



This electronic version (PDF) was scanned by the International Telecommunication Union (ITU) Library & Archives Service from an original paper document in the ITU Library & Archives collections.

La présente version électronique (PDF) a été numérisée par le Service de la bibliothèque et des archives de l'Union internationale des télécommunications (UIT) à partir d'un document papier original des collections de ce service.

Esta versión electrónica (PDF) ha sido escaneada por el Servicio de Biblioteca y Archivos de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) a partir de un documento impreso original de las colecciones del Servicio de Biblioteca y Archivos de la UIT.

(ITU) للاتصالات الدولي الاتحاد في والمحفوظات المكتبة قسم أجراه الضوئي بالمسح تصوير نتاج (PDF) الإلكترونية النسخة هذه والمحفوظات المكتبة قسم في المتوفرة الوثائق ضمن أصلية ورقية وثيقة من نقلًا.

此电子版（PDF版本）由国际电信联盟（ITU）图书馆和档案室利用存于该处的纸质文件扫描提供。

Настоящий электронный вариант (PDF) был подготовлен в библиотечно-архивной службе Международного союза электросвязи путем сканирования исходного документа в бумажной форме из библиотечно-архивной службы МСЭ.

RECOMMANDATIONS

concernant la protection des câbles souterrains contre la corrosion

Texte approuvé par la XV^{me} Assemblée Plénière
du Comité Consultatif International Téléphonique C. C. I. F.
(Paris, 1949)



COMITÉ CONSULTATIF INTERNATIONAL TÉLÉPHONIQUE
(C. C. I. F.)

Modifications et Additions

à apporter aux:

Recommandations concernant la protection des câbles souterrains contre la corrosion (Paris, 1949).

Recommandations pour la protection des câbles souterrains contre l'action des courants vagabonds provenant des installations de traction électrique (Firenze, 1951).

INDEX ALPHABÉTIQUE DES OUVRAGES DU CCIF RELATIFS
A LA CORROSION

Publié par l'Union internationale des télécommunications
Genève, novembre 1955



PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK

PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT

Modifications aux « Recommandations pour la protection des câbles souterrains contre l'action des courants vagabonds provenant des installations de traction électrique » (Firenze, 1951)

LE COMITÉ CONSULTATIF INTERNATIONAL TÉLÉPHONIQUE,

Considérant

que, depuis l'établissement des « Recommandations pour la protection des câbles souterrains contre l'action des courants vagabonds provenant des installations de traction électrique » (Firenze, 1951), il résulte des renseignements nouvellement recueillis que diverses corrections doivent être apportées au texte actuel,

Emet, à l'unanimité, l'avis

qu'il convient d'apporter au texte actuel des « Recommandations pour la protection des câbles souterrains contre l'action des courants vagabonds provenant des installations de traction électrique » (Firenze, 1951) les modifications suivantes:

1. Paragraphe 1.6.2, alinéa 15, page 5: remplacer le texte actuel de cet alinéa par le texte suivant:

« Cette méthode de protection n'impose pas une limitation des courants vagabonds (émis par le réseau de traction) aussi sévère que la précédente; cependant, l'emploi de cette méthode ne dispense pas les Organismes exploitant des réseaux de traction de tenir compte des recommandations du chapitre II, relatives à la construction et à l'entretien de ces réseaux; l'application de cette méthode de protection est d'autre part facilitée par la mise en œuvre, à plus ou moins grande échelle, des dispositions relatives aux canalisations que comporte l'application de la première méthode. »

2. Paragraphe 2.1, alinéa 24, page 7: remplacer la phrase sous *b*) par la phrase suivante:

« *b*) faciliter le retour du courant par les rails en assurant une faible résistance électrique de la voie et en disposant judicieusement le système de retour afin notamment de régulariser, dans la mesure du possible, la répartition du potentiel le long du réseau des rails. »

3. Paragraphe 2.2.3, alinéa 28, page 7: remplacer le début de cet alinéa par le texte suivant:

« En particulier, quand ces voies ferrées sont établies sur traverses en bois, les traverses doivent être saines et, si elles sont imprégnées, elles ne doivent pas l'être d'un produit leur donnant une conductibilité électrique sensible. Le ballast doit être propre... »

4. Paragraphe 2.2.3, alinéa 29, page 7: remplacer le texte actuel de cet alinéa par le texte suivant:

« Si les voies sont établies sur traverses en béton armé, il est nécessaire d'interposer une plaque isolante entre le rail et la traverse; on doit veiller que le ballast soit suffisamment épais et soigné, pour qu'il assure le meilleur isolement possible de la voie par rapport au sol.

» En outre, les vis de fixation des rails aux traverses en béton armé doivent être très bien isolées.

» Les prescriptions de l'alinéa 28 ci-dessus concernant le ballast doivent être également appliquées aux voies posées sur des traverses en béton armé.

» Il est préférable de ne pas utiliser les traverses métalliques dans les lignes électrifiées en courant continu. Dans le cas où l'on ne peut pas éviter ces traverses, il faut veiller que le ballast soit suffisamment épais et soigné parce qu'il assure le meilleur isolement possible de la voie par rapport au sol, cette condition étant d'autant plus impérative que la voie sur traverses métalliques ne s'accommode pas normalement de l'emploi de plaques isolantes entre le rail et la traverse. »

5. Paragraphe 2.2.4, alinéa 35, page 8: supprimer cet alinéa.

6. Paragraphe 2.5, alinéa 63, page 11:

Pour tenir compte de certaines modalités d'application de la protection électrique, remplacer dans la dernière phrase « cette disposition est incompatible... » par « cette disposition peut être incompatible... »

