

MOTEURS ÉLECTRIQUES

ETUDE SPÉCIALE DES MOTEURS DÉRI ET DES MOTEURS LATOUR

Moteurs à collecteurs nouveaux utilisés en traction électrique

Nous avons étudié précédemment ⁽¹⁾ les conditions dans lesquelles pouvaient fonctionner les moteurs à collecteur alimentés en courant alternatif monophasé ; ce sont les plus intéressants. Nous les avons classés en trois catégories :

1° Les moteurs série, toujours compensés aujourd'hui, pour les raisons que l'on sait.

2° Les moteurs à répulsion qui, avec des modifications convenables, concurrencent, souvent malheureusement, les premiers.

3° Enfin les moteurs mixtes, qui participent des précédents.

Dans ces moteurs mixtes existent généralement une paire de balais, fermés en court-circuit ou sur des résistances convenables, et une deuxième paire de balais, en communication plus ou moins compliquée avec le réseau général.

La Société Brown-Boveri emploie, exclusivement aujourd'hui, le moteur Déri qui est un moteur à répulsion perfectionné. — La Société Westinghouse utilise un moteur série compensé, du reste excellent, dû à son ingénieur en chef

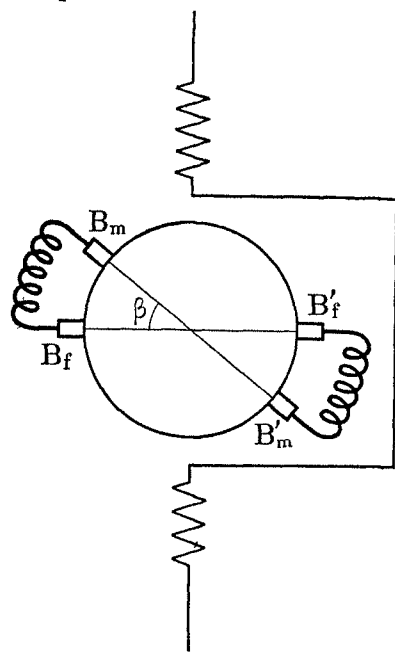


FIG. 28. — Constitution schématique d'un moteur Déri.

Moteur Déri

Ce moteur comporte un inducteur de moteur asynchrone habituel, un induit à collecteur, deux paires diamétrales de balais, faisant entre elles un angle variable que nous désignerons par β .

L'une des lignes de balais est fixe et est calée suivant un axe interpolaire. La ligne de balais mobiles est manœuvrée

par un volant qui sert au réglage de la vitesse et même à l'inversion de marche.

Le système Déri, depuis l'origine, a subi un grand nombre de modifications, même de principe, qui permettent de dire qu'il consiste essentiellement en un moteur dont le rotor est pourvu de deux paires de balais, l'une fixe, l'autre mobile, faisant entre elles des angles β variables. La modification de ces angles β de calage permet de faire varier le couple en fonction de la vitesse, donc de régler le moteur.

Dans le moteur Déri dernier modèle, la paire de balais fixes B_f , B'_f , est calée suivant le diamètre des axes interpolaires. La paire de balais mobiles B_m , B'_m , est calée suivant un diamètre faisant un angle β avec la première.

B_f et B_m , B'_f et B'_m sont deux à deux en communication métallique, sur l'angle $\beta < \frac{\pi}{2}$.

FORCE ÉLECTROMOTRICE DÉVELOPPÉE DANS LE MOTEUR DÉRI (DERNIER MODÈLE). — Le flux Ψ passant par une spire S , aura pour valeur, avec les notations habituelles :

$$\Psi = \frac{\Phi_{p\max}}{2} \cos p\delta \cos \Omega$$

(δ angle d'écart par rapport à un axe interpolaire).

$$-\frac{d\Psi}{dt} = \frac{\Phi_{p\max}}{2} \left[\Omega \sin \Omega t \cos p\delta + p\omega' \sin p\delta \cos \Omega t \right]$$

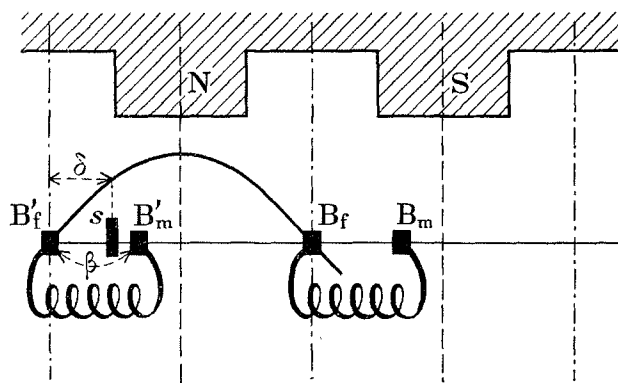


FIG. 29. — Développement d'un moteur Déri.

