

Revue générale des chemins de fer (1924)

I Revue générale des chemins de fer (1924). 1935/01.

1/ Les contenus accessibles sur le site Gallica sont pour la plupart des reproductions numériques d'oeuvres tombées dans le domaine public provenant des collections de la BnF. Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n°78-753 du 17 juillet 1978 :

- La réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur et notamment du maintien de la mention de source.
- La réutilisation commerciale de ces contenus est payante et fait l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

[CLIQUER ICI POUR ACCÉDER AUX TARIFS ET À LA LICENCE](#)

2/ Les contenus de Gallica sont la propriété de la BnF au sens de l'article L.2112-1 du code général de la propriété des personnes publiques.

3/ Quelques contenus sont soumis à un régime de réutilisation particulier. Il s'agit :

- des reproductions de documents protégés par un droit d'auteur appartenant à un tiers. Ces documents ne peuvent être réutilisés, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.
- des reproductions de documents conservés dans les bibliothèques ou autres institutions partenaires. Ceux-ci sont signalés par la mention Source gallica.BnF.fr / Bibliothèque municipale de ... (ou autre partenaire). L'utilisateur est invité à s'informer auprès de ces bibliothèques de leurs conditions de réutilisation.

4/ Gallica constitue une base de données, dont la BnF est le producteur, protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle.

5/ Les présentes conditions d'utilisation des contenus de Gallica sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

6/ L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur, notamment en matière de propriété intellectuelle. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

7/ Pour obtenir un document de Gallica en haute définition, contacter reutilisationcommerciale@bnf.fr.

REVUE GÉNÉRALE
DES
CHEMINS DE FER

MÉMOIRES ET DOCUMENTS

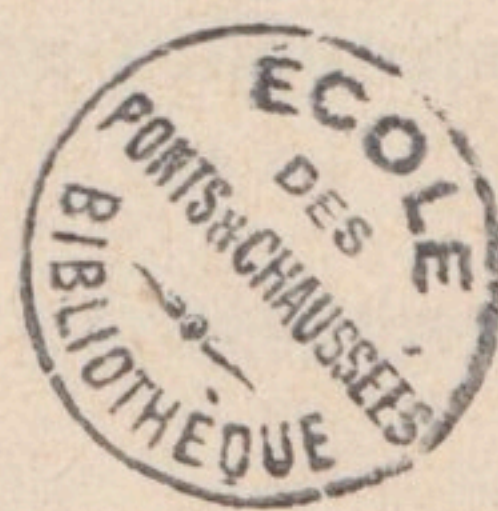
CONCERNANT

L'ÉTABLISSEMENT, LA CONSTRUCTION

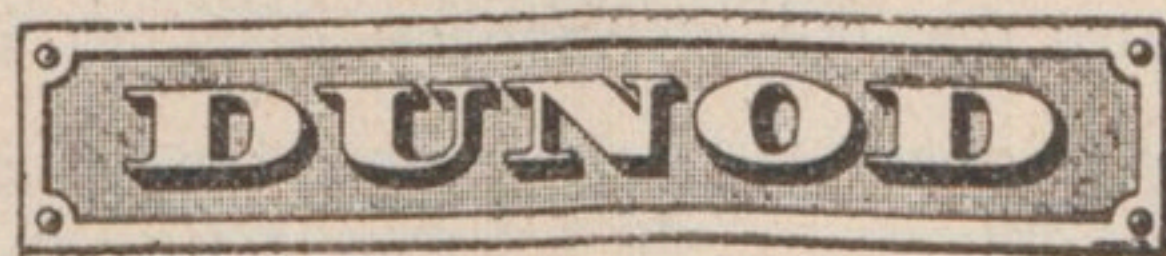
ET

L'EXPLOITATION TECHNIQUE ET COMMERCIALE
DES VOIES FERRÉES

TOME LIV^e. — 1935 — 1^{er} SEMESTRE.



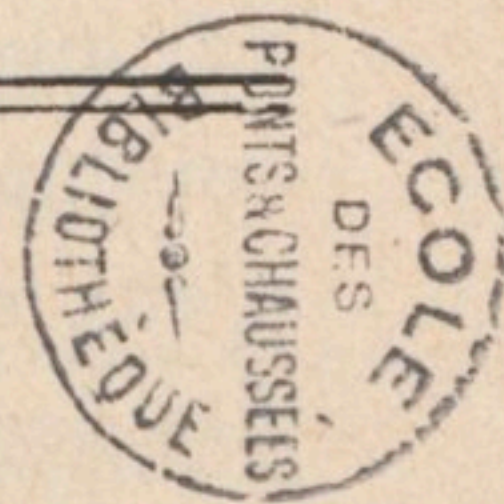
PARIS



92, RUE BONAPARTE (VI)

Tous droits réservés.

ENPC - PER - P 301 - 1935 - 1



LES FEUX COLORÉS

DANS LA SIGNALISATION DES CHEMINS DE FER

Par M. RECHER,

INGÉNIEUR PRINCIPAL DES ÉTUDES ET TRAVAUX DE SIGNALISATION
A LA COMPAGNIE DU CHEMIN DE FER DU NORD.

Exposé des études faites et des résultats obtenus par la Commission des Signaux et Enclenchements des Grands Réseaux français, présidée par l'auteur.

Les feux colorés utilisés en signalisation doivent répondre aux conditions suivantes :

— se distinguer nettement entre eux et se distinguer aussi des feux d'éclairage avoisinant le chemin de fer ;

— rester de teinte invariable quelle que soit la distance d'observation ;

— donner une portée suffisante, en rapport avec la vitesse des trains.

Ces conditions correspondent, pour les différents verres de couleur, à des spécifications techniques qui ont été définies par les Chemins de fer français, à la suite des travaux d'une Commission spéciale inter-Réseaux.

La présente Note a pour but de montrer l'aspect des études qui ont été faites par cette Commission, ainsi que les conclusions auxquelles elle a abouti.

Mécanisme de la Perception d'un feu coloré

Quatre éléments principaux interviennent dans la perception d'un feu coloré :

1^o La source qui produit les rayons lumineux ;

2^o Le système optique (réflecteur, verre coloré, lentille ou combinaison de ces éléments) qui transmet et dirige ces rayons en les caractérisant ;

3^o L'atmosphère qui transmet les rayons en les absorbant partiellement et en les altérant ;

4^o L'œil.

