}{l^2 Q}$$

qui est une fonction linéaire de y car, pour un joint donné, Q , b et l sont tous constants.

e peut être déterminé sur la courbe de la figure de la page précédente, pour un rapport donné de la longueur du recouvrement à l'épaisseur de la barre.

CONSERVATION DE L'EFFICACITE DES JOINTS

En service, les joints perdent progressivement leur efficacité par suite de la diminution du nombre de points de contact due à la corrosion et aux vibrations.

A la température ordinaire, la pellicule d'oxyde qui se forme sur les surfaces de contact des conducteurs en cuivre n'a pas d'importance, mais aux températures élevées (80 à 100°C) l'oxydation augmente rapidement et peut nuire à l'efficacité du joint.

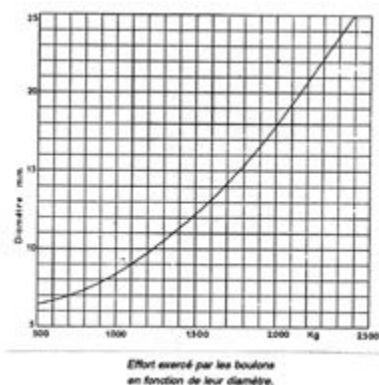
Un accroissement de la température de travail du joint est accompagné d'une diffusion plus rapide des gaz et d'une accélération de la corrosion ; la dilatation et la contraction du joint, dues aux variations de température, produisent de plus un effet de "respiration".

Il est donc important de maintenir en permanence une pression de contact suffisante et, lorsque les joints sont appelés à travailler dans des conditions particulièrement sévères, il est avantageux de les rendre étanches, soit en enduisant de vaseline ou d'un autre produit les surfaces de contact avant de serrer le joint, soit en appliquant extérieurement de la peinture ou un compound après montage.

spri **BINAME** bvba

Kloosterstraat, 184 - 1702 Groot-Bijgaarden - Belgium

Tel : +32 (02)466.25.08 - Fax : +32 (02)466.59.90 - E-mail : info@biname.be - URL : <http://www.biname.be>



NOMBRE ET DIMENSIONS DES BOULONS

Pour déterminer le nombre de boulons à utiliser, leurs dimensions et leur disposition, afin d'obtenir la pression nécessaire à la bonne efficacité du joint, il faut tenir compte de considérations tant mécaniques qu'électriques.

Du point de vue purement électrique, un recouvrement assez court est en général suffisant, mais des exigences mécaniques obligent souvent à faire appel à des recouvrements suffisamment longs pour permettre de loger le nombre de boulons ou de serre-barres nécessaires.

Un nombre élevé de boulons, un serre-barre et un recouvrement longs augmentent la masse du joint et permettent un meilleur refroidissement. Toutefois il ne faut pas exagérer dans ce sens car, si les boulons sont trop nombreux, certains deviennent inutiles ou même nuisibles.

Les boulons doivent assurer une pression efficace malgré les dilatations et contractions du conducteur dues aux modifications de température. La charge des boulons, des serre-barres et des conducteurs doit toujours être inférieure à la limite d'élasticité des métaux et dans ce but il peut être intéressant d'utiliser dans certains cas des rondelles élastiques. Il en est de même lorsque des vibrations sont à craindre.

Des essais ont montré que la plus grande partie de la pression totale s'exerce dans une zone limitée du conducteur (sous la tête du boulon ou sous l'écrou) ; afin d'obtenir une répartition plus uniforme de la pression, on utilise parfois des plaques d'appui ou des rondelles plates en acier ou en cuivre qui répartissent l'effort exercé.

Dans un joint à recouvrement, la plus grande partie du courant passe par les surfaces de contact se trouvant aux extrémités du joint. Il y a donc peu d'intérêt, sauf pour des raisons purement mécaniques, à utiliser plus de deux boulons dans le sens longitudinal.