Formons l'expression de la force électromotrice totale développée dans la section $B'_f B'_m$ (d'ouverture β). Ce sera :

$$E_\beta = \frac{\Phi_{p\max}}{2} \frac{n_2}{2\pi} \int_0^\beta (\Omega \sin \Omega t \cos p\delta + p\omega' \sin p\delta \cos \Omega t) d\delta$$

$$E_\beta = \frac{\Phi_{p\max}}{2} \frac{n_2}{2\pi p} \left[\Omega \sin \Omega t (\sin p\delta)_0^\beta - p\omega' \cos \Omega t (\cos p\delta)_0^\beta \right]$$

$$E_\beta = \frac{\Phi_{p\max}}{2} \frac{n_2}{2\pi p} \left[\Omega \sin \Omega t \sin p\beta - p\omega' \cos \Omega t (\cos p\beta - 1) \right]$$

Le courant i_β dans la section aura pour valeur :

$$i_\beta = \frac{\Phi_{p\max}}{2} \frac{n_2}{2\pi p Z_2} \left[\Omega \sin p\beta \sin (\Omega t - \varphi_2) + p\omega' (1 - \cos p\beta) \cos (\Omega t - \varphi_2) \right]$$

On remarquera que :

$$Z_2 = \frac{n_2}{2\pi} \beta \sqrt{\rho^2 + \lambda^2 (\Omega - \Omega')^2},$$

avec ρ = résistance d'une spire, λ = self-induction d'une spire, ou mieux, quotient de la self-induction totale de la section par le nombre de spires de la section.

(1) Voir *La Houille Blanche* d'avril et décembre 1912.

(2) Cours municipal d'Electricité industrielle, tome II, fascicule n° 2, Geisler, éditeur, Paris. Encyclopédie électrotechnique — Fascicule n° 35 Geisler, éditeur, Paris.

Couple. — Le couple, sur un groupe de spires comprises dans l'angle $d\delta$, est :

$$dC = B_{\max} \cos \Omega t \cos p\delta \frac{DL}{2} i_{\beta} \frac{n_2}{2\pi} d\delta;$$

En remarquant que : $B_{\max} = p \frac{\Phi_{F\max}}{DL}$,

On a donc :

$$C = p \frac{\Phi_{F\max}}{DL} \frac{DL}{2} i_{\beta} \frac{n_2}{2\pi} \cos \Omega t \sin p\beta$$

Remplaçons i_{β} par sa valeur trouvée plus haut :

$$C = \left(\frac{n_2}{2\pi}\right)^2 \frac{\Phi_{F\max}^2}{4pZ_2} \cos \Omega t \sin p\beta \left[\Omega \sin p\beta \sin (\Omega t - \varphi_2) + p\omega' \cos (\Omega t - \varphi_2) (1 - \cos p\beta) \right]$$

ou bien :

$$C = \left(\frac{n_2}{2\pi}\right)^2 \frac{\Phi_{F\max}^2}{4pZ_2} \left[\Omega \sin^2 p\beta \cos \Omega t \sin (\Omega t - \varphi_2) + p\omega' (1 - \cos p\beta) \cos \Omega t \cos (\Omega t - \varphi_2) \sin p\beta \right]$$

La partie entre crochets peut s'écrire, en mettant en évidence $\sin 2\Omega t$ et $\cos 2\Omega t$:

$$\frac{\sin 2\Omega t}{2} \left[\Omega \sin^2 p\beta \cos \varphi_2 + p\omega' (1 - \cos p\beta) \sin p\beta \sin \varphi_2 \right] - \frac{(1 + \cos 2\Omega t)}{2} \left[\Omega \sin^2 p\beta \sin \varphi_2 - p\omega' (1 - \cos p\beta) \sin p\beta \cos \varphi_2 \right]$$

On voit que le couple est fonction de $\sin p\beta$.