7. Paragraphe 5.3.2.1, alinéa 158, page 22: ajouter après le texte actuel de cet alinéa la remarque suivante:

« *Remarque.* — L'attention est attirée sur le fait que certaines cellules redresseuses qui sont soumises à un courant presque toujours de même sens peuvent vieillir et devenir ainsi perméables aux courants de sens contraire; lors d'une inversion accidentelle du sens du courant, elles ne fonctionnent plus et ne jouent pas le rôle qu'on attendait d'elles. Il faut tenir compte de ce fait lorsqu'on se propose d'étudier un système de protection électrique avec cellules redresseuses. »

* * *

Avis n° 14 du Tome II du Livre Vert (p. 32)

*Modifications aux « Recommandations pour la protection contre la corrosion »
(Paris, 1949)*

LE COMITÉ CONSULTATIF INTERNATIONAL TÉLÉPHONIQUE,

Considérant

que, depuis l'établissement des « Recommandations concernant la protection des câbles souterrains contre la corrosion » (Paris, 1949), il résulte des renseignements nouvellement recueillis que l'alliage de plomb au calcium mentionné au chapitre IV des dites Recommandations n'a pas donné les résultats espérés;

que d'autre part quelques corrections doivent être apportées au texte actuel, Emet, à l'unanimité, l'avis

qu'il convient d'apporter au texte des « Recommandations concernant la protection des câbles souterrains contre la corrosion » (Paris, 1949) les modifications suivantes:

1. *Alinéa 1*, 2^{me} ligne: supprimer les mots: « chimique ou ».

Remarque. — Lorsque l'on procédera à une nouvelle édition des Recommandations il conviendra de revoir soigneusement la terminologie et les définitions du

paragraphe 1.1.2. Il faudra ensuite employer partout la terminologie finalement adoptée.

2. *Alinéa 7*, pages 5 et 6, au bas de la page 5 et au haut de la page 6, supprimer les mots: « *et les chlorures* ».

3. *Alinéa 36*: ajouter à la suite de cet alinéa le texte suivant:

« Ce réactif se prépare en dissolvant 3 g de tétraméthyl-diamino-diphénylméthane dans une solution de 50 g d'acide acétique glacial et 50 g d'eau.

» Il s'emploie de la manière suivante: on met le réactif en contact avec les produits de corrosion du plomb en se plaçant, de préférence, de manière à pouvoir observer sur un fond blanc la coloration éventuelle due à la réaction; lorsque cela n'est pas possible, on met le réactif directement sur l'enveloppe du câble. En présence du peroxyde de plomb, on obtient une coloration bleue très intense. Si le peroxyde de plomb n'existe qu'à l'état de traces, un certain temps est nécessaire pour que la coloration se produise; dans ce cas, avant de se prononcer sur la présence ou sur l'absence de peroxyde de plomb, il convient d'attendre environ 5 minutes. La réaction est très sensible.

» Il convient toutefois d'attirer l'attention sur le fait que cette méthode n'est pas absolument sûre et que, lorsqu'elle ne donne pas de coloration, on ne peut pas en conclure qu'il n'y a pas corrosion électrolytique. »

4. *Alinéa 38*: modifier de la façon suivante les deux alinéas de la case de gauche du tableau:

1^{er} alinéa, 2^e phrase: au lieu de: « Dans des cas graves... », lire: « Dans certains cas ».

2^e alinéa: lire: « Le produit de la corrosion se présente *souvent*... »

5. *Alinéa 128*: supprimer l'alliage H de plomb à 0,04 % de calcium.

6. *Alinéa 130*, 7^e et 8^e lignes, supprimer la phrase:

« La position de l'alliage H dans ce classement n'a pas été déterminée dans une série d'essais comparatifs. »

7. *Alinéa 134*, 6^e ligne, supprimer les mots: « et H ».

8. *Alinéa 142*, 1^{re} ligne, après le titre de l'alinéa, insérer le texte suivant:

« Grâce à la mise au point de procédés convenables de fabrication il est possible d'obtenir un produit ayant les propriétés suivantes: le polyéthylène... »

9. *Alinéa 143*: remplacer le texte actuel par le suivant:

« 4.3.3. Raccordement du polyéthylène. — La technique du raccordement des câbles à enveloppe de polyéthylène entre eux ou à des câbles à enveloppe de plomb n'est pas encore définitivement mise au point à l'heure actuelle. »

10. *Alinéa 256*: supprimer le paragraphe 2^o concernant l'application d'un lubrifiant constitué par une émulsion de silicate de sodium et de vaseline.

11. *Alinéa 273*, 5^e ligne, lire:

« soit à la ligne de rails (soutirage = drainage forcé), soit à une anode enterrée ou déversoir ».

12. *Alinéa 274*, dernière ligne, dans la parenthèse, au lieu de « élastique », lire: « classique ».

Index alphabétique des ouvrages du CCIF relatifs à la corrosion des enveloppes de câble :

On a utilisé dans cet index pour désigner les ouvrages du CCIF relatifs à la corrosion les abréviations suivantes :

- C** (Corrosion) = Recommandations concernant la protection des câbles souterrains contre la corrosion (Paris, 1949).
E (Electrolyse) = Recommandations pour la protection des câbles souterrains contre l'action des courants vagabonds provenant des installations de traction électrique (Firenze, 1951).
T II = Tome II du Livre Vert du CCIF (Genève, 1954).