Nous allons succinctement étudier ces quatre éléments :

1^o SOURCE LUMINEUSE

Comme on le sait, une source lumineuse (flamme de pétrole, filament incandescent) émet une infinité de radiations dont chacune, définie par sa longueur d'onde, correspond à une couleur caractéristique. Les longueurs d'onde et, par suite, les couleurs des radiations émises

par une source lumineuse, forment un ensemble continu, mais on admet que, dans cet ensemble continu, on peut faire des divisions, délimiter des groupes de radiations et attribuer à chacun d'eux le nom d'une même couleur. Le tableau ci-dessous donne les couleurs des divers groupes. Les deux premiers chiffres qui suivent chaque nom de couleur indiquent les longueurs d'onde des radiations que l'on admet généralement comme étant les radiations limites de la couleur ; le dernier chiffre indique la longueur d'onde de la radiation qui caractérise chaque couleur de la manière la plus franche :

Violet.....	de 400 à 440 m μ .	radiation caractéristique	410 m μ .
Bleu.....	de 440 à 490 m μ .	—	470 m μ .
Vert.....	de 490 à 565 m μ .	—	520 m μ .
Jaune	de 565 à 595 m μ .	—	580 m μ .
Orange ...	de 595 à 620 m μ .	—	600 m μ .
Rouge.....	de 620 à 780 m μ .	—	650 m μ .

Au-dessous de 400 m μ et au-dessus de 780 m μ les radiations ne sont pas visibles.

On représente généralement le rayonnement d'une source lumineuse par une courbe ayant, en abscisses, les longueurs d'onde et, en ordonnées, les intensités correspondantes des radiations. Une telle courbe s'appelle la courbe spectrale d'énergie de la source considérée.

Chaque courbe spectrale d'énergie présente un maximum très accentué avec une décroissance beaucoup plus rapide du côté des petites longueurs d'onde que des grandes. Le maximum est, en général, en dehors et au-delà vers les grandes longueurs d'onde, de la partie visible du spectre. Quand la température croît, le maximum se déplace vers les petites longueurs d'onde.

Ce maximum a lieu pour les longueurs d'onde suivantes :

1 μ .41 pour la flamme de pétrole, qui a une température de 2.000° environ ;

1 μ .38 pour la lampe électrique à filament de carbone, qui a une température de 2 050° environ ;

1 μ .21 pour la flamme d'acétylène, qui a une température de 2 350° environ ;

1 μ .15 pour la lampe à filament de tungstène dans le vide (25 watts), qui a une température de 2 450° environ ;

1 μ .07 pour la lampe à filament de tungstène dans un gaz (50 watts), qui a une température de 2 600° environ.

Toutes ces températures sont des températures absolues.

Les courbes représentées sur la figure 1 sont des courbes spectrales d'énergie des sources indiquées ci-dessus, ainsi que celle de la lumière moyenne du jour, qui correspond à celle d'une source lumineuse de 5 000° pour laquelle le maximum se produit pour la longueur d'onde de 0 μ .575. Ces courbes montrent tout l'intérêt qu'il y a, pour une bonne visibilité et une bonne utilisation de l'énergie, à prendre une source lumineuse à une température très élevée. On obtient ainsi une courbe spectrale d'énergie qui se rapproche d'autant plus de celle de la lumière du jour.

2° SYSTÈME OPTIQUE

a) *Réflecteurs.* — Les rayons lumineux tombant sur une surface réfléchissante sont renvoyés, mais non avec leur intensité primitive ; une certaine fraction de cette intensité est absorbée par le réflecteur. Pour les réflecteurs métalliques, la fraction absorbée varie avec la longueur d'onde d'une façon qui n'est pas négligeable. Il en résulte que les miroirs métalliques modifient la couleur puisqu'ils modifient la proportion des intensités relatives des rayons des diverses longueurs d'onde. En général, les miroirs métalliques absorbent plus les rayons de petites que de grandes longueurs d'onde. Cette différence d'absorption est très forte pour l'or, plus faible, mais encore appréciable, pour l'argent, elle est presque nulle pour le mercure sous verre.

b) *Lentilles et verres colorés.* — Les verres de couleur transmettent les rayons lumineux en absorbant une fraction de leur intensité qui varie dans de larges limites suivant les longueurs d'ondes. Ils agissent comme des filtres lumineux. Un verre peut être défini par sa courbe de transparence obtenue en portant en abscisses les longueurs d'onde et en ordonnées les coefficients de transparence définis par le rapport de l'intensité lumineuse d'une radiation à sa sortie du verre à l'intensité de cette même radiation à l'entrée.

Ce sont les valeurs relatives des coefficients de transparence pour les diverses longueurs d'onde qui déterminent la teinte du verre. Si les coefficients de transparence sont nuls sauf pour une certaine couleur, c'est-à-dire si le verre ne laisse passer de rayons lumineux que de cette couleur, ce verre est dit *monochromatique*.

La figure 2 donne des exemples de courbes de transparence de verres de couleur.

3° L'ATMOSPÈRE

L'atmosphère transmet les rayons lumineux, mais, tout comme le verre, elle absorbe une

Fig. 1. — COURBES SPECTRALES D'ÉNERGIE DE QUELQUES SOURCES LUMINEUSES,

Ces courbes sont établies à l'aide des formules de Planck et de Wien.

Elles sont tracées en coordonnées logarithmiques et correspondent au rayonnement d'un centimètre carré de source.

La proportion indiquée sous chaque courbe est celle de l'énergie située dans la partie visible du spectre par rapport à l'énergie totale.

