

son excitatrice ; les interrupteurs et volants de commande des rhéostats des circuits d'excitation; les boutons poussoir de commande d'enclenchement et de déclenchement des interrupteurs à huile et leurs lampes de position, enfin les commutateurs de commande des régulateurs des turbines ;

2° Un tableau destiné à la commande des départs souterrains 5.500 volts. Ce tableau est composé de 9 panneaux marbre montés sur charpente métallique.

A chaque départ correspond un panneau portant :

Les appareils de mesure de comptage et de protection ainsi que les boutons poussoir de commande des interrupteurs à huile et leurs lampes de position.

3° Un tableau destiné à la commande des services auxiliaires de la Centrale. Ce tableau comprend 5 panneaux qui contrôlent et commandent :

Deux groupes convertisseurs rotatifs ;

Une batterie d'accumulateurs, ferro-nickel de la Société des Accumulateurs fixes et de traction ;

Un pont roulant de 20 tonnes fourni par la Société Electro-Mécanique Appliquée ;

Les circuits d'éclairage et divers.

Enfin, en dehors des tableaux principaux ci-dessus, se trouve, auprès de chaque alternateur, un petit tableau auxiliaire portant un ampèremètre et un bouton poussoir permettant, en cas de besoin, de déclencher le disjoncteur de l'alternateur correspondant sans passer par le tableau général.

L'installation électrique est complétée par une salle de protection des départs souterrains. Cette protection est extrêmement simple puisqu'il suffit d'amortir les surtensions d'origine interne. Sur chaque départ est installé un limiteur à rouleaux prévu pour 5.000 volts avec résistances graphitiques en série limitant l'écoulement à la terre lors des amorçages.

#### MISE EN SERVICE DES INSTALLATIONS

Les études de la chute ont été faites en 1916 et 1917 et l'entreprise générale en a été confiée à la Société Générale d'Entreprises, Société spécialisée dans ce genre de travaux et qui a déjà aménagé un grand nombre de chutes importantes.

Les installations du chantier ont commencé, dès 1917, mais les travaux n'ont pu être poussés activement que depuis le milieu de l'année 1919. Ils ont été terminés en novembre 1921 dans le délai prévu, résultat qui n'a pu être obtenu, malgré les difficultés rencontrées, que grâce à une complète coordination des efforts des entrepreneurs et des constructeurs.

La mise en eau des ouvrages a commencé à la fin de novembre, et à l'heure où paraît cet article, le courant de l'usine Drac-Romanche doit apporter aux industries de la région grenobloise un appoint qui sera particulièrement bienvenu dans la période de crise que la sécheresse persistante a amenée dans la région nord des Alpes.

P. DUCREST,  
Ancien Elève de l'Ecole Polytechnique,  
Ingénieur-Conseil,  
Directeur de la Société Drac-Romanche.

## SUR LA VARIATION DES PLUIES ET DES CONDENSATIONS OCCULTES d'après l'altitude

*Continuant ses études sur le Renforcement des Forces hydrauliques par le Reboisement, M. Descombes avait constaté que les vallées abondamment boisées débitent, à surface égale, plus d'eau que les vallées dépourvues d'arbres. Il examine ici l'influence de l'altitude sur les pluies et sur les condensations occultes, présente une échelle provisoire des lames pluviales d'après l'altitude dans le massif du Pic du Midi, puis signale la différence pluviométrique des départements bordant le Rhône, dont la rive gauche, plus boisée que l'autre, reçoit des pluies plus abondantes et mieux réparties.*

Le développement de la houille blanche a donné, depuis quelques années, à la mesure des pluies, une importance considérable, qu'augmente maintenant la possibilité d'accroître par le reboisement le débit des eaux courantes (1), et le problème qui se pose actuellement est de déterminer les superficies à reboiser dans les bassins supérieurs pour augmenter leur débit dans une proportion donnée.

Les études et travaux du service des grandes forces hydrauliques, publiés par le Ministère de l'Agriculture, fournissent de précieux renseignements sur le débit d'un grand nombre de torrents, dont les eaux proviennent toutes de l'atmosphère, soit sous forme de pluies et neiges, mesurables par l'emploi du pluviomètre ou du nivomètre, soit sous celle de brouillards et rosées abondamment soutirés à l'air par les arbres (2), sans que les lois régissant ces condensations occultes soient encore suffisamment connues.