	PAGES
<i>Alliages de plomb</i> (servant à la constitution des enveloppes)	C 20
<i>Anode réactive</i>	C 36, 37, 40
<i>Armures</i>	
— description	C 23
— continuité électrique (E al. 99)	E 15
<i>Artères de retour</i>	E 9
<i>Asphaltes</i> (utilisés pour les revêtements) — Spécification	C 27
<i>Bactéries</i>	C 13
<i>Barres collectrices</i>	E 9
<i>Bitumes</i> (utilisés pour les revêtements) — Spécification	C 27
<i>Ciment</i> (action corrosive)	C 33
<i>Cloisonnement</i>	E 15
<i>Corrosion</i>	
— chimique	C 5
	T II 31
— électrolytique	C 5, 6
	T II 29, 30
<i>Coup de feu</i> (C al. 15 et 16)	C 7, 8
<i>Courants telluriques</i> (C al. 304)	C 40
<i>Courants vagabonds :</i>	
Gêne apportée aux mesures d'isolement par les courants vagabonds	T II 95
Limitation des courants vagabonds	E 17
Origine des courants vagabonds	E 58
Protection contre les courants vagabonds	T II 29
Réduction des courants vagabonds	E 13
<i>Désagrégation intercrystalline</i> (C al. 297)	C 39
<i>Drain, drainage</i>	
— définition (E al. 136)	E 20
— description	E 22, 23, 61

		PAGES
<i>Electrodes impolarisables</i>		
— au calomel	E	39
— au chlorure de plomb	E	39
— au sulfate de cuivre	E	40
<i>Electrodes de mesure</i>	C	16, 17
<i>Enveloppe du câble</i>		
— constitution	C	20
— examen	C	9, 10
— isolement	E	14
<i>Folin-Denis (réactif de)</i>	C	29
<i>Goudrons de houille</i> (utilisés pour les revêtements)	C	26
<i>Joints isolants</i> (E al. 101 et suivants)	E	15
<i>Joints de rails</i> (mesure de la résistance)	E	51
<i>Matières plastiques</i> (servant à la constitution des enveloppes des câbles)	C	21
<i>Millon (réactif de)</i>	C	28
<i>Piles géologiques</i> (C al. 303)	C	40
<i>pH des sols et des eaux</i> (définition et mesure)	C	14, 15
<i>Phénol libre</i> (C al. 156)	C	24, 28
<i>Polarité des fils de contact</i>	E	10
<i>Prises de terre</i>	E	38
<i>Produits de corrosion</i> (examen).	C	9, 10
<i>Protection</i>		
— cathodique.	E	23
— chimique	C	34
— électrique	C	35
	E	16, 20, 60
<i>Recommandations:</i>		
Recommandations concernant la protection des câbles souterrains contre la corrosion	T II	31, 32
Recommandations pour la protection des câbles souterrains contre l'action des courants vagabonds (électrolyse) provenant des installations de traction électrique	T II	29, 30
<i>Revêtements</i>	C	23
<i>rH des sols et des eaux</i> (définition et mesure)	C	17, 18
<i>Sols</i> (terrains):		
Classification	C	12, 13
pH des sols	C	14
rH des sols	C	17, 18
<i>Soutirage électrique</i>	E	23, 61
<i>Trillat (réactif de)</i> (C al. 36)	C	10
Additions au texte de C	T II	32

	PAGES
<i>Traction électrique :</i>	
Electrolyse due au retour des courants de traction électrique	T II 31
Réseaux de traction électrique	C 17
<i>Trolleybus</i>	E 11
<i>Tube cuirasse</i>	E 45
<i>Ventilation :</i>	
Ventilation des chambres de tirage	T II 104, 11
Ventilation des conduites, galeries et chambres de tirage . .	E 32
<i>Voie de roulement</i>	E 7

RECOMMANDATIONS

concernant la protection des câbles souterrains contre la corrosion

Texte approuvé par la XV^{me} Assemblée Plénière
du Comité Consultatif International Téléphonique C. C. I. F.
(Paris, 1949)

PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK

PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT

RECOMMANDATIONS CONCERNANT LA PROTECTION DES CÂBLES SOUTERRAINS CONTRE LA CORROSION

PRÉAMBULE

Les présentes Recommandations ont été établies par le Comité Consultatif International Téléphonique en présence des Représentants de la Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques, de l'Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie Electrique, de l'Union Internationale des Chemins de fer et de l'Union Internationale de l'Industrie du Gaz, en vue d'éviter, autant que possible, les risques de corrosion des câbles de télécommunication à poser et, le cas échéant, pour étudier les mesures à prendre sur les câbles existants.

INTRODUCTION

1. — L'établissement de lignes en câbles représente l'immobilisation de capitaux importants en raison de la valeur propre des câbles et du prix de revient de leur pose. Une telle opération n'est envisagée que lorsqu'il est prévu que l'installation devra demeurer très longtemps en service. Les remaniements d'artères en câbles (changement d'itinéraire, modification des canalisations, remplacement des câbles) sont très difficiles et très onéreux et doivent être évités le plus possible. Enfin, tout dérangement de câbles de télécommunication affecte ordinairement un grand nombre de liaisons et apporte ainsi au service des perturbations extrêmement coûteuses. Il s'ensuit que le souci de mettre les câbles à l'abri de toute avarie, et notamment d'empêcher qu'ils soient dégradés par les corrosions, est une des considérations primordiales à faire intervenir lors de l'étude de projets d'établissement des lignes en câbles.

L'objet des présentes Recommandations concernant la protection des câbles souterrains contre la corrosion est de rassembler un certain nombre de renseignements généraux utiles pour conduire rationnellement une telle étude.

2. — Le premier chapitre est consacré à la définition des différents genres de corrosion auxquels sont exposés les câbles et à la description de leurs processus.

3. — Le chapitre II expose les connaissances actuelles au sujet des moyens divers permettant, lorsqu'un cas de corrosion est constaté, de déterminer quelle en est la nature et la cause probable, ce qui peut être utile pour le choix des dispositions conservatoires à adopter pour l'avenir.

4. — Assez généralement, l'agent corrodant des câbles souterrains est le terrain dans lequel ils sont installés: il y a donc intérêt à savoir comment on peut caractériser les sols au point de vue de leurs réactions physico-chimiques et biologiques, et comment on peut les classer en fonction de leur agressivité sur les canalisations métalliques. Tel est l'objet du chapitre III.

