

formateurs, au nombre de 15, qui élèvent le voltage de 2 300 à 45 000 volts.

L'eau pour la réfrigération des transformateurs est amenée d'une source voisine par une conduite de 1 736 mètres de longueur et pénètre dans le tuyau de distribution à une pression de 1,75 atmosphère.

L'énergie est amenée à la station centrale par deux circuits de 31 kilomètres de long, composés chacun de trois câbles en cuivre de 9 millimètres de diamètre, soutenus par des pylones métalliques.

Dans la centrale se trouvent des abaisseurs de tension donnant du courant continu à 230 volts pour l'éclairage et du courant à 6 600 volts pour la force motrice. Dans les sous-stations, ce voltage est abaissé à 440 qui est celui pour lequel les moteurs électriques ont été construits.

MM. GUINLE et C^o ont en outre acquis les chutes très importantes de l'Itapanhau qui peuvent développer 60 000 chevaux, mais qui ne sont pas encore aménagées.

Ces quelques exemples donnent une idée de l'extrême importance des chutes récemment aménagées au Brésil. Toute l'énergie disponible a été jusqu'ici utilisée pour l'éclairage des villes et la production de la force motrice. Les exigences de l'industrie faisaient une loi aux électriciens de satisfaire d'abord les besoins qui étaient les plus impérieux. Mais il reste aux installations hydroélectriques un débouché peut-être aussi important que le premier : nous voulons parler de l'électrometallurgie.

Un simple coup d'œil sur la carte permet de se rendre compte que toutes les chutes dont nous venons de parler se trouvent dans la région montagneuse qui avoisine immédiatement la côte. On peut donc avoir de l'énergie à bas prix dans les ports, aux points où en raison de l'économie de transport les matières premières arrivent à des conditions avantageuses.

Cette situation géographique privilégiée permet donc d'envisager un développement prochain et intéressant de l'électrometallurgie au Brésil. Et là comme dans tous les pays où le charbon est cher, l'utilisation la plus complète des forces hydrauliques est liée à la progression simultanée de ces deux grandes applications de l'électricité.

II.-L. BERNARDIN,
Ingénieur des Arts et Manufactures.

LA STÉRILISATION ÉLECTRIQUE DES EAUX POTABLES

Les eaux destinées à l'alimentation, qu'elles viennent de sources jaillissantes, d'eaux souterraines, de lacs ou de rivières, sont presque toujours souillées par un nombre considérable de bactéries. Quelques bactériologistes regardent encore comme pures des eaux contenant jusqu'à 1 000 germes par centimètre cube : nous ne saurions en aucun cas être de cet avis, car sur un nombre de plusieurs centaines de bactéries, il y a bien des chances pour qu'on rencontre plusieurs espèces pathogènes.

Il y a donc presque toujours lieu d'épurer l'eau de boisson ; mais quel procédé employer ?

L'ébullition, déjà désagréable et dispendieuse dans les ménages, est impraticable quand il s'agit d'une agglomération. Les produits chimiques antiseptiques peuvent donner mauvais goût à l'eau et sont d'une efficacité douteuse. La

filtration, même avec les systèmes modernes les plus perfectionnés, laisse encore un grand nombre de germes dans les eaux. Restent les procédés électrochimiques, stérilisation par les rayons ultra-violet et surtout stérilisation par l'ozone, qui, à une efficacité absolue, -- puisqu'elle donne des eaux contenant presque toujours zéro germes par centimètre cube, -- joint l'avantage d'un prix de revient excessivement minime.

I. — STÉRILISATION DES EAUX PAR L'OZONE

La stérilisation des eaux par l'ozone est appliquée dans la plupart des grandes villes de l'Europe et c'est à ce procédé qu'on a eu recours à Paris pour épurer les eaux de la Marne à l'usine de Saint-Maur.