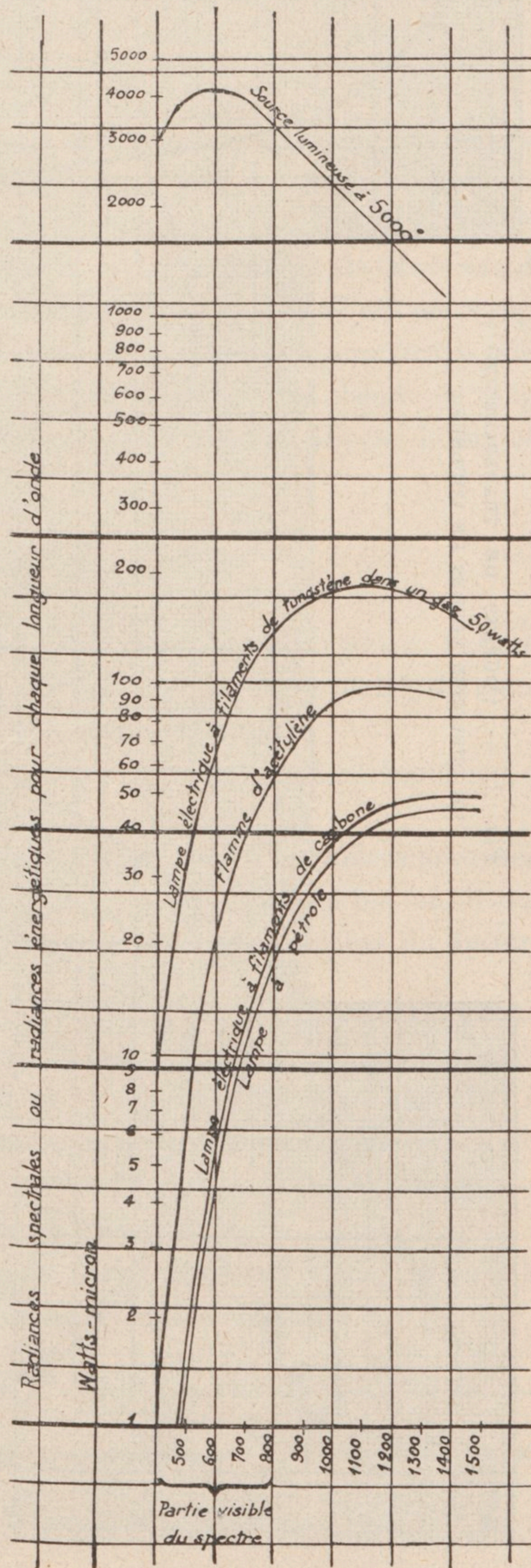
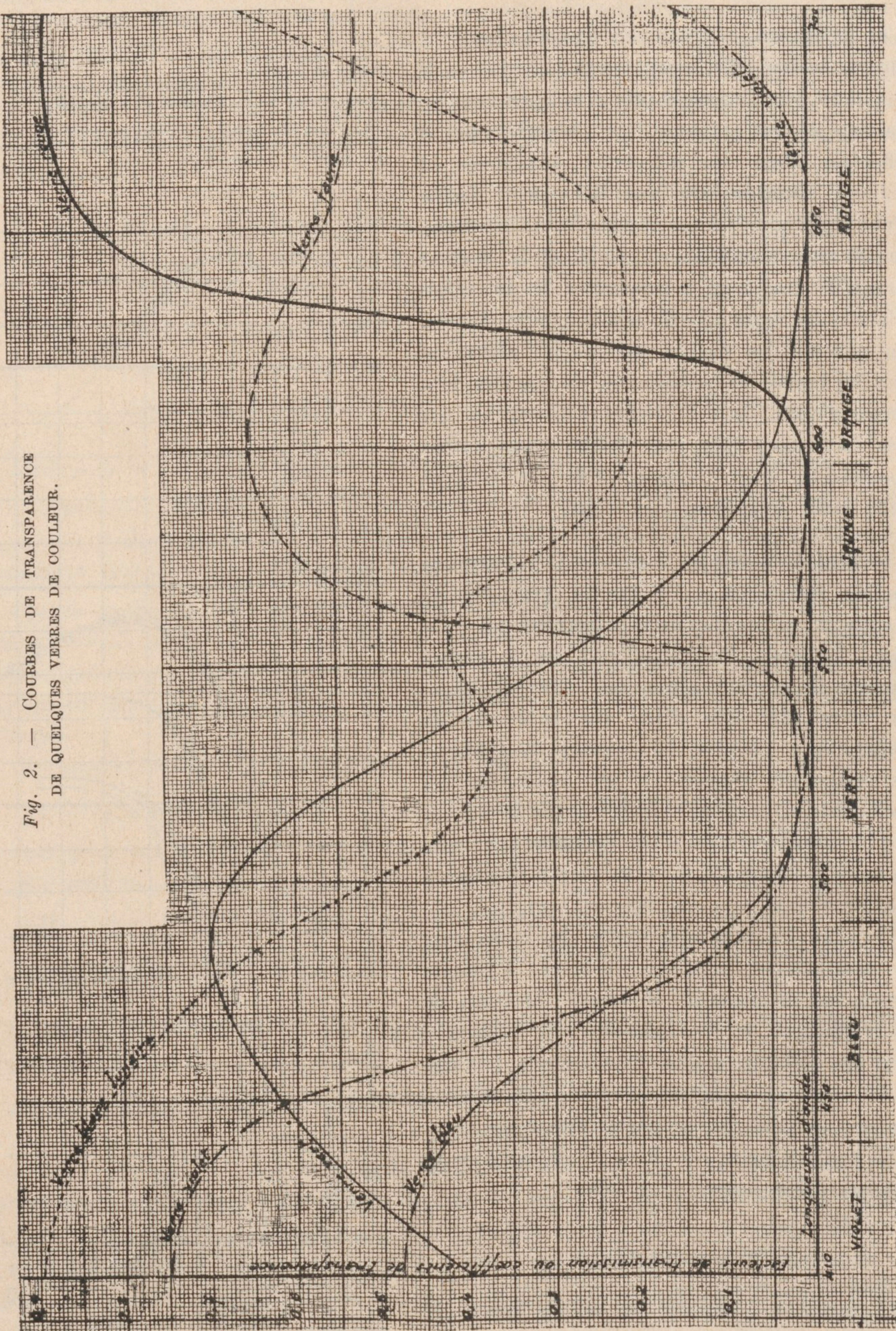


Fig. 2. — COURBES DE TRANSPARENCE
DE QUELQUES VERRES DE COULEUR.



certaine quantité de leur énergie lumineuse, quantité variable avec la longueur d'onde, l'état hygrométrique, la quantité de poussières en suspension dans l'air et l'état plus ou moins clair ou brumeux du temps ⁽¹⁾.

Cette variation est assez considérable et a pour résultat de changer la couleur des feux non monochromatiques, les radiations de petites longueurs d'onde étant plus absorbées que les grandes ; par suite, à grande distance, la couleur d'un feu non monochromatique tend vers le rouge, ou, par exemple, si le feu initial ne contient pas de radiations rouges ni jaunes, vers le vert.

4° L'ŒIL

L'œil est très inégalement sensible pour les diverses radiations lumineuses ; il présente un maximum de sensibilité pour les radiations voisines de 555 mμ dans le vert. La courbe de la figure 3 représente, en fonction de la longueur d'onde, les sensibilités relatives de l'œil moyen ⁽²⁾.

Enfin, une théorie toute récente du Docteur Pech, Professeur à la Faculté de Médecine de Montpellier, qui a bien voulu la développer devant la Commission, expose que l'œil est myope pour les radiations de petites longueurs d'onde (violetttes et bleues) et hypermétrope pour les radiations de grandes longueurs d'onde (jaunes et rouges). D'après cette théorie, le rouge doit être beaucoup plus visible à grande distance que le bleu, même si l'on dispose de sources monochromatiques de même intensité.

Couleurs utilisables en signalisation

Parmi les quatre éléments succinctement étudiés ci-dessus, deux sont intangibles : l'atmosphère et l'œil. Un autre ne peut être choisi que dans un champ relativement limité, du moins actuellement : sources lumineuses à pétrole, à acétylène et à électricité.

On ne peut guère agir que sur le 4^e élément : le système optique qui, dans beaucoup de cas, se réduit au filtre coloré.

Théoriquement, avec des filtres monochromatiques qui donnent un feu de couleur nettement déterminée et invariable, quels que soient la distance et l'état de l'atmosphère, on devrait pouvoir disposer, sans difficulté, de six feux colorés correspondant à six couleurs du spectre.