5. — Le chapitre IV est relatif à la constitution des enveloppes des câbles et à la résistance propre qu'elles peuvent offrir à la corrosion.

6. — Cette résistance étant généralement insuffisante, une pratique déjà ancienne s'est établie de renforcer dans certains cas la protection au moyen de revêtements, souvent associés à des armures, qui assurent, en outre, la protection mécanique des câbles. Toutefois, il s'est révélé, à l'usage, que la spécification de ces revêtements devait être spécialement étudiée pour que soit assurée la conservation de leur rôle protecteur, et pour que soit évitée une corrosion directe, ou une accélération de la corrosion due au milieu ambiant, provoquée par le revêtement lui-même. Des indications relatives à ce sujet sont données dans le chapitre V.

7. — La nécessité de réaliser des réseaux de câbles de télécommunication suffisamment souples, c'est-à-dire se prêtant aux extensions et aux remaniements moyennant les frais les plus réduits, conduit généralement à utiliser, à l'intérieur des agglomérations, des conduites ou des galeries dans lesquelles puissent être aisément tirés ou placés de nouveaux câbles. Même lorsque ce besoin ne se manifeste pas, l'utilité d'assurer la protection des câbles contre les dégradations mécaniques amène parfois à les installer dans des canalisations ou caniveaux de types divers. Ces modes de pose permettent d'éviter le contact du câble avec le sol et peuvent ainsi assurer une protection contre la corrosion, moyennant certaines précautions prises, d'une part, pour empêcher que les canalisations elles-mêmes n'aient un effet corrosif, d'autre part, pour qu'elles assurent effectivement l'éloignement des câbles et des agents de corrosion. Cette question est traitée dans le chapitre VI.

8. — Alors que les procédés de protection qui viennent d'être considérés tendent à éviter le contact des enveloppes des câbles avec les milieux corrosifs, d'autres procédés peuvent être envisagés qui consisteraient à empêcher ou, au moins, à ralentir la corrosion par une modification des conditions électriques ou chimiques de la réaction du milieu corrosif sur les enveloppes. Le chapitre VII contient quelques indications sommaires sur ces procédés.

9. — Enfin, le chapitre VIII est un résumé des précédents, rédigé sous la forme de conseils relatifs à l'établissement des lignes en câbles en vue de la protection contre la corrosion.

CHAPITRE I

DIFFÉRENTS GENRES DE CORROSIONS ET PROCESSUS DES CORROSIONS

1. 1. — CONVENTION DE DÉFINITIONS

- 1 1. 1. 1. — Par *corrosion*, on entend la destruction d'un métal (par transformation en divers composés) sous une action chimique ou électro-chimique.
- 2 1. 1. 2. — Dans le texte des présentes Recommandations:
- 3 — on entend, sous le nom de *corrosion chimique*, une corrosion se manifestant sans être accompagnée d'échange de courant entre cette enveloppe et le milieu ambiant, ou du moins telle que les zones anodiques et cathodiques sont si rapprochées les unes des autres que les courants mis en jeu ne peuvent être mesurés par les moyens techniques usuels;
- 4 — on entend, sous le nom de *corrosion électrolytique*, une corrosion accompagnée de la circulation d'un courant mesurable entre les zones anodiques et cathodiques qui sont éloignées les unes des autres. L'expression de corrosion électrolytique est employée quelle que soit l'origine de ce courant: courant vagabond provenant d'une installation électrique, courant dû aux différences des réactions s'exerçant entre l'enveloppe du câble et le milieu ambiant en contact avec elle, en des points éloignés les uns des autres (piles géologiques, etc. ...).

1. 2. — CORROSION CHIMIQUE

- 5 1. 2. 1. — La corrosion chimique est la destruction du métal due à l'attaque par des matières corrosives, telles que l'eau souterraine, l'eau d'égout, la chaux humide, les sels agressifs, etc. ... en contact avec le métal, cette attaque se poursuivant sans être stimulée par des forces électromotrices extérieures au système des corps réagissants. A la vérité, la corrosion chimique est un phénomène électrochimique: au contact du métal et d'une matière corrosive, se produit une force électromotrice de polarisation; en outre, des hétérogénéités de constitution du métal ou des milieux environnants (par exemple l'existence de piles locales de concentration, l'aération différentielle, des inclusions de corps étrangers dans le métal, etc.) donnent lieu à une circulation de courants locaux. En particulier, dans le cas des enveloppes de câbles en plomb ou alliage de plomb, il se forme des sels de plomb dans chaque zone anodique de la surface de l'enveloppe et des substances alcalines dans chaque zone cathodique correspondante; ces zones étant extrêmement rapprochées l'une de l'autre, l'interdiffusion des produits de corrosion devient possible; il en résulte alors une réaction des uns sur les autres, et cela peut contribuer à déterminer le processus ultérieur de l'attaque. Dans ces conditions, les différences de potentiel qui peuvent intervenir sont relativement faibles et, par conséquent, la formation de produits de corrosion qui ne peuvent se former qu'en cas de grandes différences de potentiel se trouve exclue.
- 6 1. 2. 2. — Lors du premier stade de la corrosion chimique, la combinaison des anions contenus dans l'électrolyte avec le plomb des surfaces anodiques donne naissance à des sels tels que chlorure, sulfate, nitrate de plomb, etc. ...; en même temps, se forme sur les surfaces cathodiques une substance alcaline. Lors du second stade, la diffusion l'un vers l'autre du sel de plomb et de la substance alcaline donne naissance à des sels basiques insolubles ou très peu solubles. Ceux-ci peuvent former à proximité du métal un dépôt protecteur susceptible de ralentir la corrosion ultérieure; mais souvent ce dépôt assurera un recouvrement insuffisant et cela augmentera l'aération différentielle et par suite favorisera un accroissement de la corrosion.
- 7 1. 2. 3. — On ne peut pas conclure facilement d'après une analyse de l'eau en contact avec le plomb si une corrosion grave est probable, parce qu'il est possible que ce soient des considérations secondaires, telles que le comportement des colloïdes, qui gouvernent réellement cette action. A titre d'indication générale, on peut dire que les nitrates, les nitrites et les

chlorures ont tendance à augmenter l'action corrosive de l'eau, tandis que les sulfates, les carbonates et les silicates la diminuent. Les colloïdes, la vase, etc. ... contenus dans l'eau peuvent avoir pour effet d'accélérer ou de ralentir le processus de la corrosion.