On remarquera enfin que :

$$Z_2 = \frac{n_2}{2\pi} \beta \sqrt{\rho^2 + \lambda^2 (\Omega - \Omega')^2} = \frac{n_2}{2\pi} \beta \varepsilon$$

$$\varepsilon = \sqrt{\rho^2 + \lambda^2 (\Omega - \Omega')^2}$$

En posant :

$$K = \frac{n_2 \Phi_{F\max}^2}{2\pi \varepsilon} \left[\frac{\sin^2 p\beta \cos \frac{p\beta}{2}}{\beta} \right]$$

Nous aurons donc :

$$C_{\text{total}} = -K \left[\Omega \cos \frac{p\beta}{2} \sin \varphi_2 - p\omega' \sin \frac{p\beta}{2} \cos \varphi_2 \right]$$

$$C_{\text{total}} = K \left[p\omega' \cos \varphi_2 \sin \frac{p\beta}{2} - \Omega \sin \varphi_2 \cos \frac{p\beta}{2} \right]$$

On construira aisément ce couple et on constatera qu'il a l'allure d'un couple de moteur série.

Moteur Latour

Réduit à ses éléments essentiels, on peut concevoir le fonctionnement de ce moteur, en dehors de toute question de littérature mathématique, particulièrement abondante et confuse en ce qui concerne ce matériel, de la façon suivante :

Deux paires de balais, l'une et l'autre mobiles, mais invariablement calées à 90° l'une de l'autre, peuvent se déplacer sur un collecteur ; l'une des paires est en série avec le stator, ou, si les tensions ou les intensités ne s'y prêtent pas, avec un transformateur spécial alimenté par le courant du stator ; la seconde paire est fermée en court-circuit sur elle-même.

Appelons B_1 et B_2 les balais de la première paire, et b_1 et b_2 ceux de la deuxième paire.

Quand la ligne B_1-B_2 est située sur un diamètre polaire, la force électromotrice engendrée dans cette section est, comme l'on sait, en quadrature avec le courant d'armature ; par conséquent, la puissance fournie par le moteur partiel

travaillant en série est nulle. D'autre part, la ligne b_1-b_2 est dirigée suivant un diamètre interpolaire. Les forces électromotrices induites dans la section b_1-b_2 sont analogues à celles d'un moteur à répulsion ordinaire ; seule existe la composante dynamique du courant principal ; d'autre part, le courant de court-circuit ainsi créé entre b_1-b_2 est décalé d'un certain angle φ_2 par rapport à la force électromotrice d'induction correspondante. Entre le champ magnétique inducteur et ce courant I de court-circuit naît un couple qui sera différent de zéro.

FONCTIONNEMENT DU MOTEUR LATOUR. — Pour la paire de balais b_1-b_2 du moteur à répulsion, la force électromotrice sera donnée par l'expression :

$$e = \frac{n_2}{2\pi p} \Phi_{F\max} \left[\Omega \cos \left(\Omega t - \frac{\pi}{2} \right) \sin px - p\omega' \cos px \cos \Omega t \right]$$

Pour la paire B_1-B_2 :

$$E = \frac{n_2}{2\pi p} \Phi_{F\max} \left[\Omega \cos \left(\Omega t - \frac{\pi}{2} \right) \sin \left(px + \frac{\pi}{2} \right) - p\omega' \cos \left(px + \frac{\pi}{2} \right) \cos \left(\Omega t + \frac{\pi}{2} \right) \right]$$

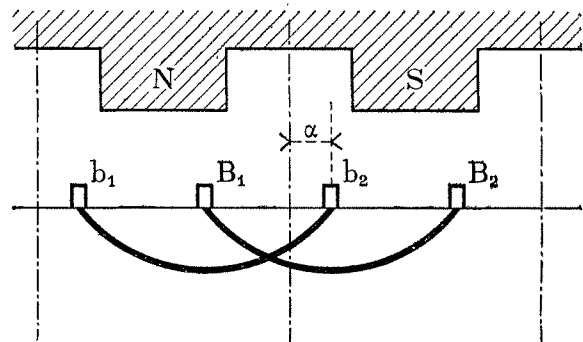


FIG. 30. — Fonctionnement du moteur Latour.