Les expériences de l'ingénieur français Conte-Grandchamps avaient montré, dès 1863 (3), que « le débit des sources est deux fois plus considérable dans les terrains boisés que dans les terrains déboisés », et il est fort à regretter qu'elles n'aient pas eu plus de retentissement. On a su, depuis, par le professeur Forel, que le lac Léman débite un volume supérieur à celui déversé par les pluies et neiges dans son bassin hydrologique ; par le Docteur Marloth, que la quantité de brouillard déposée au Cap de Bonne-Espérance sur un petit arbre artificiel de trente centimètres, atteint quinze fois le volume des pluies recueillies dans un pluviomètre voisin ; et ces résultats, obtenus à l'Etranger, ont paru stupéfiants.

On a pu cependant en constater d'analogues en France, car le réservoir de la Mouche, sur le plateau de Langres, présente un excédent d'écoulement semblable à celui du lac Léman, qui s'explique de même par le taux élevé du boisement dans son bassin de réception ; le bassin de la Pique boisé à 40 %, débite annuellement 1.732.000 mètres cubes d'eau par kilomètre carré, tandis que celui de l'Onne,

(1) Le Concours des arbres pour soutirer de l'eau à l'atmosphère. — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 8 décembre 1919.

(2) Influence du reboisement sur les condensations occultes. — *Bulletin de la Société Météorologique de France*, 2<sup>e</sup> fascicule, 1920.

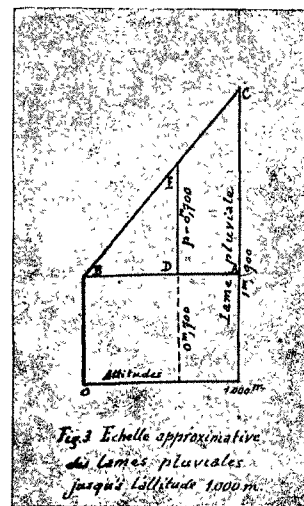
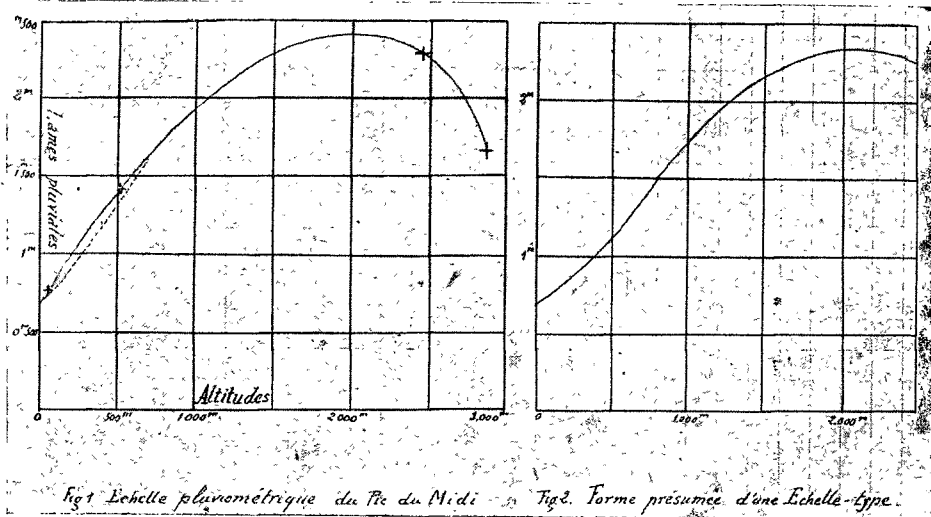
(3) Rapport de l'ingénieur en chef des Basses-Alpes sur les canaux d'irrigation, 10 janvier 1863.

contigu, orienté comme lui du Sud au Nord, adossé de même à la chaîne centrale des Pyrénées, mais dont le boisement n'atteint pas 5 %, en débite seulement 693.000 (1) : la similitude de ces deux bassins voisins de Luchon permettant de supposer qu'ils reçoivent la même quantité de pluies ou neiges par kilomètre carré, on a pu calculer, d'après ces données, que la quantité d'eau supplémentaire fournie au déversoir par les condensations occultes sur les parties boisées, atteint cinq fois celle provenant des pluies (2).