La courbe ci-avant indique la force produite par des boulons de dimensions variées ; les valeurs indiquées ont été déduites des chiffres moyens obtenus au cours d'essais et confirmés par l'expérience. Cette courbe s'applique à des boulons serrés normalement ; on peut cependant noter qu'en général un petit boulon est proportionnellement plus serré qu'un boulon de gros diamètre.

Si les boulons sont en acier, la force par boulon indiquée sur la courbe de la figure, ne représente pas la force maximale susceptible d'être obtenue car, par suite de la différence des coefficients de dilatation existant entre l'acier et le cuivre, la pression véritable dépend de la température à laquelle le boulon est serré et des variations de température ultérieures. C'est une des raisons pour lesquelles il est préférable d'utiliser pour les joints des boulons en laiton ou en bronze. Dans le cas de boulons en acier il faut utiliser des rondelles-ressorts pour maintenir une pression uniforme.

spri **BINAME** bvba

Kloosterstraat, 184 - 1702 Groot-Bijgaarden - Belgium

Tel : +32 (02)466.25.08 - Fax : +32 (02)466.59.90 - E-mail : info@biname.be - URL : <http://www.biname.be>

MATIERES A UTILISER POUR LES BOULONS ET LES SERRE-BARRES

Les boulons en laiton, en bronze, ou autres alliages de cuivre, présentent de nombreux avantages par rapport aux boulons en acier ; en particulier ils ont une meilleure résistance à la corrosion, des conductivités électrique et thermique plus élevées et leur coefficient de dilatation, peu différent de celui du cuivre, leur permet de maintenir une pression uniforme constante sur les barres malgré les variations de température.

De plus, les boulons et serre-barres en alliages de cuivre ne sont pas soumis à des pertes par hystérésis lorsqu'ils subissent des champs magnétiques alternatifs et ils ne vibrent pas comme les éléments en matériaux magnétiques.

Les serre-barres peuvent être obtenus par usinage des plaques épaisses, par coulée ou par matriçage.

Pour les pièces coulées on recommande les bronzes Cu Sn8 Zn2 ou Cu Pb5 Zn5.

D'autre part, le laiton de matriçage est particulièrement avantageux lorsqu'il faut réaliser de grandes séries de pièces.

Jusqu'à un diamètre de 12 mm environ, les boulons peuvent être réalisés économiquement en refoulant à froid un fil de laiton contenant environ 64 % de cuivre et 36 % de zinc.

Les boulons de plus gros diamètre peuvent être usinés dans des barres en laiton de décolletage.

Enfin, à l'extérieur ou dans les ambiances corrosives, on peut utiliser pour les boulons et les serre-barres du laiton à forte teneur en cuivre (au moins 80 % de cuivre) ou des cupro-silicium avec une faible teneur en silicium et de petites additions telles que du manganèse, du fer ou de l'étain.

7- DILATATION THERMIQUE DES BARRES OMNIBUS

Les barres soumises à des variations de température sont sujettes à dilatations et contractions. Si on ne prend pas des précautions particulières pour tenir compte des variations de longueur dues aux variations de température, il y a risque d'endommagement, soit pour les barres elles-mêmes, soit pour leurs supports, soit encore pour les bornes des appareils auxquels elles sont raccordées.

Le coefficient de dilatation du cuivre est de l'ordre de 17×10^{-6} par °C. Si un élément en cuivre ne peut se dilater ou se contracter librement lorsque la température varie, il exerce une pression de l'ordre de 21 kg/cm^2 par °C de variation de la température.

Par exemple si l'échauffement maximal admis pour une barre est de 50°C au-dessus d'une ambiance de 20°C et que la barre soit montée à 20°C, il résultera de l'élévation de température, une pression de 1.050 kg/cm^2 dans le cas où la barre est complètement immobilisée. En pratique il n'en est rien car les supports se déplaceraient, la barre fléchirait ou glisserait.