Tout le monde connaît les propriétés éminemment oxydantes et bactéricides de l'ozone, et tout le monde sait aussi que ce corps, de symbole chimique O³, n'est que de l'oxygène condensé qui prend naissance lorsqu'une décharge électrique traverse l'air. Son odeur est caractéristique, c'est la fameuse « odeur de soufre », comme on disait autrefois, perceptible après la chute de la foudre. L'ozone est de plus très instable et repasse à l'état d'oxygène ordinaire avec la plus grande facilité, une fois qu'il a réagi, sans laisser ni goût, ni odeur, ce qui est fort précieux quand on l'emploie à la stérilisation des eaux.

Etant données les propriétés de l'ozone, l'idée vint assez vite de le faire servir à l'assainissement des eaux et la proposition en fut faite tout d'abord par Siemens et Halske en 1891. Les premiers essais tentés en 1895 avec des ozoniseurs du genre Berthelot ne donnèrent pas des résultats suffisants et ce n'est qu'en 1899 que Marnier et Abraham résolurent pratiquement le problème en utilisant des courants de fortes tensions. Ces savants reconnurent que pour avoir une stérilisation certaine il est nécessaire qu'un contact très intime ait lieu entre l'eau et l'air ozonisé et que ce dernier contienne au moins 6 milligr. d'ozone par litre. Dès l'année 1891, Otto étudiait le mode d'action de l'ozone sur l'eau pour arriver quelques années plus tard à la construction d'appareils industriels pleinement satisfaisants.

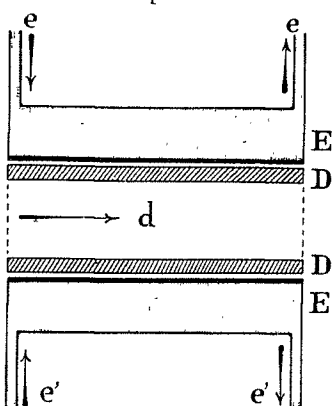


FIG. 1. — *EE'* électrodes à circulation d'eau par les tubulaires *ee, e'e'*; *DD*, glaces de verre; *d*, aspiration de l'air.

La stérilisation électrochimique des eaux est surtout appliquée aujourd'hui par la « Compagnie générale de l'ozone », dont les procédés perfectionnés résultent des travaux d'Otto, Siemens, De Frize, Marnier et Abraham.

Considérant une usine type de stérilisation de l'eau par l'ozone, nous examinerons successivement : le circuit d'électricité, le circuit d'air ozonisé et le circuit d'eau.

CIRCUIT D'ÉLECTRICITÉ. — L'électricité, produite dans l'usine même ou achetée au dehors, est portée par un transformateur à une tension très élevée (15 000 à 50 000 volts, suivant les systèmes). C'est ce courant à haut voltage et d'une fréquence d'environ 500 périodes qui est envoyé à l'ozoniseur.

L'ozoniseur (type Otto) se compose, en principe, de deux électrodes *E* et *E'*, recouvertes d'épaisses glaces de verre formant diélectrique, *D* et *D'*. Les électrodes sont creuses et refroidies par un courant d'eau, car le rendement en ozone

est d'autant meilleur que la température est plus basse. Dix ozoniseurs enfermés dans une cage de verre forment une batterie ; le nombre de batteries dépend de la quantité d'ozone à produire et par conséquent du volume d'eau à traiter. Le rendement d'une batterie est d'environ 50 gr. à 60 gr. d'ozone pur par heure. Cette quantité d'ozone se trouve ordinairement répartie dans 10 mètres cubes d'air, ce qui correspond à une concentration de 5 à 6 milligrammes par litre ; et, dans le cas d'une eau ordinaire moyennement polluée, on peut avec 10 mètres cubes de cet air ozonisé stériliser parfaitement 100 mètres cubes d'eau.

CIRCUIT D'AIR OZONISÉ. — L'air, préalablement desséché sur une colonne de chlorure de calcium, afin d'éviter la formation de composés oxygénés de l'azote et la décomposition prématurée de l'ozone, est aspiré à travers l'ozoniseur, entre les glaces D D' par l'*émulseur de self-contact* qui joue le rôle d'une trompe. L'effluve jaillit entre les deux glaces D D' sous forme d'une belle lucur violette. Il n'y a jamais d'arc ni d'étincelles, condition nécessaire pour éviter la formation des composés oxygénés de l'azote. L'air ozonisé, sortant de l'appareil, va réagir sur l'eau dans la colonne de self-contact, à travers l'*émulseur Otto*.