- 8 1. 2. 4. — On peut rencontrer un type particulier de corrosion chimique associé à la présence de béton ou de ciment, et dû à ce que l'eau extrait, par « lessivage » du béton ou du ciment, des substances alcalines (principalement de la chaux). Ce type de corrosion peut donner lieu à une attaque très active du plomb et donne toujours un produit de corrosion rouge qui consiste en protoxyde de plomb.
- 9 1. 2. 5. — On peut rencontrer encore une autre forme spéciale d'attaque du plomb caractérisée par la formation de céruse (carbonate basique de plomb). Cette corrosion est causée par la présence de traces d'acides organiques (en général de l'acide acétique) produits par la décomposition progressive de matières organiques telles que le jute; ces acides peuvent se trouver également dans certains bois, tels que le chêne et le pin Douglas; ils peuvent se produire sous l'action de la chaleur sur certains composés ligneux.
- 10 1. 2. 6. — Il a été constaté des corrosions d'enveloppes de plomb, en présence de substances phénoliques contenues dans les matières d'imprégnation du revêtement. Toutefois, le mécanisme de ces corrosions n'est pas encore bien connu et paraît dépendre dans une très large mesure des conditions locales.

1. 3. — CORROSION ÉLECTROLYTIQUE

- 11 1. 3. 1. — Dans les cas les plus graves d'électrolyse, la corrosion est due à ce que des courants vagabonds provenant de quelque installation électrique extérieure entrent dans l'enveloppe du câble et s'en échappent. L'origine la plus fréquente de cette corrosion est l'existence d'un réseau de traction électrique à courant continu (tramways ou chemins de fer) avec retour partiel du courant par le sol, ou d'un réseau de distribution d'énergie électrique en courant continu présentant un isolement défectueux. Les courants vagabonds pénètrent dans les enveloppes de câbles et en sortent parce que ces systèmes produisent des différences de potentiel entre divers points du sol et que les enveloppes de câbles se comportent comme des conducteurs de faible résistance disposés entre ces points, recueillant le courant dans les zones cathodiques (par rapport au milieu ambiant) et le laissant échapper dans les zones anodiques. Dans les cas d'électrolyse, il est possible que la différence de potentiel entre l'enveloppe et l'électrolyte, c'est-à-dire le sol et l'eau entourant le câble, soit grande ou faible; en conséquence, il peut se former dans certains cas des produits de corrosion qui sont caractéristiques de faibles différences de potentiels, et dans d'autres cas, on rencontrera des produits qui ne peuvent se former que sous de grandes différences de potentiel.
- 12 1. 3. 2. — Habituellement, les dommages aux enveloppes de plomb ou d'alliages de plomb et aux armures en feuillards sont observés seulement dans les zones anodiques. Un type spécial, mais peu fréquent, d'électrolyse peut, toutefois, se produire dans les zones cathodiques quand l'électrolyte contient une proportion anormale de sels de sodium ou de calcium; cela est dû au caractère amphotère des oxydes de plomb, qui ont, à la fois, des propriétés basiques et des propriétés d'acide faible: quand la densité de courant est grande, il peut se former de la soude caustique ou de la chaux, qui réagit sur le plomb pour donner des plombites de sodium ou de calcium.
- 13 1. 3. 3. — D'un autre côté, une circulation de courants dans le réseau de câbles peut être provoquée par une diversité de constitution de l'alliage dont est faite l'enveloppe des câbles dans différentes sections, mais aussi le plus souvent par une diversité de nature des sols dans lesquels les câbles sont posés. Ces hétérogénéités donnent naissance à de petites différences de potentiel qui font circuler, entre l'enveloppe des câbles et la terre, des courants, généralement permanents et stables, et parfois très faibles. Dans de tels cas, les zones anodiques sont, en général, très éloignées des zones cathodiques et, bien qu'il n'y ait pas de force électromotrice d'origine extérieure, la corrosion présente un caractère voisin de celle qui est due à l'électrolyse produite par des courants vagabonds intenses. Cependant, il peut se rencontrer des conditions telles que les zones anodiques et cathodiques sont peu éloignées les unes des autres, de sorte qu'une interdiffusion des produits de corrosion est possible, ce qui entraîne la formation de produits secondaires susceptibles de modifier le processus de l'attaque. A la limite, on aboutit au cas de la corrosion chimique.

1.4. — REMARQUES

- 14 1.4.1. — On doit distinguer, des détériorations précédemment mentionnées, les effets de désagrégation intercristalline qui se manifestent quand une enveloppe de câble est soumise pendant une longue durée à des efforts mécaniques alternés (oscillations longitudinales, transversales ou oscillations de torsion) ou à d'importantes variations périodiques de température.
- 15 1.4.2. — Une autre forme d'avarie d'origine électrique est celle que l'on appelle d'habitude un « coup de feu » (burn-out), qui se produit quand il y a eu une très forte fuite de courant dans la région considérée et que ce courant a eu tendance à pénétrer dans l'enveloppe du câble, ou à en sortir, à travers une petite surface localisée. Cette forme de dommage est tout à fait différente des autres, car il y a des traces d'échauffement, et peut-être de formation d'un arc électrique.
-