Ce dernier genre de détermination a l'avantage d'éliminer toutes les complications relatives à l'évaporation et à l'infiltration, sur lesquelles on est peu renseigné. Si l'apport au déversoir des condensations occultes sur les sols boisés était partout égal à cinq fois celui des pluies, il suffirait de boiser le tiers d'un bassin pour doubler le débit de ses eaux courantes, et c'est un résultat d'un extrême intérêt pour le développement de la houille blanche. Sachant que ces données peuvent varier d'un massif à l'autre, on ne saurait trop

ne sont pas encore assez nombreuses et assez localisées pour fixer cette loi générale, dont l'application permettrait ensuite d'obtenir, d'après un petit nombre de déterminations, l'échelle pluviométrique d'un massif avec une certaine approximation. Le massif du Pic du Midi de Bigorre fournit cependant quelques données qui permettent d'ébaucher une étude sommaire de cette question.

Des observations pluviométriques régulières sont faites, depuis 1895, à l'Observatoire du Pic du Midi (altitude 2.860 m.), ainsi qu'à Bagnères-de-Bigorre (altitude 547 m.), et il en a été fait pendant sept années consécutives, par le général de Nansouty, à la station Plantade (altit. 2.466 m.), près de l'Hôtellerie de Sencours, située sur le chemin de l'Observatoire. Elles donnent respectivement des lames pluviales moyennes de 1 m. 6813, 2 m. 300, 1 m. 4125 et la lame de 0 m. 741 à l'Observatoire de Bordeaux-Floirac (altitude 73 m.), fournit dans la même région un élément de comparaison voisin du niveau de la mer. Si l'on représente graphiquement ces données en portant les altitudes



multiplier cette catégorie d'expériences pour apprécier les circonstances locales qui sont susceptibles de les modifier. Mais il est difficile de trouver des bassins contigus présentant des conditions similaires avec des taux de boisement très différents et, si l'on veut comparer à ce point de vue deux bassins éloignés l'un de l'autre, il est indispensable de déterminer tout d'abord pour chacun d'eux les quantités annuelles de pluies et neiges mesurables par les instruments.

Les installations pluviométriques sont malheureusement bien rares en montagne, où les habitations fort clairsemées ne dépassent pas l'altitude de 1.300 mètres et où la circulation est difficile dans la zone supérieure, surtout l'hiver, de sorte qu'on n'est même pas fixé sur la loi d'après laquelle la lame pluviale augmente avec l'altitude. Quelques auteurs pensaient qu'elle variait proportionnellement aux différences d'altitude, jusqu'au moment où l'on s'aperçut qu'elle décroît au-dessus de 2.000 m. et présente, par suite, un maximum qui n'est pas encore fixé, qui peut, d'ailleurs, différer suivant les régions.

Les observations pluviométriques aux grandes altitudes,

sur un axe horizontal et les épaisseurs des lames pluviales sur un axe vertical, on obtient quatre points, qui permettent de tracer une parabole du second degré, la plus simple des courbes géométriques susceptibles de les relier (fig. 1). Ce tracé place le maximum de pluviosité vers 1.850 mètres avec une lame pluviale d'environ 2 m. 320.

Si cette courbe, convexe sur toute sa longueur, peut figurer jusqu'à plus ample informé l'échelle pluviométrique au Pic du Midi, elle ne semble pourtant pas avoir la forme d'une échelle-type, indépendante des conditions locales, qui correspondrait à un plan incliné depuis le niveau de la mer jusqu'au sommet le plus élevé. Il est à présumer, en effet, que cette échelle-type doit présenter une inflexion (fig. 2), car l'influence des circonstances locales est souvent supérieure à celle de l'altitude, ainsi qu'on en a des exemples dans la Gironde où la carte pluviométrique (1) montre une lame pluviale de 1 m. 134 à Labouheyre (altitude 73 m.), supérieure à celles de 0 m. 714 pour Saint-Emilion (altitude 107 m.) et de 0 m. 802 pour la Sauve (altitude 106 m.). Bagnères-de-Bigorre, étant à la base de l'écran pyrénéen dont Marchand avait signalé l'action (2), et dans la vallée

(1) La Forêt régulatrice et génératrice des eaux. — Revue des Eaux et Forêts, mai 1921.

(2) Forces hydrauliques et reboisement. — Bois et Résineux, 16 janvier 1921.

(1) La Défense forestière et pastorale, p. 220, Paris, 1911. — Gautier-Villars, éditeurs.