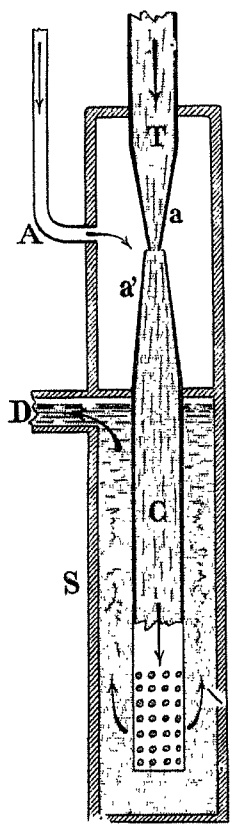


FIG. 2.

Emulseur Otto.

CIRCUIT D'EAU. — L'eau à stériliser, préalablement filtrée si elle est trouble, est amenée à l'*émulseur Otto* sous une pression suffisante pour produire, comme à travers une trompe, un appel de l'air ozonisé. L'eau entre par le tube T, passe par les ajutages tronconiques *a* et *a'* en produisant une aspiration de l'air ozonisé qui arrive par le tube A, et sort, émulsionné avec cet air ozonisé par la partie inférieure du tube C. L'eau et l'air ozonisé remontent alors dans la colonne S et passent par l'ouverture D pour se rendre dans le réservoir désaturateur d'où s'échappe l'excès d'ozone qui n'aurait pas réagi.

Deux écueils devaient être évités l'application de ce procédé : le premier, c'est que l'ozone étant insoluble dans l'eau ne puisse avoir avec celle-ci un contact assez intime pour exercer complètement son pouvoir bactéricide ; le second, que l'eau garde un mauvais goût d'ozone.

Comme nous venons de le voir, l'air ozonisé appelé par l'*émulseur* faisant office de trompe, est émulsionné avec l'eau arrivant sous pression :

le contact de l'ozone et de l'eau est donc extrêmement intime. Quant au résidu d'ozone, il a complètement disparu une demi-heure après que l'eau est entrée dans le désaturateur. Bien plus, l'ozone qui est alors devenu de l'oxygène ordinaire aère l'eau, la rend plus légère et plus agréable.

Une dernière objection se présente : l'ozone agit-il sur la composition chimique de l'eau ?

L'ozone, outre son action bactéricide, oxyde et détruit la majorité des matières organiques contenues dans l'eau. Il oxyde les nitrites, les sels ammoniacaux, les toxines, les matières albuminoïdes, etc., mais n'a aucune action sur les sels stables de l'eau, sur les carbonates, les chlorures, les sulfates, etc.

Voyons maintenant les résultats obtenus au point de vue bactérien, d'après les procès-verbaux rédigés par les commissions de médecins, chimistes et bactériologistes dans les différentes villes où fonctionne la stérilisation de l'eau par l'ozone.

A Nice, à l'usine de Rimiez, avec une concentration de 3 milligrammes d'ozone par litre d'air et une proportion de 25 mètres cubes d'air pour 100 mètres cubes d'eau, on a traité une eau contenant à l'arrivée 2 600 germes par centimètre cube et 100 coli-bacilles par litre. Cette eau, après filtration, contenait encore 320 germes par centimètre cube et 25 coli-bacilles par litre. Après ozonisation, on trouvait zéro germes en faisant l'analyse sur 6 cc. et zéro coli-bacille par litre.

A l'usine Bon-Voyage, toujours à Nice, les résultats des essais ont été les suivants :

Concentration de l'ozone : 6 milligr. par litre ; poids d'ozone par mètre cube d'eau : 1 gr. 32 ; eau brute : 2 200 germes par cmc. ; eau stérilisée : 1 à 2 germes par cmc.

Les essais effectués à Paris à l'usine de Saint-Maur sur l'eau de la Marne ont donné :

Eau préalablement filtrée : 100 germes par cc.

Eau stérilisée : 1 à 5 germes par cc. avec 0 gr. 6 d'ozone par mètre cube d'eau.