Partie série. — La valeur du couple est :

$$C_{\text{série}} = \frac{n_2}{2\pi p} \frac{\Phi_{F\max}}{\omega'} \left[\Omega \cos \left(\Omega t - \frac{\pi}{2} \right) \cos px + p\omega' \cos \Omega t \sin px \right] I_0 \cos \Omega t$$

$$C_{\text{série}} = \frac{n_2}{2\pi p} I_0 \frac{\Phi_{F\max}}{\omega'} \left[\cos \Omega t \sin \Omega t \Omega \cos px + p\omega' \cos^2 \Omega t \sin px \right]$$

donc :

$$C_{\text{série}} = \frac{n_2}{2\pi p} I_0 \frac{\Phi_{F\max}}{2\omega'} \left[\sin 2\Omega t (\Omega \cos px) + (1 + \cos 2\Omega t) p\omega' \sin px \right]$$

ou enfin :

$$C_{\text{moyen série}} = \frac{n_2}{2\pi p} I_0 \frac{\Phi_{F\max}}{2\omega'} p\omega' \sin px$$

Le couple total série (moyen) est :

$$C_{\text{total série}} = \frac{n_2}{2\pi} I_0 \frac{\Phi_{F\max}}{\omega'} p\omega' \sin px = \frac{n_2}{2\pi} I_0 p \Phi_{F\max} \sin px$$

Partie répulsion. — Nous avons, pour la valeur du couple :

$$\Gamma = \left(\frac{n_2}{2\pi}\right)^2 \Phi_{F\max}^2 \frac{1}{2Z_2} \left[\Omega \sin \varphi_2 \sin 2px - p\omega' \cos \varphi_2 (1 + \cos 2px) \right]$$

Or :

$$C_m = C_{\text{série}} + \Gamma.$$

Posons : $I_0 = a\Phi_{pmax}$ ou $\Phi_{pmax} := \frac{1}{a} I_0$

Il vient :

$$C_m = \frac{n_2}{2\pi} \Phi_{pmax}^2 \left[ap \sin px + \frac{n_2}{4\pi Z_2} \left(\Omega \sin \varphi_2 \sin 2px - p\omega' \cos \varphi_2 (1 + \cos 2px) \right) \right]$$

Formons $\frac{dC_m}{dx}$ et égalons à zéro, il vient :

$$\frac{dC_m}{dx} = \frac{n_2}{2\pi} \Phi_{pmax}^2 \left[ap^2 \cos px + \frac{n_2}{4\pi Z_2} \left(\Omega \sin \varphi_2 \cos 2px + p\omega' \cos \varphi_2 \sin 2px \right) \right] = 0$$

ou :

$$ap \cos px + \frac{n_2}{2\pi Z_2} \left(\Omega \sin \varphi_2 \cos 2px + p\omega' \cos \varphi_2 \sin 2px \right) = 0$$

équation bicarrée donnant $\operatorname{tg} p\alpha$ critique cherchée.

Si l'on pose : $\frac{ap}{\frac{n_2}{2\pi Z_2}} = A$

Il vient :

$$A \cos px + \Omega \sin \varphi_2 \cos 2px + p\omega' \cos \varphi_2 \sin 2px = 0$$

Mais $\cos 2px = \frac{1 - \operatorname{tg}^2 px}{1 + \operatorname{tg}^2 px}$ et $\sin 2px = \frac{2 \operatorname{tg} px}{1 + \operatorname{tg}^2 px}$

Donc :

$$A \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 px} + \Omega \sin \varphi_2 (1 - \operatorname{tg}^2 px) + p\omega' \cos \varphi_2 (2 \operatorname{tg} px) = 0$$

équation donnant la valeur cherchée de $\operatorname{tg} p\alpha$.