(2) MARCHAND. — L'écran pyrénéen, 1<sup>er</sup> Congrès du Sud-Ouest navigable. — Bordeaux, 1902.

de Campan dont la pente et le rétrécissement vers l'amont provoquent la chute des pluies, doit recevoir une quantité d'eau bien plus considérable que celle correspondant à son altitude <sup>(1)</sup>, et il suffit que l'influence de ces conditions locales soit d'un septième, que leur absence réduise ainsi la tranche pluviale à 1 m. 211 au lieu de 1 m. 412, pour modifier la courbe de manière à lui donner l'inflexion expliquée par les considérations précédentes (fig. 1, partie pointillée).

Il est maintenant facile de déterminer les échelles pluviométriques de divers massifs, puisqu'on dispose depuis quelques années d'instruments enregistreurs ou totaliseurs pour la mesure des pluies et des neiges. Leur emploi fera connaître les quantités d'eau mesurable déversées dans des vallées différemment boisées, et permettra de les comparer entre elles en tenant compte du débit des eaux courantes, de manière à discerner l'action spéciale des condensations occultes d'après le taux de boisement, le développement des lisières, la configuration des terrains et leur altitude, qui peut agir aussi sur l'abondance des brouillards, comme sur celle des rosées par la prolongation du régime nocturne pendant plusieurs heures après le lever et avant le coucher du soleil. On trouvera, sans doute, au cours de ces études un certain nombre de vallées où le débit au déversoir dépasse la quantité d'eau fournie par les pluies et neiges, qu'il sera bon de faire connaître au plus vite pour vulgariser la notion peu répandue du renforcement des forces hydrauliques par le reboisement et convaincre les plus incrédules.

\*\*

Abstraction faite des conditions topographiques et climatiques, différentes pour toutes les stations, l'altitude n'est pas la seule cause générale du renforcement de la pluviosité ; l'état boisé du sol en est une autre dont l'importance vient d'être mise en relief par des publications récentes.

« La forêt serait-elle capable de modifier le climat des Cévennes et de rendre les chutes de pluie plus fréquentes et moins violentes » ? se demande M. Maurice Pardé dans son étude sur les phénomènes torrentiels des Cévennes <sup>(2)</sup>.

C'est une voie féconde, dans laquelle M. le Conservateur Chaudey a fait un grand pas en examinant la manière dont le reboisement peut modifier utilement le régime des pluies <sup>(3)</sup>. Comparant au point de vue météorologique le plateau *Lente et Vercors*, dans le département de la *Drôme*, boisé à 38 %, avec celui de l'*Ardèche* dont le taux de boisement est seulement de 17 %, il montre, dans une étude fortement documentée, que le reboisement serait le procédé le plus sûr, le plus durable et le moins coûteux, pour atténuer, sinon pour faire cesser totalement les phénomènes torrentiels des Cévennes.

Les relevés météorologiques consignés par M. Chaudey donnent les moyennes des hauteurs d'eau et des jours de pluie pour une période de vingt-neuf années dans l'*Ardèche*, de dix années à Lente, à Valence et dans vingt-trois stations dont plusieurs ont une altitude dépassant mille mè-

tres. L'interprétation de leurs chiffres, pour discerner l'influence des circonstances locales d'après le régime des vents et les conditions topographiques, serait grandement facilitée si l'on connaissait la loi générale suivant laquelle la lame pluviale varie d'après l'altitude. Mais, en attendant que cette loi soit connue, il est possible de simplifier cette interprétation en se servant de l'échelle pluviométrique adoptée provisoirement pour le massif du Pic du Midi (fig. 1).

L'examen de cette échelle montre que, jusqu'à l'altitude de 1.000 m., la courbe pluviométrique diffère peu d'une ligne droite déterminée par les deux points 0 m. 700 de pluie au niveau de la mer, et 1 m. 900 à l'altitude de 1.000 mètres. La similitude des triangles ABC et ADE (fig. 3), d'après laquelle  $\frac{P-0,700}{h} = \frac{1,20}{1.000} = 0 \text{ m. } 0012$  permet ainsi d'évaluer avec une approximation suffisante, l'excédent pluvial par mètre d'altitude à 1<sup>m/m,2</sup>.