A Chartres, on a obtenu avec l'eau de l'Eure :

Concentration d'ozone par litre d'air : 6 milligrammes.

Poids d'ozone par mètre cube d'eau : 2 gr. 3.

Eau brute : 16 000 germes par centimètre cube.

Eau filtrée : 3 000 germes par centimètre cube.

Eau stérilisée : 1 germe sur 3 centimètres cubes.

Saint-Brieuc, Dinard, Saint-Pétersbourg, Madrid, etc., qui stérilisent leurs eaux par l'ozone, ont obtenu des résultats analogues et nous pourrions multiplier beaucoup ces exemples ; mais ceux-ci suffisent à montrer quels résultats on peut attendre de l'ozone.

Ce procédé de stérilisation présente une telle certitude que, dans les cas les plus défavorables, la Compagnie Générale de l'ozone certifie sur ses contrats qu'au sortir des appareils, l'eau ne contiendra jamais plus de 10 germes par centimètre cube.

A quel prix revient la stérilisation par l'ozone ? Pour en donner une idée, nous prendrons comme exemple les deux usines de Nice, celle de Bon-Voyage et celle de Rimiez. Les frais d'installation variant beaucoup suivant les conditions locales, nous ne parlerons que des dépenses d'exploitation :

a) *Usine de Bon-Voyage.* — Le courant est fourni à raison de 0 fr. 03 le kilowatt par la Société d'Énergie électrique du littoral méditerranéen. D'après le procès-verbal de la dernière expertise (19 février 1908) la dépense pour l'ozonation de 100 mètres cubes d'eau est de 1,26 kilowatts, ce qui donne, pour un mètre cube :

$$\frac{1,26 \times 0,03}{100} = 0 \text{ f. } 000378$$

Les frais de personnel et d'entretien sont fixés à forfait à 15 000 francs par an, et comme l'usine stérilise 22 500 mètres cubes par jour, cela fait, par mètre cube :

$$\frac{15.000}{22.500 \times 365} = 0 \text{ f. } 0018$$

soit, en tout, pour l'ozonation : 0,000378 + 0,0018 = 0,002178.

Le pompage nécessité par la disposition des lieux demande

51,028 kilowatts-heures. La dépense de pompage est donc, par mètre cube :

$$\frac{51,028 \times ,003 \times 24}{22,500} = 0 \text{ f. } 00163$$

La dépense totale par mètre cube est donc :

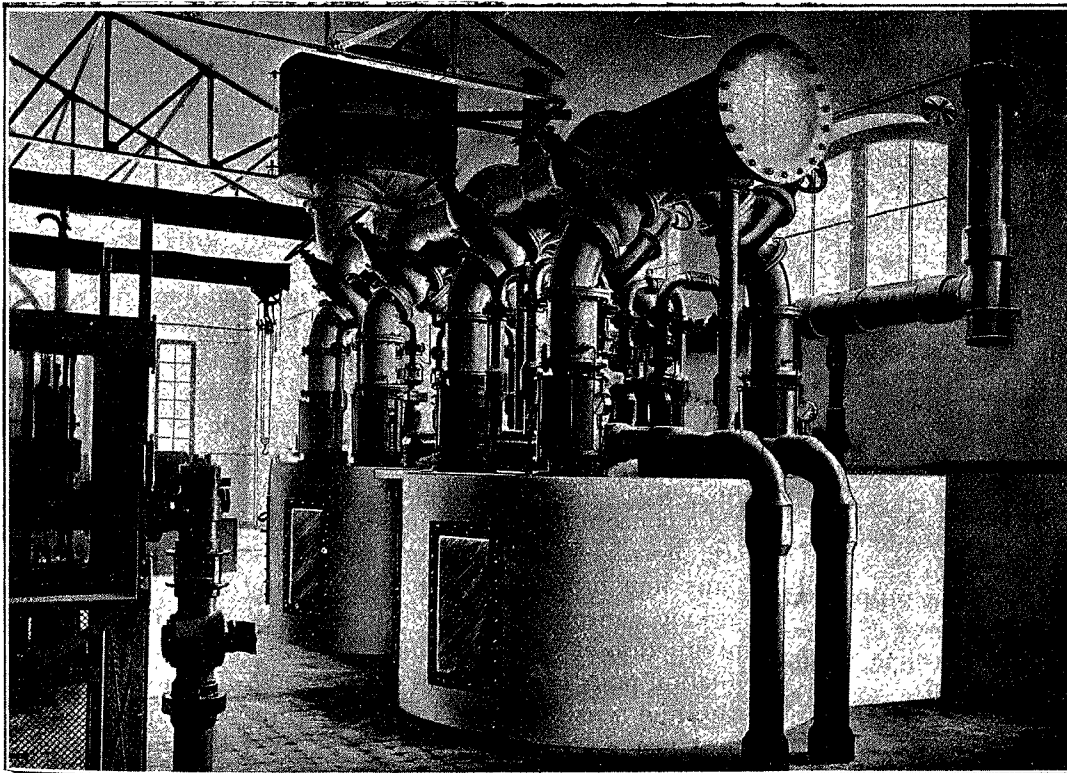
Ozonation	Fr. 0,000378
Personnel et entretien.....	0,001800
Pompage	0,001630
Total	0,003808