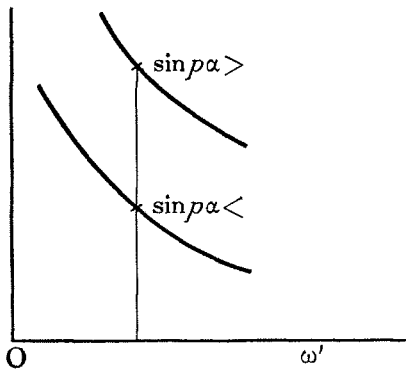


FIG. 31. -- Moteur série.

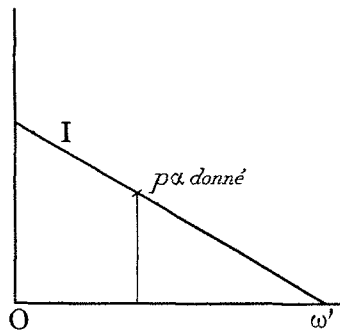


FIG. 32. -- Moteur à répulsion,

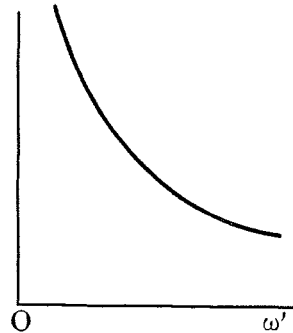


FIG. 33. -- Couple total.

On voit que si $B_1 B_2$ est sur les axes interpolaires, nous aurons un couple optimum au démarrage (couple série maximum, couple répulsion maximum).

Si au contraire on cale $B_1 B_2$ sur les axes polaires, on aura un couple série nul, un couple répulsion nul aussi.

En somme le réglage s'effectuera encore par le décalage des balais, mais, dans ce moteur, l'écart de deux paires de balais est toujours de 90 degrés.

Sur la commutation dans le moteur Latour. — Les pôles d'induit série sont aux balais $B_1 B_2$; les pôles répulsion sont en $b_1 b_2$. Ceux-ci sont parcourus par des courants de phases :

$$\Omega t - \frac{\pi}{2} - \varphi_2 \quad \text{et} \quad \Omega t - \pi - \varphi_2$$

On voit que ce moteur comprend en somme deux lignes de balais, donc deux séries de pôles d'induit. Les pôles d'induit $B_1 B_2$ sont en phase avec les courants excitateurs ; $b_1 b_2$ sont, au contraire, en phase avec les courants excitateurs de court-circuit :

$$a \left[\cos \left(\Omega t - \frac{\pi}{2} - \varphi_2 \right) \Omega \sin px + p\omega' \cos \left(\Omega t - \pi - \varphi_2 \right) \cos px \right]$$

On voit que ces pôles sont presque en opposition de phase avec les courants excitateurs de stator, l'une des composantes étant décalée de plus de $\frac{\pi}{2}$ par rapport à ce courant de stator, l'autre étant décalée de plus de π .

Si $B_1 B_2$ sont voisins des axes interpolaires, $b_1 b_2$ des axes polaires, on aura en $b_1 b_2$ une véritable démagnétisation,

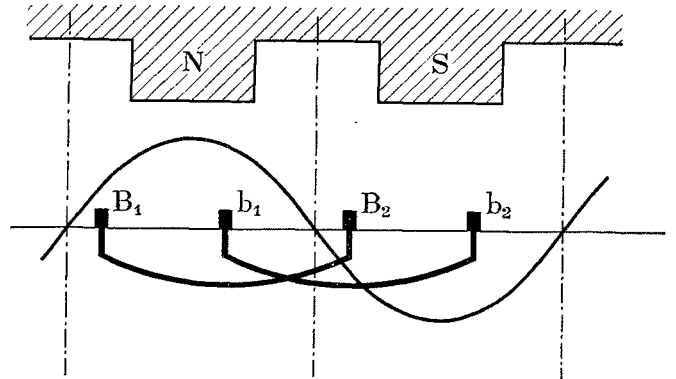


FIG. 34. -- Commutation du moteur Latour.

en $B_1 B_2$ un flux antagoniste comme dans le moteur série compensé.

Si, au contraire, $B_1 B_2$ est au voisinage des axes polaires, $B_1 B_2$ aura un effet antagoniste, $b_1 b_2$, sur les axes interpolaires, aussi.