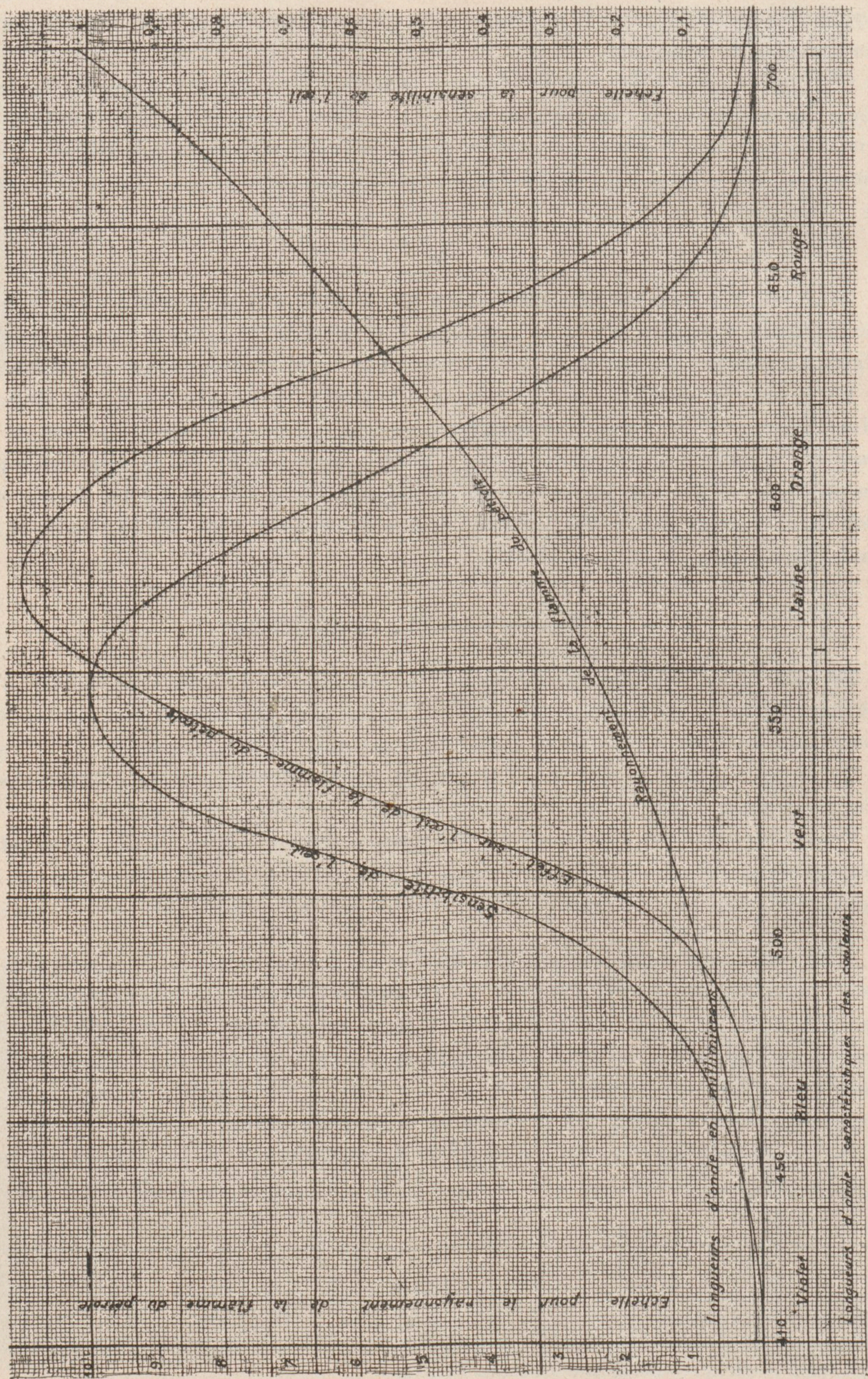
Mais, d'une part, avec les sources courantes et, notamment avec la flamme de pétrole dont les radiations de petite longueur d'onde sont peu intenses (la figure 3 donne la courbe spectrale d'énergie ou de rayonnement de la flamme au pétrole dans sa partie visible et en coordonnées décimales), les feux violets et bleus qu'on obtient pratiquement sont trop faibles pour être utilisés sur les voies parcourues en vitesse ; d'autre part, le jaune et l'orangé sont trop voisins pour qu'on puisse toujours les différencier aisément.

Dans ces conditions, on a été conduit à se limiter au rouge, au jaune et au vert pour les signaux principaux, et à réserver le violet et le bleu pour les feux secondaires.

(1) Par ailleurs, on manque encore à l'heure actuelle, de mesures nombreuses et précises sur l'absorption atmosphérique ; l'état atmosphérique est, d'autre part, difficile à caractériser, mais il ne faut pas perdre de vue que, par brouillard intense, la portée d'un feu lumineux est *très réduite quelle que soit sa puissance*.

(2) Cette courbe a été établie par Gibson et Tyndall.

Fig. 3.



Réalisation pratique des feux colorés. — Résultats des études de la Commission

Les meilleurs feux de signalisation seraient des feux *monochromatiques*, puisque leur teinte serait absolument invariable, quels que soient l'état de l'atmosphère et la distance d'observation.