b) *Usine de Rimiez.* — Dans cette usine, c'est l'eau à stériliser qui produit elle-même l'énergie nécessaire à son épuration, aussi n'y a-t-il pas de frais de courant pour l'ozonation ni de frais de pompage. Il n'y a que les frais de personnel et d'entretien fixés à forfait à 13 500 francs par an pour un débit de 150 litres par seconde. Le prix du mètre cube d'eau est alors de :

$$\frac{13,500}{0,150 \times 60 \times 60 \times 24 \times 365} = 0 \text{ f. } 0029$$

II. — STÉRILISATION PAR LES RAYONS ULTRA-VIOLETS

Les rayons ultra-violetts sont connus depuis longtemps, mais c'est seulement en ces dernières années qu'on a observé leur action sur la vie des cellules, leur effet sur les cancers, les ulcères et surtout leur grand-pouvoir bactéricide.



ÉMULSEUR ET COLONNES DE SELF-CONTACT (APPAREILS BREVETÉS)

A part la lumière solaire directe qui nous arrive avec une certaine proportion de radiations ultra-violettes, il n'y a qu'un petit nombre de sources artificielles qui en donnent une quantité suffisante pour effectuer des expériences de stérilisation. De ce nombre sont la lampe à sulfure de carbone et surtout la lampe électrique à vapeur de mercure ou lampe Cooper-Hewitt.

Le type courant de lampe à mercure n'émettait que fort peu de radiations ultra-violettes, car le tube était en verre et le verre les intercepte. Schattner et Knech l'ont munie

d'un tube de quartz ou de silice fondue qui laissent facilement passer les radiations de courtes longueurs d'onde et ont ainsi transformé les lampes Cooper-Hewitt en sources très abondantes de rayons ultra-violetts.

Ayant reconnu le prodigieux pouvoir microbicide des rayons ultra-violetts, on a construit des appareils dans lesquels l'eau, toujours en mouvement, est soumise à l'action d'une lampe de quartz à vapeur de mercure pendant environ cinq secondes, temps reconnu suffisant pour détruire tous les microbes qui pourraient souiller l'eau. De plus, des chicanes disposées dans l'appareil obligent l'eau à se retourner plusieurs fois de façon à démasquer les germes qui pourraient être abrités derrière les grains de poussière comme derrière des écrans. Le récipient dans lequel l'eau circule est en fer émaillé blanc afin d'obtenir le maximum de réflexion et enveloppe aussi complètement que possible la lampe à mercure.

On a construit également d'autres appareils dans lesquels la lampe, au lieu d'être près de la surface de l'eau, y est entièrement immergée. L'utilisation des radiations semble meilleure, mais la fraîcheur de l'eau change le régime de la lampe et elle émet moins de rayons ultra-violetts. De plus, il se forme un dépôt calcaire analogue à celui qui recouvre les tubes des chaudières à vapeur et bientôt le tube ne laisse plus passer aucune radiation ultra-violette.