Il suffit alors d'un calcul très simple pour mesurer l'influence des circonstances locales. Si une station d'altitude 354 m. par exemple, reçoit une lame pluviale de 0 m. 736, son excédent pluvial est 0 m. 736 — 0 m. 700 = 0 m. 036, et la comparaison du rapport  $\frac{36^{m/m}}{354} = 0 \text{ m. } 10$  avec le chiffre 1<sup>m/m,2</sup>, qui représente l'excédent normal par mètre, fait ressortir une différence en moins de 1<sup>m/m,10</sup>, correspondant à un déficit considérable de pluie qui, dans ce cas, annule presque entièrement l'effet de l'altitude.

Ces rapports  $\frac{p-k}{h}$  peuvent, d'ailleurs, être comparés à toute échelle pluviométrique dont on ferait choix, et les excédents pluviaux par mètre d'altitude, calculés par cette méthode donnent, pour toutes les stations sur lesquelles le mémoire de M. Chaudey fournit des données précises, les chiffres suivants :

## Stations à l'est du Rhône

	$p-700$	Altitudes	$\frac{p-k}{b}$
Lente .....	938 <sup>m/m</sup>	1.080	= 0,87
Valence.....	135 :	125	= 1,08
Nice.....	023 :	18	= 1,12

Moyenne : 1<sup>m/m,07</sup>.

## Stations à l'Ouest du Rhône

Lamastre .....	339 :	390	= 0,86
Saint-Félicien .....	134 :	526	= 0,25
Tournon .....	097 :	125	= 0,77
Villefrance .....	079 :	410	= 0,19
Annonay .....	036 :	354	= 0,10
Colombier .....	087 :	800	= 0,11
Saint-Agrève .....	316 :	1.080	= 0,31
Le Cheylard.....	436 :	432	= 1,00
Saint-Pierreville .....	615 :	600	= 1,02
Privas .....	373 :	322	= 1,14
Mayres .....	730 :	587	= 1,24
Montpezat .....	485 :	572	= 0,84
Antraigues .....	825 :	590	= 1,39
Aubenas .....	412 :	310	= 1,33
Valgorge .....	990 :	565	= 1,57
Joyeuse .....	413 :	169	= 2,40
Villefort .....	1.318 :	1.210	= 1,10
Prévenchène .....	682 :	963	= 0,71
Labastide .....	605 :	1.027	= 0,59
St-Laurent-les-Bains .....	725 :	818	= 0,88

Moyenne : 0<sup>m/m,83</sup>.

<sup>(1)</sup> La lame pluviale est seulement de 0 m. 928, à Felletin (altitude 587 m.) dans la Creuse et de 1 m. 112 à Montpezat (572 m.), dans l'Ardèche.

<sup>(2)</sup> Maurice PARDÉ. — Les phénomènes torrentiels sur le rebord oriental du Massif Central (Recueil des travaux de géographie alpine, Grenoble 1919, fascicule I, p. 123).

<sup>(3)</sup> A. CHAUDEY. — Météorologie et Reboisement (*Revue des Eaux et Forêts*, août 1921).

On voit ainsi que les stations à l'est du Rhône, où la moyenne d'excédent pluvial par mètre d'altitude, atteint  $1^m/m,07$  au lieu de  $0^m/m,83$  à l'ouest, reçoivent beaucoup plus de pluie que le plateau de l'Ardèche, brûlé par le soleil faute de bois. Le nombre des jours de pluie, atteignant 135 à Lente, n'est en moyenne que de 81 dans l'Ardèche et s'y abaisse à 65 et 66 pour quelques stations. La répartition des pluies entre les saisons est également plus favorable à l'est du Rhône, où Lente reçoit plus d'eau pendant la période de végétation (1<sup>er</sup> avril au 30 septembre), que le reste de l'année, tandis que l'inverse a lieu dans l'Ardèche. Le rétablissement du revêtement végétal donne ainsi le moyen de sortir du cercle vicieux signalé par M. Salvador : « D'une part, l'eau indispensable au plein développement de la forêt, est devenue trop rare pour permettre ce développement ; d'autre part, cette rareté tient à la disparition de la forêt qui, seule, est capable de redonner au climat local l'humidité qui lui fait défaut » (1). Dans la montagne dénudée comme dans les régions désertiques, le reboisement est difficile parce que l'air y est trop sec, et l'air est trop sec parce que l'arbre y fait défaut. Mais l'homme n'est pas enfermé pour cela dans un cercle vicieux, puisque l'embroussaillage et l'enherbement lui donnent le moyen de fournir aux jeunes plants, non seulement un abri, mais des conditions hygrométriques favorables à leur croissance (2).