MOYENS DE DISTINGUER LES DIFFÉRENTS GENRES DE CORROSION

2. 1. — GÉNÉRALITÉS

- 16 2. 1. 1. — Bien qu'il ne soit pas toujours possible de déterminer avec une certitude absolue, par des essais effectués sur l'enveloppe du câble, la cause d'un exemple particulier de corrosion, il arrivera, dans la majorité des cas, que l'examen visuel, microscopique et chimique d'un spécimen de câble établira si ce câble a été endommagé par corrosion chimique ordinaire, par attaque alcaline, par électrolyse, par désagrégation intercristalline ou par « coup de feu » (burn-out) électrique.
- 17 2. 1. 2. — L'identification des différents genres de corrosion est basée sur les phénomènes chimiques suivants:
 - 18 1° Les produits primaires de l'électrolyse, et aussi ceux de la corrosion chimique, en présence d'eaux souterraines normales, sont le chlorure de plomb et, à un moindre degré, le sulfate de plomb.
 - 19 2° L'action subséquente des eaux souterraines sur le chlorure de plomb consiste à l'hydrolyser et à le transformer en chlorure basique de plomb et en chlorocarbonate de plomb. Ultérieurement, l'action de l'eau a tendance à produire du carbonate basique de plomb.
 - 20 3° Normalement, il ne se forme pas de peroxyde de plomb au cours de la corrosion chimique du plomb; ce corps peut être produit par l'électrolyse pourvu qu'il s'établisse entre le plomb et l'électrolyte une différence de potentiel assez élevée. Dans des eaux de composition normale, il ne se forme certainement pas de peroxyde de plomb, quand cette différence de potentiel est inférieure à un volt. Cette règle ne s'applique plus en milieu alcalin.
 - 21 4° Il a été établi que les eaux ordinaires, contenant des chlorures et des sulfates, ne corrodent pas le plomb d'une façon grave, et que d'autres agents sont nécessaires. Les nitrates et les nitrites, qui peuvent provenir des eaux d'égout et des engrais (naturels et artificiels), sont des agents activants et, quand on en trouve dans les produits de corrosion, ils indiquent que l'hypothèse d'une corrosion chimique est probable.
 - 22 5° Le produit de corrosion formé par des eaux alcalines, par exemple celles qui ont été en contact avec du béton frais, est une forme allotropique cristalline rouge du protoxyde de plomb.
- 23 2. 1. 3. — Il a été établi que le produit de corrosion, à forte teneur en chlore, engendré par l'électrolyse n'est pas modifié rapidement par l'eau souterraine tant que les conditions de l'électrolyse persistent. Si toutefois les conditions qui donnent lieu à l'électrolyse changeaient et qu'il n'y ait pas de différence de potentiel anormale entre l'enveloppe de plomb et l'eau, le produit de corrosion déjà formé perdrait rapidement du chlorure et, au bout de peu de temps, consisterait essentiellement en sulfate ou en carbonate basique de plomb, contenant seulement une petite proportion (par exemple 1%) de chlore.
- 24 2. 1. 4. — Une autre aide dont on dispose dans le diagnostic de la corrosion réside dans le caractère de l'attaque; l'électrolyse a tendance à produire des cavités à parois abruptes ou des sillons, tandis que la corrosion chimique tend à se répartir plus uniformément et à produire des cratères en forme de soucoupe. L'électrolyse a tendance à laisser des fissures intercristallines qui ne sont pas courantes dans le cas de la corrosion chimique.
- 25 2. 1. 5. — Il faut utiliser avec discernement tous les renseignements indiqués ci-dessus, parce que la frontière entre la corrosion chimique et la corrosion électrolytique est imperceptible et que des conditions locales, telles que la composition de l'eau souterraine sont susceptibles d'avoir une profonde influence sur le caractère de l'attaque et sur la composition des produits de corrosion; chaque fois que c'est possible on devrait aussi examiner l'eau. La pré-

sence d'eau d'égout ou d'engrais indique la possibilité d'une attaque chimique, mais on doit toujours examiner ce point en liaison avec l'analyse des produits de corrosion. Plus la teneur en chlore de l'eau est élevée, plus la teneur en chlore du produit de corrosion devra être élevée pour indiquer qu'il y a électrolyse; par exemple, avec une eau ayant une teneur en chlore de 100 millièmes, un produit de corrosion contenant plus de 1% de chlore indiquerait qu'il y a probablement électrolyse, mais avec l'eau de mer (contenant 2% de chlore combiné) on a trouvé de la phosgénite (chlorocarbonate de plomb contenant 13% de chlore combiné) dans les produits de corrosion chimique.

2. 2. — MÉTHODE D'EXAMEN

26 On recommande la méthode d'examen suivante:

27 2. 2. 1. — *Examen de l'eau.* — Faire une analyse quantitative ou semi-quantitative, particulièrement pour déterminer les quantités de chlore, de nitrates, de nitrites, d'ammoniaque et de boues organiques ou autres. Déterminer la valeur du pH (voir chapitre III).

2. 2. 2. — *Examen de l'enveloppe du câble.*

28 2. 2. 2. 1. — Enlever toute la graisse en lavant avec un solvant tel que le benzène, le pétrole ou le trichloréthylène. Un dégraissage à la vapeur est excellent, mais on doit l'accompagner d'un nettoyage avec un chiffon propre imbibé de solvant. Examiner avec un microscope à faible grossissement (un microscope du type binoculaire donnant une image stéréoscopique convient très bien) et prélever, de préférence dans les cavités, un échantillon typique du produit de corrosion. Il est possible que cet échantillon soit gras en dépit de la façon dont on a nettoyé le câble; laver avec du benzène chaud ou de l'éther de pétrole, et sécher.