Avec les types courants de stérilisateur, la destruction des germes est complète, mais à la condition que la vitesse de l'eau n'exécède pas 600 litres à l'heure. Si la vitesse du courant d'eau augmente, les résultats sont moins bons et deviennent nuls lorsqu'elle atteint 1 m³5 à l'heure. Cet inconvénient est fort grave pour les installations devant fournir une grande quantité d'eau, car il faut alors faire fonctionner un nombre immense d'appareils. De plus, ainsi que l'ont constaté MM. les professeurs Courmont et Nogier, on ne peut pas compter sur la constance du rendement des lampes en rayons ultra-violetts. Ce rendement va en décroissant à partir du jour de la mise en service, surtout si les lampes fonctionnent à haute température ; de là la nécessité de les refroidir, ce qui modifie désavantageusement leur rendement. Si encore on avait un moyen pratique et certain pour doser les rayons ultra-violetts, on pourrait changer les lampes dès qu'elles ne donnent

plus un rendement suffisant, mais ce procédé certain de dosage est encore à trouver, aussi ne sait-on jamais quelle est la puissance des appareils et est-on exposé à leur accorder parfois une confiance imméritée.

Ajoutons encore que les rayons ultra-violetts coûtent beaucoup plus cher que l'ozone. Voici, en effet, les frais d'exploitation nécessités par la production de 22 500 mètres cubes d'eau stérilisée en 50 000 heures de travail avec des lampes d'une durée moyenne de 1 000 heures, consommant $\frac{1}{4}$ ampères sous 120 volts :

En nous mettant dans les mêmes conditions qu'à l'usine de Bon-Voyage à Nice et comptant le courant à 0 fr. 03 le kilowatt, la dépense d'électricité sera :

$$\frac{0,03 \times 4 \times 120 \times 50,000}{1000} = 720 \text{ fr.}$$

D'autre part, 50 lampes à 62,50 coûtent 3 125 francs (une lampe ne durant que 1000 heures, il faut la remplacer 50 fois).

Les frais seront donc, rien que pour la production des radiations : 3 125 + 720 = 3 845 francs

La production étant de 22 500 mètres cubes, le mètre cube ressort à :

$$\frac{3845}{22500} = 0 \text{ f. } 170 \text{ o } 888$$

CONCLUSION

Ayant passé en revue les deux méthodes les meilleures de stérilisation des eaux potables, nous pouvons nous résumer en quelques mots :

1° Les eaux, même les plus pures, peuvent devenir dangereuses et véhiculer des germes pathogènes ;

2° C'est une erreur de regarder comme pures des eaux renfermant plusieurs centaines de bactéries par centimètre cube, car il peut alors se trouver un grand nombre d'espèces pathogènes ;

3° La filtration est presque toujours insuffisante pour donner une épuration complète ;

4° Les rayons ultra-violettes donnent une solution élégante du problème, mais les appareils actuels sont d'un rendement variable et incertain, et de plus le prix de revient de ces rayons est élevé. Pour toutes ces raisons, la stérilisation par les rayons ultra-violettes n'a point obtenu l'approbation du Conseil supérieur d'hygiène et il n'existe aucune installation importante d'épuration des eaux par ces procédés ;

5° Seule la stérilisation de l'eau par l'ozone semble devoir répondre à tous les desiderata, car elle est à la fois simple, facile à appliquer, certaine dans ses résultats et d'un prix de revient très minime. Aussi a-t-elle été adoptée par toutes les grandes villes de l'Europe et sans aucun doute est-elle appelée au plus grand avenir.

Isidore BAY,

Ingénieur-chimiste, licencié ès sciences.

LES MÉTAUX INDUSTRIELS

L'année 1911, lisons-nous dans le volumineux rapport de la Société des métaux à Francfort-a.-M. (*Metallbank & Metallurgische A. G.*), offre, en ce qui concerne l'Europe, d'une façon générale, l'aspect d'un nouvel essor satisfaisant, ralenti passagèrement au milieu de l'été par la tension politique. Cependant, aux États-Unis d'Amérique, ce n'est que pendant l'année en cours qu'il paraît se produire un changement dans l'insécurité dont avait à souffrir la vie commerciale et industrielle depuis le krach survenu après la dernière période florissante.