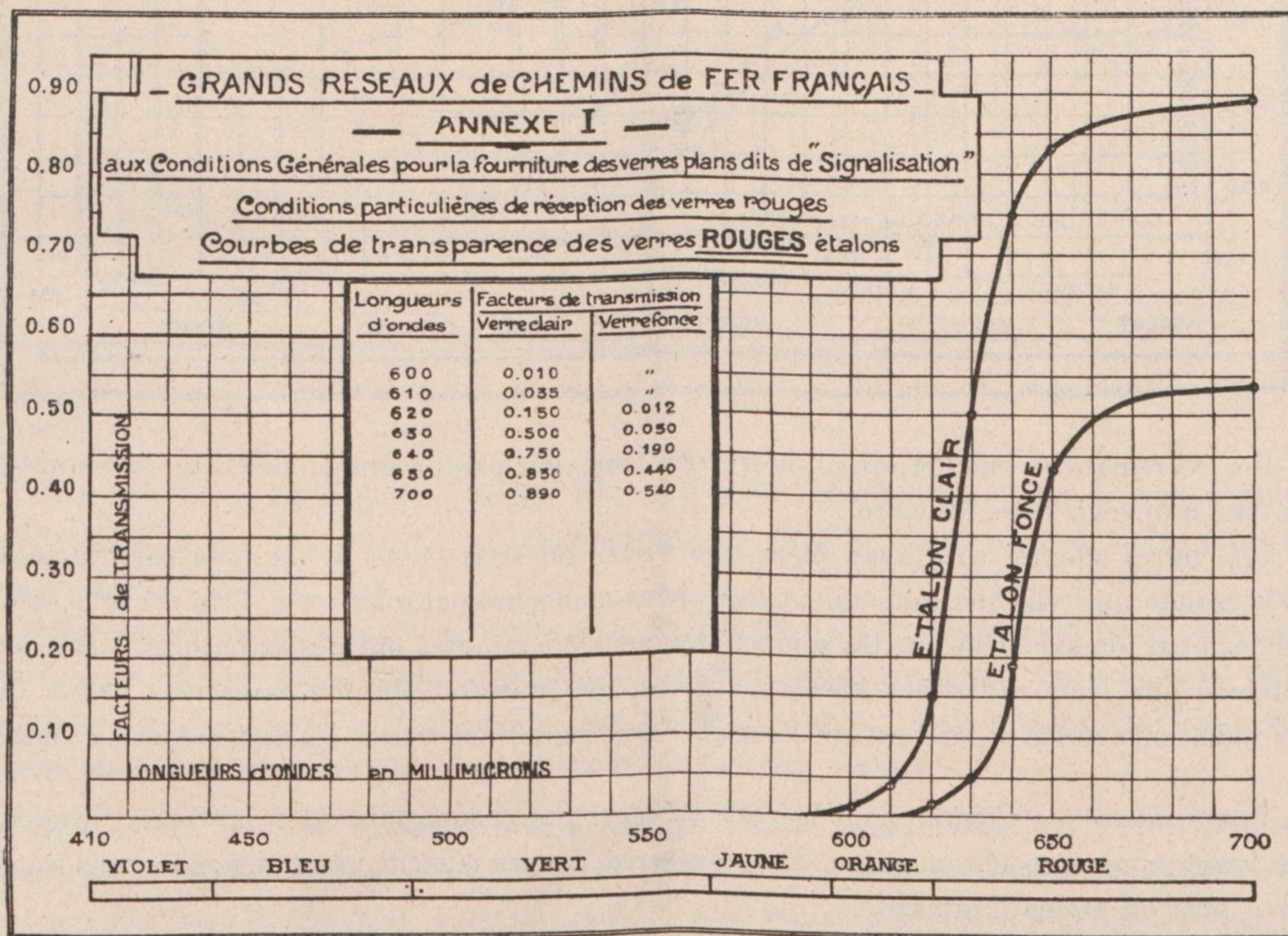
Mais, en pratique, étant donnée la faible intensité des sources lumineuses utilisées, il y a intérêt, pour renforcer la puissance de certains feux colorés, à laisser passer, à travers le verre, les rayons des couleurs voisines, à condition que la composante de leurs effets sur l'œil ne modifie pas, du moins de façon sensible, la couleur principale.

D'ailleurs, dans l'état actuel de la technique de la verrerie, il serait impossible d'obtenir avec une transparence élevée des verres monochromatiques pour toutes les couleurs.

Après de multiples recherches qui ont nécessité l'établissement d'une centaine de courbes de transparence dressées, sous la direction de M. Barmann, Ingénieur Principal, par le laboratoire du Chemin de fer du Nord, les travaux de la Commission ont abouti à des spécifications qui comportent, pour chaque couleur, deux courbes de transparence correspondant respectivement à deux verres étalons : l'un clair, l'autre foncé. Pour être acceptable, chaque verre coloré doit présenter une courbe de transparence qui s'intercale entre les courbes des deux verres étalons.

Verres rouges. — Les courbes de transparence sont représentées sur la figure 4. Ces verres laissent passer de l'orangé, mais en très faible proportion, ce qui n'est pas gênant.

Fig. 4.

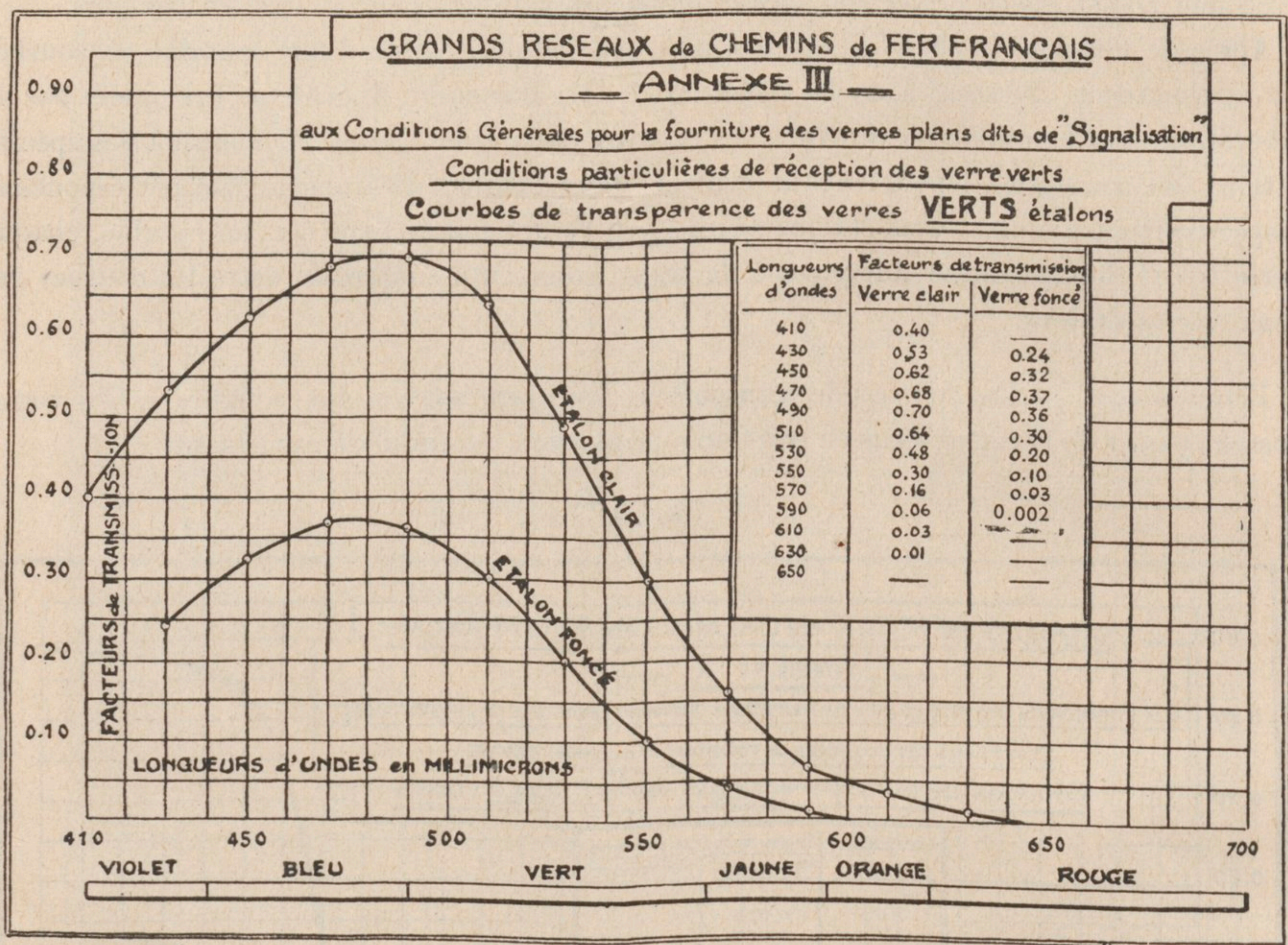


En effet, l'orangé disparaît devant le rouge *beaucoup* plus intense et ne peut prévaloir à distance puisque l'atmosphère absorbe plus les rayons orangés que les rayons rouges. L'éloignement agit également dans le même sens pour l'œil d'après la théorie du Professeur Pech.