L'Association Centrale pour l'Aménagement des Montagnes sera reconnaissante, aux groupements et aux particuliers qui se livreraient à ce genre d'études, de lui en communiquer les résultats à son siège social (Bordeaux, 142, rue de Pessac) et de seconder ainsi ses recherches entreprises d'accord avec l'administration forestière pour fixer les lois des condensations occultes, dont l'abondance est maintenant un fait acquis. Mais ce serait une imprévoyance impardonnable d'ajourner le gros effort nécessaire au reboisement des montagnes, sous prétexte d'attendre l'achèvement de ces laborieuses études, car on sait aujourd'hui (3) que le renforcement des forces hydrauliques est pour la France une question de vie ou de mort. Aussi les initiatives dévouées à l'Aménagement du Rhône se préoccupent-elles d'y faire contribuer le reboisement : « Pourquoi donc a-t-il perdu cette activité régulière ? dit M. Herriot. J'imagine qu'il faut attribuer cette décadence au déboisement qui a de même appauvri la Tunisie. S'il en était ainsi, notre programme d'aménagement du Rhône devrait s'accroître d'un programme de reboisement » (4).

Paul DESCOMBES,

*Ingénieur en chef honoraire des Manufactures de l'Etat.*



(1) G. SALVADOR. — La Forêt de la Saute-Baume (*Revue des Eaux et Forêts*, juin 1921).

(2) Les Condensations occultes et l'atténuation de la sécheresse aux grandes altitudes (Bois et résineux, 18 mai 1919).

(3) Un Méfait du déboisement (*Revue des Deux-Mondes* du 15 septembre).

(4) E. HERRIOT. — L'Avenir du Rhône (*Les Annales politiques et littéraires*, 30 octobre 1921).

## MÉTHODE GÉNÉRALE DE CALCUL DES ENVELOPPES CYLINDRIQUES A SECTION NON CIRCULAIRE

*Cette question a déjà été étudiée dans un précédent numéro de la Houille Blanche, mais seulement dans le cas particulier d'une enveloppe de section elliptique et d'épaisseur uniforme.*

*Le présent article expose une méthode de calcul beaucoup plus générale puisqu'elle s'applique à des enveloppes dont la section peut être quelconque et dont l'épaisseur peut être variable en tous les points de la section.*

*Cette méthode est précieuse pour l'étude des corps de robinets vannes, elle est du reste utilisée couramment dans une importante maison de construction hydraulique.*

*Elle permet de déterminer la fatigue du métal en tous les points d'un robinet vanne donné ; on arrive ainsi, en renforçant les parties qui fatiguent beaucoup et en réduisant les autres, à obtenir une utilisation rationnelle du métal et à réaliser le minimum de poids pour une fatigue maximum déterminée.*

### GÉNÉRALITÉS

Lorsqu'une enveloppe cylindrique, de section non circulaire, se trouve soumise à une pression intérieure, elle tend :

1° A éclater ;

2° A se déformer pour se rapprocher de la section circulaire.

Le métal est donc soumis à des efforts d'extension et à des efforts de flexion (il y a aussi des efforts de cisaillement, comme nous le verrons plus loin).

Il est difficile d'évaluer, a priori, ces efforts de flexion qui peuvent être considérables ; la méthode que nous allons exposer permet de les calculer avec précision.

Cette méthode n'est, du reste, pas nouvelle ; elle est, croyons-nous, appliquée dans le calcul des coques de sous-marins.

On remarquera, en passant, que le calcul d'enveloppes soumises, comme ces coques, à des pressions extérieures, présente une difficulté supplémentaire provenant du fait que la déformation de l'enveloppe l'éloigne de la forme circulaire ce qui augmente la fatigue du métal ; il y a ainsi à craindre une instabilité de l'enveloppe analogue au flambage des pièces longues comprimées.

Dans les enveloppes soumises à une pression intérieure, les seules que nous ayons en vue dans cet article, ce phénomène n'est pas à craindre, car la déformation de l'enveloppe la rapproche de la forme circulaire et diminue la fatigue.

Nous bornerons notre étude au cas où la section de l'enveloppe présente deux axes de symétrie, c'est le cas le plus fréquent dans la pratique.

La méthode que nous allons exposer peut être généralisée pour l'étude des enveloppes de section non symé-