La production mondiale (de plomb, cuivre, zinc, étain) ressort des chiffres suivants exprimés en milliers de tonnes métriques :

	1908	1909	1910	1911
Plomb	1 077	1 092	1 139	1 117
Cuivre	757	849	886	898
Zinc	722	783	816	895
Étain	113	113	115	118

L'augmentation ou la diminution, comparativement à

l'année précédente, ainsi que l'augmentation annuelle pendant les 10 dernières années, correspondent aux pourcentages suivants :

	1909	1910	1911	1910-1911
Plomb ...	+ 1,4 %	+ 4,4 %	- 1,9 %	+ 3,0 %
Cuivre ..	+ 12,1 %	+ 4,4 %	+ 1,3 %	+ 6,8 %
Zinc	+ 8,5 %	+ 4,3 %	+ 9,6 %	+ 7,6 %
Étain	+ 0,5 %	+ 1,6 %	+ 2,2 %	+ 2,6 %

Le tableau ci-après indique la part de l'Europe et des États-Unis à la production mondiale de plomb, cuivre et zinc, en milliers de tonnes (T), ainsi que le pourcentage respectif :

	1909		1910		1911	
	T	%	T	%	T	%
PLOMB :						
Europe ..	513 ³	47,0	505	44,3	480	43,0
États-Unis	353	32,4	380	33,4	386	34,4
CUIVRE :						
Europe ..	156	18,4	175	19,8	181	20,2
États-Unis	528	62,2	527	59,5	527	58,7
ZINC :						
Europe ..	542	69,3	565	69,3	626	69,9
États-Unis	240	30,7	250	30,7	267	29,9

Ces évaluations de la consommation ne tiennent compte que des « stocks visibles » de cuivre et d'étain qui sont emmagasinés aux Magasins généraux ; elles comprennent en outre les stocks de cuivre dans les usines des producteurs de l'Amérique du Nord. On n'a pu s'occuper des variations des « stocks invisibles » dans les usines des producteurs et transformateurs, quoique ces stocks soient à certains moments de la plus haute importance pour le développement de la consommation, mais il n'est pas possible d'obtenir des chiffres probants. En tant que les évaluations de la consommation sont établies sans tenir compte des stocks, ce qui est le cas pour le plomb et le zinc, on devrait arriver pour la consommation mondiale aux mêmes chiffres que ceux de la production mondiale, puisque les quantités qui, pour un pays sont déduites comme exportation de sa production s'ajoutent à nouveau pour d'autres pays comme importation à leur production. Toutefois il existe pour les indications concernant la production et la consommation mondiales des différences qui ne proviennent pas, comme d'aucuns l'ont cru, des diminutions ou augmentations des stocks, mais qui sont simplement la suite inévitable de lacunes dans les estimations de la consommation.

La consommation même des métaux pendant l'année passée, hormis l'étain, a augmenté dans la plupart des pays dans une proportion notable. Comme en face d'une plus grande consommation de plomb, il y a diminution de la production et seulement une faible augmentation de la production pour le cuivre, les stocks du plomb et du cuivre ont diminué sensiblement. Des chiffres précis concernant l'importance de cette diminution existent seulement pour le cuivre ; les stocks aux usines américaines et aux entrepôts européens, y compris Hambourg et Rotterdam, qui en 1910 on déçu de 24 200 tonnes, ont encore diminué pendant l'année passée de 46 400 tonnes. La consommation du zinc pendant l'année écoulée a marqué à peu près le pas avec la production fortement accrue. La consommation d'étain fut un peu moindre que l'année précédente, tout en étant encore sensiblement plus élevée que les années antérieures ; les stocks visibles d'étain ont pu diminuer en 1911 de 700 tonnes contre 2 800 tonnes en 1910.

Des détails plus précis concernant la production et la consommation de ces quatre métaux se trouvent aux chapitres affectés spécialement à chacun de ces métaux.