Verres verts. — Les verres verts monochromatiques n'ont pu, jusqu'à présent, être fabriqués ni en France, ni à l'étranger.

Les courbes de transparence des verres verts étalons sont données par la figure 5 ; le vert clair correspond au vert moyen des Chemins de fer américains.

Fig. 5.



Il a été remarqué, en effet, qu'un verre vert trop clair perd, à grande distance, sa coloration et tend à devenir blanc (lunaire).

Les verres adoptés sont aussi bleus que verts : on arrive ainsi à une transparence totale plus grande que celle que donneraient des verres monochromatiques verts. Cela est sans inconvénient car on sait déjà que les sources lumineuses courantes ont des radiations vertes plus intenses que leurs radiations bleues ; l'atmosphère absorbe plus les radiations bleues que les radiations vertes et l'œil est plus sensible aux radiations vertes qu'aux radiations bleues.

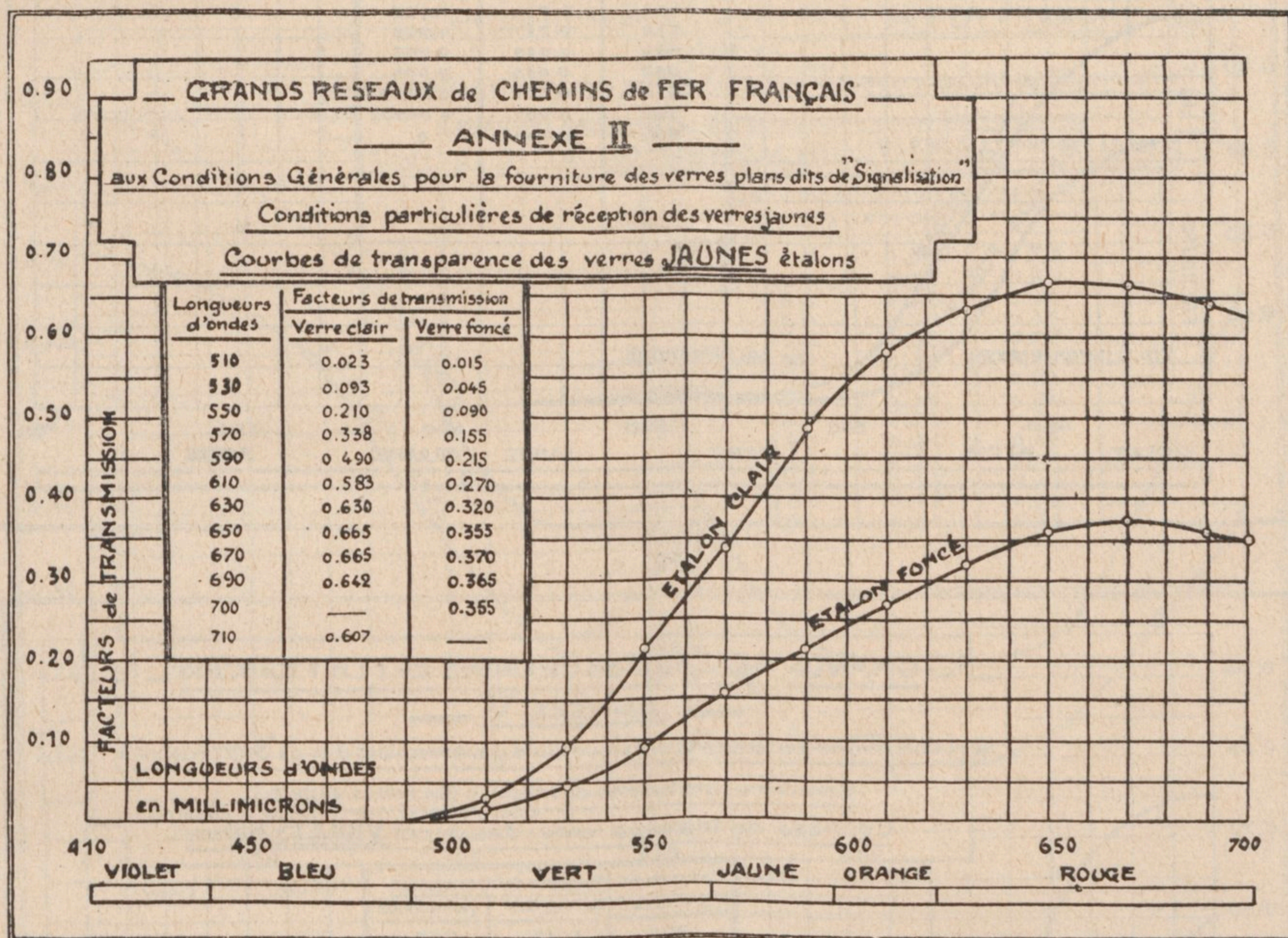
Verres jaunes. — Comme pour le vert, on n'est pas encore parvenu à fabriquer, jusqu'ici, un verre jaune monochromatique. Tous les verres jaunes laissent passer les radiations rouges avec plus ou moins d'intensité.

Si le verre jaune est très transparent dans le rouge, le feu qu'il donne tend à distance vers le jaune-orange et même le rouge, en raison de l'absorption plus forte des radiations jaunes que rouges par l'atmosphère.

Si le verre jaune est peu transparent dans le rouge, le feu qu'il donne se rapproche du jaune franc, qui est la teinte de la flamme nue du pétrole, ce qui, en rase campagne notamment, n'est pas favorable à la sécurité.

Après de longs essais et compte tenu des possibilités de fabrication, on a donné finalement la préférence à des verres jaunes-orangés assez transparents dans le rouge ; les Réseaux français se sont d'ailleurs rencontrés en cela avec les Chemins de fer américains.

Fig. 6.



Les courbes de transparence des étalons jaunes clair et foncé sont représentées sur la figure 6.

Verres bleus. — La figure 7 donne les courbes de transparence des verres étalons bleus clair et foncé. Ces verres sont très transparents dans le violet, un peu moins dans le bleu et très peu dans le vert.