La situation des courbes d'induction dans l'entrefer, dues à l'induit, considérée connue, ne se modifiera que peu de la marche à vide à la marche en charge. On pourra admettre que les inductions induites sont à peu près proportionnelles en valeur maxima au courant de stator. D'où une quasi compensation dans l'entrefer.

C'est ce qui justifie à peu près le nom de *moteur compensé* donné au moteur Latour.

L'étude complète de la commutation dans ce moteur devrait prendre pour base l'évaluation des flux Φ que la spire commutée doit embrasser pour

être le siège d'une force électromotrice de commutation convenable.

Or ces flux comprennent :

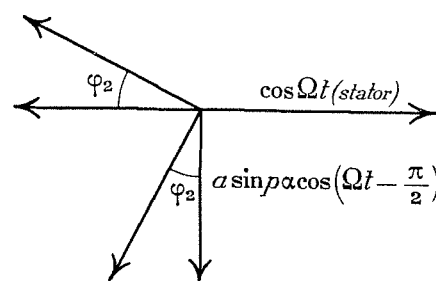


FIG. 35.

le flux de stator, facile à évaluer ;

les flux d'induit, dus au courant I de stator et au courant I des balais $B_1 B_2$.

On opérera comme d'habitude :

Les flux passant dans les spires commutées seront donnés par des

expressions de la forme :

$$\pm \left(AI_{max} \cos \Omega t \right) \cos p\delta \pm BI_{max} \cos \left(\Omega t - \frac{\pi}{2} - \varphi_2 \right) \Omega \sin px + p\omega' \cos \left(\Omega t - \frac{\pi}{2} - \varphi_2 \right) \cos px \cos \left(p\delta + \frac{\pi}{2} \right)$$

$$\text{et } \pm A I_{\max} \cos \Omega t \cos p\delta \pm B I_{\max} \cos \left(p\delta - \frac{\pi}{2} \right) \\ \left[\cos \left(\Omega t - \frac{\pi}{2} - \varphi_2 \right) \Omega \sin p\alpha + p\omega' \cos p\alpha \cos \left(\Omega t - \pi - \varphi_2 \right) \right]$$

Les quatre signes correspondent respectivement aux quatre sections de l'induit dans lesquelles peut se faire la commutation.

On remarquera, d'autre part, que les courants parcourant les spires sont donnés par des formules à quadruple signe :

$$\pm I_0 \cos \Omega t \pm \frac{n_2 \Phi_{p\max}}{2\pi p Z_2} \left[\Omega \cos \left(\Omega t - \frac{\pi}{2} - \varphi_2 \right) \sin p\alpha \right. \\ \left. - p\omega' \cos \left(\Omega t - \right) \cos p\alpha \right]$$

Nous n'insisterons pas sur cette étude, renvoyant le lecteur aux mémoires parus sur la matière.

BARBILLION et CLARET.

EMPLOIS SPÉCIAUX DE L'ÉLECTRICITÉ DANS LES INDUSTRIES AGRICOLES

Conférence faite à la séance de clôture du premier Congrès International des applications de l'électricité à l'Agriculture. Reims, 26 octobre 1912 (Présidence de M. Armand GAUTIER, membre de l'Institut, délégué par l'Académie des Sciences).

Messieurs,

Le rôle de l'Electricité en agriculture ne se borne pas seulement à accroître le rendement des récoltes en activant la végétation et à produire économiquement la force motrice nécessaire aux différentes machines de culture : elle est encore susceptible d'autres applications qu'il importe aux agriculteurs de connaître et de savoir mettre à profit. Les dépenses qu'elles nécessitent sont, en effet, peu élevées et, par un emploi judicieux, elles peuvent être la source de bénéfices importants. Il n'est donc pas sans intérêt de les étudier avec quelques détails.

I. — Stérilisation des liquides et produits destinés à l'alimentation : eau, lait, beurre, etc.

La stérilisation des eaux et des moyens pratiques de la réaliser économiquement intéresse au plus haut point les agriculteurs et les éleveurs. Elle est du reste nécessitée par les infiltrations malsaines qui avoisinent la plupart des exploitations agricoles et dues à la présence de matières contaminées : purin, déchets provenant de porcheries, fromageries, caséineries, etc.