La maçonnerie présente un coefficient de dilatation de l'ordre du quart aux deux tiers de celui du cuivre, les éléments de support en acier ont un coefficient de dilatation égal aux deux tiers de celui du cuivre et leurs dilatations propres doivent être soustraites de celles du cuivre, mais, étant donné que les températures que ces éléments atteignent sont en général inférieures à celles des barres, des précautions doivent être prises pour permettre à celles-ci de se dilater et de se contracter librement.

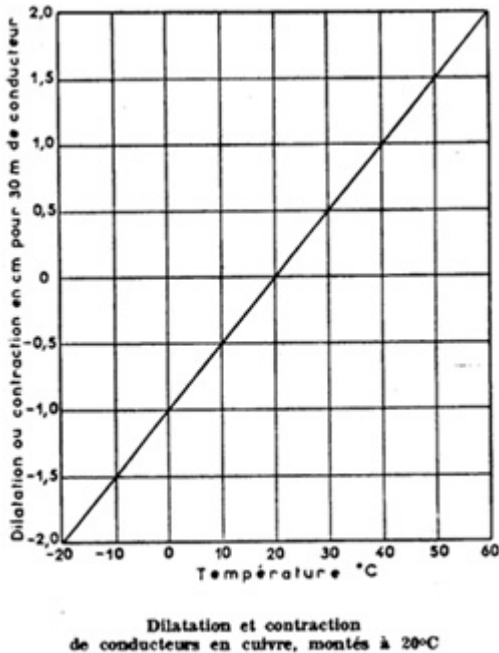
spri **BINAME** bvba

Kloosterstraat, 184 - 1702 Groot-Bijgaarden - Belgium

Tel : +32 (02)466.25.08 - Fax : +32 (02)466.59.90 - E-mail : info@biname.be - URL : <http://www.biname.be>

CALCUL DES VARIATIONS DE LONGUEUR

L'allongement ou le raccourcissement d'une barre par rapport à sa longueur à 20°C peut facilement être déterminé d'après la courbe suivante qui donne, en fonction de la température en °C, l'allongement ou le raccourcissement en cm d'une longueur de 30 m de cuivre par rapport à sa longueur à 20°C.



Exemple

Variation totale de longueur entre 0°C et 40°C d'une barre de 15 mètres de long montée à 20°C.

Pour 30 mètres de long, on relève sur la courbe une variation de longueur entre 40° et 0°C de 1,0 - (-1,0) = 2 cm.

Pour une longueur de 15 mètres la variation sera la moitié, soit 1 cm.

JOINTS DE DILATATION

Dans le cas de barres courtes, il n'y a pas lieu, en général, de prendre des précautions particulières, notamment si elles présentent des courbes leur permettant de se déformer pour s'accommoder de la pression due à la variation de longueur.

Pour soulager les supports intermédiaires, on utilise d'habitude des pinces qui, tout en permettant à la barre de se déplacer librement dans le sens longitudinal, la maintiennent fermement dans le sens transversal.

Lorsqu'il s'agit de barres longues, il est prudent de prévoir un jeu de barres en exécution coulissante et d'y poser des joints de dilatation ou des morceaux de barre souple J.I.F. sous la forme d'un certain nombre de bandes minces en cuivre de même longueur, capables de transporter au total le même courant que les barres. Ces bandes sont en général courbées, elles peuvent être rivées ou boulonnées sur les barres. Elles peuvent être montées entre deux barres multiples, par exemple, ou entre une barre et un appareil raccordé à la barre.

Les joints de dilatation peuvent également être constitués par des tresses ou des câbles souples toronnés, équipés de préférence avec des cosses, ou serrés entre des pinces de bronze ou de laiton et les conducteurs.



spri **BINAME** bvba

Kloosterstraat, 184 - 1702 Groot-Bijgaarden - Belgium

Tel : +32 (02)466.25.08 - Fax : +32 (02)466.59.90 - E-mail : info@biname.be - URL : <http://www.biname.be>