Le feu donné en employant ces verres avec la flamme du pétrole est bien bleu, mais pas très intense. Si l'on avait voulu augmenter un peu la transparence du verre dans le vert, pour accroître l'intensité du feu, celui-ci serait apparu vert à grande distance par suite des différences d'absorption de l'atmosphère pour les diverses couleurs.

Verres violets. — La figure 8 donne les courbes de transparence des verres étalons violets clair et foncé. Ces verres sont très transparents dans le violet, moins dans le bleu et encore moins dans le vert et le jaune. De plus, ils sont transparents dans le rouge sombre.

Fig. 7.

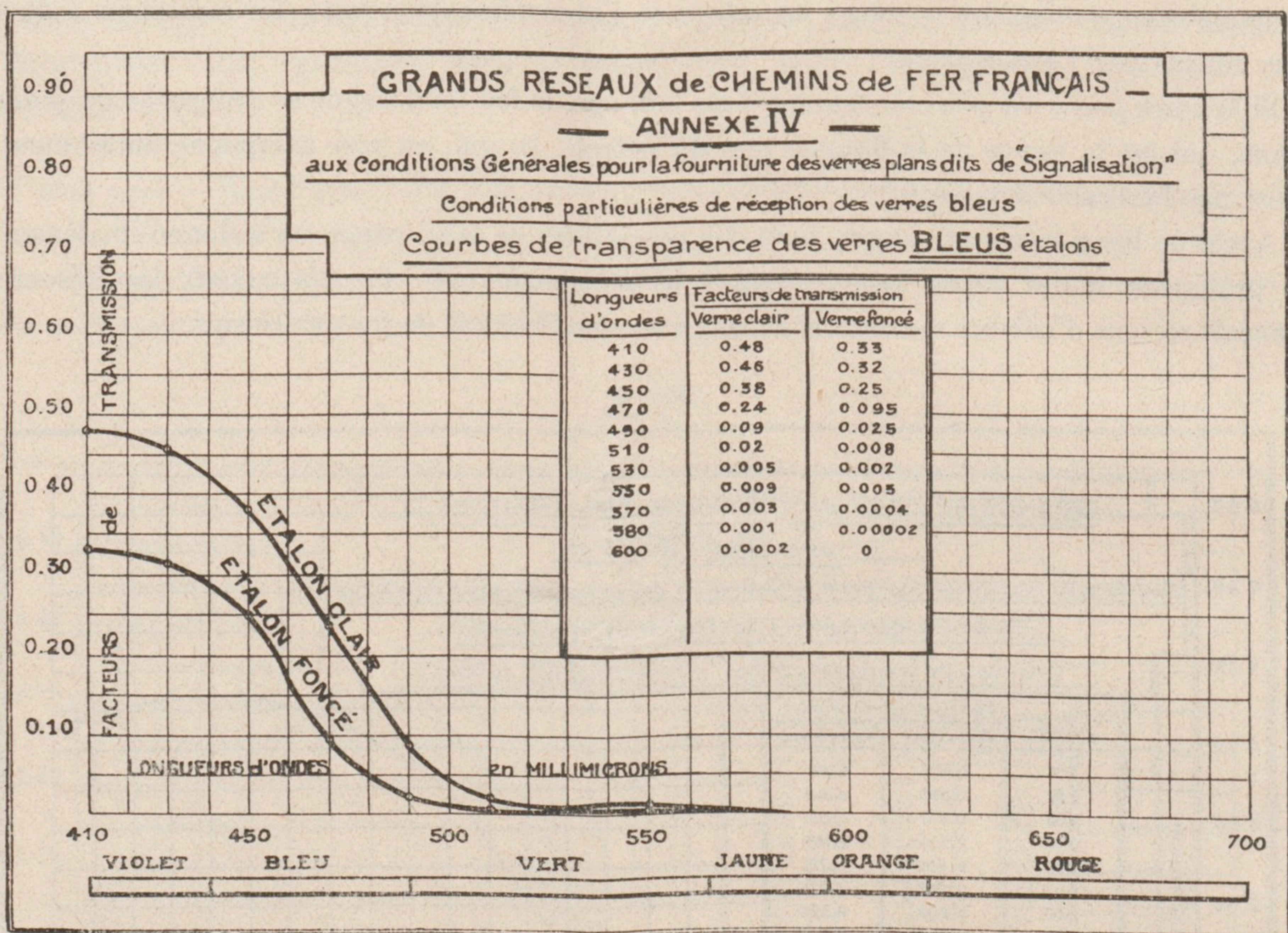
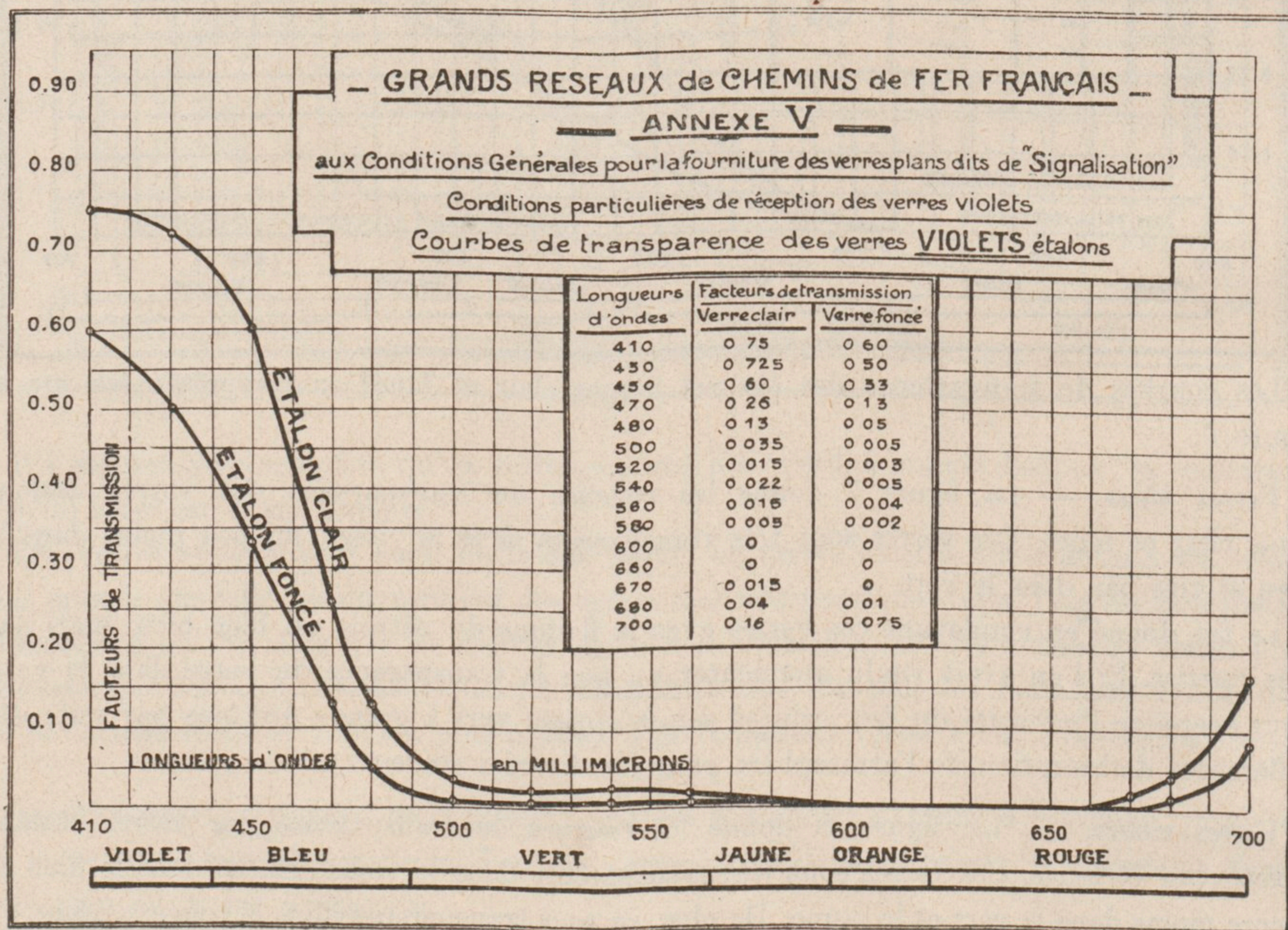