Les procédés les plus connus et les plus employés actuellement ne sont pas exempts d'inconvénients et de défauts :

La *filtration simple* donne des résultats généralement mauvais ou tout au moins inconstants ; les filtres à bougie n'ont pas une sécurité suffisante ni un débit assez élevé.

La *stérilisation par la chaleur*, avec ou sans ébullition, est d'un prix élevé et nécessite des installations généralement compliquées. On sait du reste que dans l'eau en ébullition beaucoup de microbes sont seulement endormis et non tués ; en outre, le liquide perd la presque totalité de l'air qu'il tient en dissolution ou emprisonné ; il est ainsi d'une digestion difficile : on dit que l'eau est lourde.

Les *méthodes chimiques* (emploi des sels de manganèse, du sulfate d'alumine) présentent l'avantage d'être rapides, peu coûteuses et d'agir avec une grande efficacité. Leur seul inconvénient est de donner parfois à l'eau une teinte et un goût désagréables.

Quant aux *procédés mixtes*, qui résultent de l'emploi simultané des produits chimiques et de la filtration (sable et chlorure de chaux, sable et sulfate d'alumine), ils donnent de bons résultats au point de vue de la destruction des microbes, mais sont trop compliqués pour de petites installations et un usage journalier.

L'*ozone* ne peut s'appliquer utilement et économiquement que dans les grandes exploitations ou les usines centrales : elle nécessite en effet un matériel encombrant et coûteux et une surveillance à peu près constante. Les procédés actuels (Otto, Siemens et Halske, Andréoli, Abraham et Marmier, Séguy, Frise, Labbé, etc.) sont néanmoins des plus satisfaisants, à en juger par les grandes installations (usines de Saint-Maur, de Nice, d'Amsterdam) qu'ils ont permis de réaliser dans ces dernières années. Néanmoins de semblables installations ne sont pas possibles dans une ferme ni même dans une grande exploitation agricole où la conduite des machines n'est généralement pas confiée à des spécialistes.

* * *

Nous arrivons aux procédés les plus en faveur actuellement, ceux qui utilisent les *rayons ultra-violet*s. Ils ont déjà fait l'objet, non seulement de nombreuses expériences, mais aussi d'essais pratiques qui leur ont permis de lutter victorieusement avec les méthodes connues jusqu'à ces derniers temps. Toutefois, pour faciliter la compréhension des appareils qui utilisent les rayons ultra-violet, il est nécessaire d'entrer dans quelques détails techniques relatifs à leur nature et à leur mode de production. La description des procédés imaginés pour les faire agir avec le maximum de rendement se comprendra ensuite plus facilement.

La lumière solaire, ou lumière blanche, qui nous éclaire et nous chauffe, n'est pas uniquement composée de rayons visibles, c'est-à-dire de ceux qui nous permettent de voir les objets situés autour de nous ; elle contient aussi des rayons invisibles, non perceptibles par notre œil, mais dont il est facile de démontrer l'existence par l'expérience suivante :

Faisons arriver un faisceau de lumière blanche sur un prisme et recevons sur un écran le spectre produit par la réfraction de ses différents rayons. Nous obtenons le spectre solaire classique avec ses différentes couleurs : violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé, rouge. Tous ces rayons sont nettement visibles sur l'écran. Certaines substances fluorescentes (éosine, fluorescéine, nitrate d'urane) deviennent lumineuses si on les place sur le trajet de ces différents rayons. Mais ce qu'il est curieux de constater au point de vue qui nous occupe, c'est que ces substances fluorescentes, invisibles dans l'obscurité, continuent à être lumineuses au delà du spectre, après le violet, c'est-à-dire dans une région où notre œil ne perçoit aucune couleur, aucune luminosité. C'est donc qu'il y a dans cette région des rayons analogues à ceux qui rendent lumineuses les substances fluorescentes dans la portion visible du spectre. Et, en fait, si nous promenons un tube rempli de nitrate d'urane dans l'*ultra-violet* (c'est ainsi qu'on désigne la région du spectre située au delà du violet), ce sel acquiert une fluorescence marquée, mais cette dernière cesse de se produire si nous continuons à déplacer le nitrate d'urane au delà de l'*ultra-violet*.