Fig. 8.



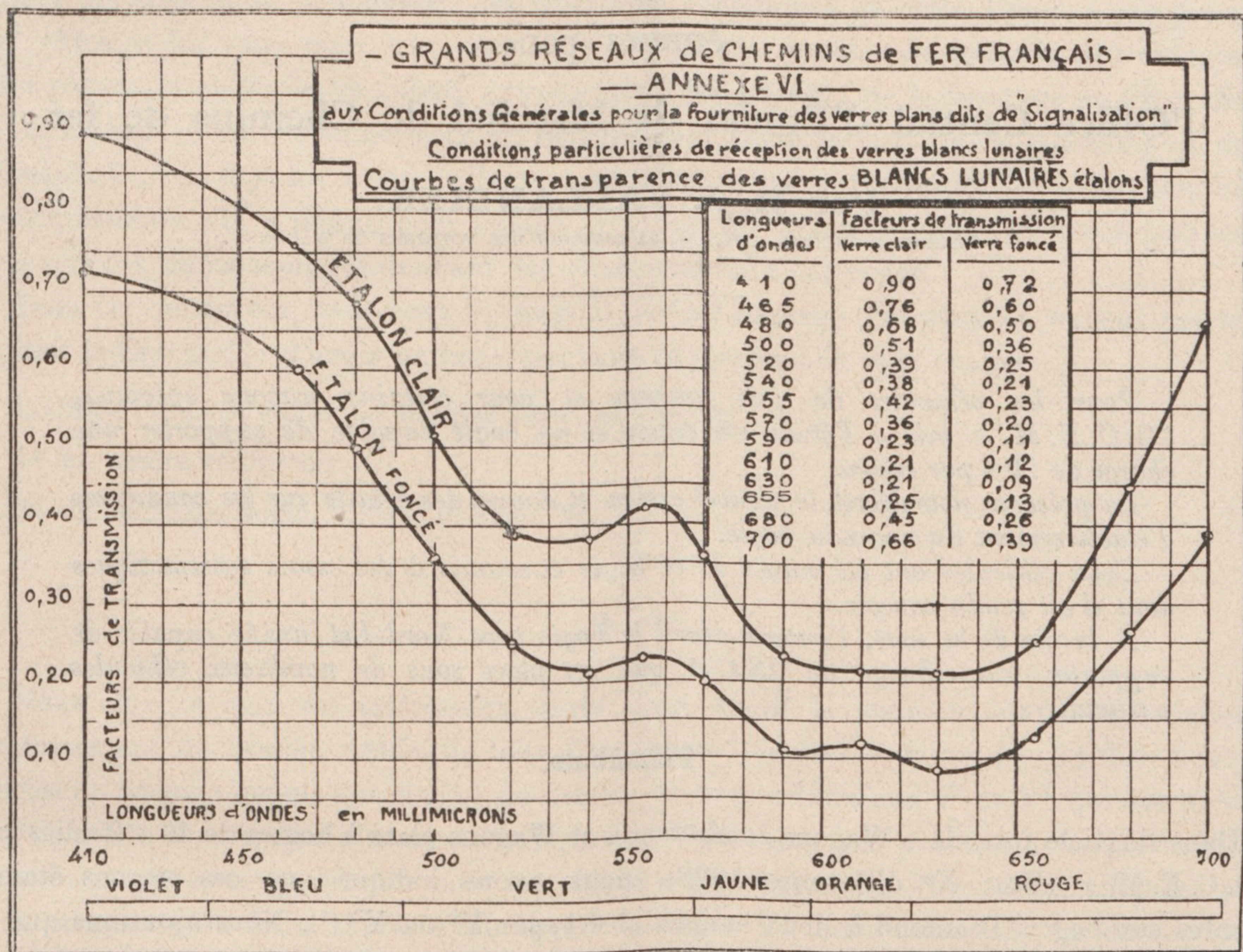
En les plaçant devant une flamme de pétrole, on obtient bien un feu violet, mais assez faible.

Verres blancs-lunaires. — Pour obtenir un feu blanc avec les sources lumineuses courantes, il est nécessaire d'affaiblir les radiations vertes, jaunes et rouges par rapport aux radiations bleues et violettes, de façon à obtenir des radiations d'intensité sensiblement égales pour les diverses couleurs.

A cet effet, on utilise des verres bleus-clairs dits blancs-lunaires, moins transparents dans le vert, le jaune et le rouge clair, que dans le violet et le bleu.

La figure 9 donne les courbes de transparence des verres étalons blancs lunaires.

Fig. 9.



Conclusions

Chargée de déterminer les caractéristiques des verres correspondant aux couleurs adoptées à la suite des études faites en commun par les Réseaux lors de l'élaboration du Code de la nouvelle signalisation ⁽¹⁾, la Commission a abouti à des résultats à la fois positifs, pratiques et précis.

Grâce à la collaboration entre les Réseaux et l'Industrie de la Verrerie, représentée notamment par les Verreries Avril (de Saverne) et les Verreries de Bagneaux-St-Gobain, qui n'ont rien négligé pour faciliter la tâche de la Commission, il va être possible d'entreprendre prochainement, sans recourir à la fabrication étrangère, et dans des conditions techniques éminemment favorables, la réalisation de la nouvelle signalisation unifiée des Chemins de fer français.

⁽¹⁾ Voir, à ce sujet, la note de M. Tuja, dans la *Revue Générale*, N° de Janvier 1931.