29 2. 2. 2. 2. — Etudier le caractère du métal dans les cavités ou les cratères. S'il est nécessaire de nettoyer la surface de ce métal, un réactif convenable est l'acétate acide d'ammonium, préparé comme il suit:

acide acétique concentré	100 millilitres
ammoniaque concentrée	95 millilitres
eau	100 millilitres

30 Ajouter l'ammoniaque à l'eau, et ajouter ensuite l'acide acétique en agitant constamment. Ce réactif doit donner une réaction acide au papier de tournesol quand il vient d'être préparé; il se conserve indéfiniment.

31 A chaud, il n'a qu'une action insignifiante sur le plomb, mais dissout immédiatement l'oxyde, le carbonate, le chlorure et le sulfate de plomb.

32 2. 2. 2. 3. — Une goutte de ce réactif, appliquée à la partie à examiner, la débarrassera généralement des résidus de corrosion sans modifier le caractère de la surface du plomb. On doit enlever le réactif par rinçage à l'eau, puis rincer à l'alcool ou à l'acétone pour sécher le métal. Pendant que l'on procède à cet examen, il est commode d'étudier le produit de corrosion qui se trouve dans les cavités, en notant particulièrement s'il est blanc et volumineux (céruse = carbonate basique de plomb), s'il se présente sous forme d'aiguilles blanches (qui peuvent être du chlorure de plomb) ou de cristaux translucides du système quadratique (phosgénite = chlorocarbonate de plomb). On devrait aussi noter s'il y a des produits de corrosion rouges ou bruns.

2. 2. 3. — *Examen du produit de corrosion.*

33 2. 2. 3. 1. — Le produit de corrosion prélevé sur l'enveloppe du câble sera probablement mélangé, dans une proportion inconnue, d'impuretés telles que débris de plomb, sable, argile, etc. . . . et l'on a trouvé commode la méthode d'analyse suivante.

34 Prendre un échantillon de masse connue — par exemple 0,1 gramme — et le dissoudre dans l'acétate acide d'ammonium bouillant (voir ci-dessus). Si l'échantillon a été réduit en poudre dans un mortier d'agate avant de le peser, il suffira de le faire bouillir doucement pendant 5 minutes avec 10 millilitres d'acétate d'ammonium. Diluer avec 10 millilitres d'eau chaude et filtrer à travers un creuset de Gooch taré. Sécher et peser le résidu insoluble. Diluer

le filtrat jusqu'à obtenir un volume de 100 millilitres et déterminer les proportions de chlorure, de sulfate, de nitrate et de plomb par la méthode des parties aliquotes. Si on le désire, on peut déterminer séparément la teneur en carbonate sur l'échantillon primitif en employant l'acide perchlorique et une des méthodes admises.

35 Ces analyses devraient permettre de calculer la composition du produit de corrosion exprimée en proportions relatives de protoxyde de plomb, de carbonate basique de plomb, de sulfate de plomb, de chlorure de plomb et de chlorocarbonate de plomb. Il est inhabituel de trouver plus que des traces de nitrate ou de nitrite, et d'habitude c'est sur de nouveaux échantillons qu'on fait dans les meilleures conditions des essais pour déceler leur présence.

36 On devrait faire un essai sur le produit de corrosion pour déceler la présence de peroxyde de plomb, en employant le réactif de Trillat (acétate de tétraméthyl-diamino-diphényl-méthane).

37 2. 2. 3. 2. — Dans beaucoup de cas, on peut abrégier les méthodes d'essai décrites ci-dessus en employant des méthodes semi-quantitatives, au lieu des méthodes strictement quantitatives qui seraient nécessaires pour permettre de calculer la composition du produit de corrosion. Les analyses nécessaires se prêtent bien, également, à l'emploi de l'analyse semi-microchimique.

38 2. 2. 3. 3. — Il devrait être possible de déterminer la cause de la corrosion d'après les résultats des examens décrits ci-dessus, et le tableau suivant peut être utile en indiquant les causes de quelques-uns des effets les plus usuels.

2. 2. 3. 3. 1. — *Caractère de l'attaque.*

Indiquant l'électrolyse	Indiquant la corrosion chimique
Cavités à parois abruptes, quelquefois creusées en sape, et longs sillons corrodés dans le métal. Les cavités peuvent être réparties au hasard ou se succéder suivant des lignes droites le long du câble. Attaque cristalline.	Attaque plus uniforme et plus superficielle, dans laquelle d'habitude les limites des cristaux ne sont pas atteintes de dégâts plus importants. Habituellement, les cavités ne sont pas creusées en sape et toutes celles qui peuvent se former ont tendance à être du type peu profond et en forme de soucoupe.

2. 2. 3. 3. 2. — *Composition et caractère du produit de la corrosion.*

Indiquant l'électrolyse	Indiquant la corrosion chimique
Le produit de la corrosion contient une forte proportion de chlorures et de sulfates. Dans des cas graves, on peut trouver du peroxyde de plomb. Le produit de la corrosion se présente sous forme de cristaux humides transparents ou d'aiguilles blanches.	Le produit de la corrosion est essentiellement du carbonate de plomb, du carbonate basique de plomb ou du protoxyde de plomb (rouge orange). La présence de peroxyde de plomb est rare, mais on peut déceler des nitrites (qui donnent, eux aussi, une coloration avec le réactif de Trillat). Le produit de la corrosion est opaque et pulvérulent ou consiste en protoxyde de plomb.

2. 2. 3. 3. 3. — *Composition de l'eau souterraine.*

Indiquant l'électrolyse	Indiquant la corrosion chimique
Eaux souterraines neutres propres ne contenant que des quantités normales de chlorures, de carbonates et de sulfates, essentiellement exemptes de matières organiques, d'ammoniaque ou d'azote sous d'autres formes.	Eaux acides ou alcalines, valeur du pH extérieure à l'intervalle habituel de 6,5 à 8,5. Forte concentration de chlorure, présence d'azote sous une forme quelconque, eau d'égoût ou eau contenant du purin.

CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES DES SOLS**AVANT-PROPOS**

39 Les phénomènes de corrosion de structures métalliques enfouies dans le sol sont extraordinairement complexes. Il n'est pas encore possible actuellement de fournir des indications exactes sur l'agressivité ou la non-agressivité des différents terrains. Les principales difficultés résident dans le fait qu'il n'est pas possible d'imiter les conditions naturelles au laboratoire. Des recherches approfondies dans lesquelles l'observation du terrain jouera le rôle principal permettront peut-être d'arriver à une conclusion définitive. L'exposé qui suit doit être considéré comme un simple guide.

3.1. — GÉNÉRALITÉS**3.1.1. — Aperçu d'ensemble.**

40 Les dernières découvertes montrent que, dans la corrosion chimique des structures métalliques enfouies dans le sol, c'est la constitution du terrain qui est d'une importance capitale et non la composition des métaux, et que les propriétés physiques ont une influence plus grande que les propriétés chimiques et bio-chimiques.

41 Chaque terrain représente un système de dispersion à deux phases: les particules du sol et les eaux souterraines. C'est sur les surfaces limites de ces deux phases que se manifestent les principales réactions superficielles. On distingue, suivant les dimensions des particules du sol, différentes classes de dispersion.

42 Pour les phénomènes physico-chimiques (absorption, ionisation, combinaison avec l'eau, vitesse d'infiltration, aération), tous les groupes de dispersion ont de l'importance.

43 Les attaques corrosives peuvent être:

- a) purement inorganiques,
- b) activées par des facteurs biogénétiques,
- c) purement biogénétiques.

44 Les corrosions causées entièrement ou partiellement par des facteurs biogénétiques sont dues à l'activité des bactéries du sol.

3.1.2. — Indications spéciales.

45 a) L'aération a une grande importance car le renouvellement de l'air dans les particules de terrain voisines conduit à la formation de produits de corrosion. Beaucoup de techniciens admettent que l'aération différentielle est la cause primordiale de la corrosion souterraine.

46 b) Un des critères de l'agressivité des terrains est leur conductivité électrique. Les terrains à faible résistivité sont plus agressifs que les terrains à forte résistivité. Dans les terrains mauvais conducteurs, il y a peu de parties ionisantes. La conductivité caractérise aussi la teneur en humidité et la concentration d'ions hydrogène. D'après certains auteurs, les terrains ayant une résistivité de moins de 500 ohms-centimètres sont corrosifs. Dans les terrains acides ayant une résistivité supérieure à 1000 ohms-centimètres, il y a peu de rapport entre la résistivité et le phénomène corrosif. Dans les terrains basiques, ce phénomène dépend beaucoup plus de la résistivité que dans les terrains acides.

47 c) La teneur en sel des terrains joue un rôle, car, si l'on plonge entièrement la structure métallique menacée — canalisations ou câbles — dans une solution fortement concentrée,

le risque de corrosion est moins grand que si on la plongeait dans une solution à faible concentration, du fait que, dans le premier cas, l'apport d'air est entravé dans une plus forte proportion que dans le second.

- 48 d) L'homogénéité du sol est d'une importance capitale. Le passage d'un câble à travers un sol de constitution variable donne lieu à la formation d'éléments galvaniques (piles géologiques). On a constaté que ceux-ci peuvent engendrer, dans des conditions extrêmes, des courants pouvant atteindre 15 ampères et circulant sur des parcours supérieurs à 1 kilomètre.
- 49 e) La teneur des terrains en humidité intervient de la manière suivante: quand la teneur en humidité est nulle, le risque de corrosion est également nul. Il augmente en même temps que la teneur en humidité, jusqu'à ce que la quantité d'eau soit telle qu'elle entrave l'afflux d'oxygène, et diminue de nouveau en même temps que la quantité d'eau augmente, à condition que le câble en danger soit complètement immergé.

3.2. — LES DIVERS TERRAINS

3.2.1. — *Classification.*

50 On distingue:

- 3.2.1.1. — les terrains purement inorganiques;
- 3.2.1.2. — les terrains mélangés d'éléments organiques naturels;
- 3.2.1.3. — les terrains pollués.

3.2.1.1. — *Terrains purement inorganiques.*

51 Ils se divisent en:

- 3.2.1.1.1. — Terrains naturels à l'état primitif;
- 3.2.1.1.2. — Terrains naturels rapportés.

52 3.2.1.1.1. — *Terrains naturels à l'état primitif.* — Sont considérés comme tels ceux qui sont nés de la désagrégation des roches ou ont été formés par un processus naturel comme les moraines, les alluvions, les gisements de poussières volatiles ou par la destruction complète de substances organiques.

53 Le critère de l'agressivité des corps organiques est la solubilité de leurs parties constitutives. En conséquence, les terrains composés surtout de débris et de poussières de quartz, de spath et de mica ne sont pas corrosifs. Par contre, doivent être considérés comme dangereux, d'une manière générale, tous les terrains calcaires.

54 3.2.1.1.2. — *Terrains naturels rapportés.* — Les terrains naturels rapportés sont ceux qui ont été mélangés à main d'homme ou, d'une manière générale, dont l'état naturel a été troublé d'une façon quelconque, par exemple par des travaux de construction, et qui ne contiennent rien d'autre que les parties constitutives mentionnées sous 3.2.1.1.1. Ils sont plus dangereux que les terrains à l'état primitif, car les possibilités d'hétérogénéité et d'aération différentielle y sont plus grandes.

3.2.1.2. — *Terrains mélangés d'éléments organiques naturels.*

55 Ces terrains peuvent comporter une partie plus ou moins importante d'éléments organiques. Ce sont:

- 3.2.1.2.1. — les terres végétales;
- 3.2.1.2.2. — les marécages.

56 3.2.1.2.1. — *Les terres végétales.* — Les terres végétales (humus) comptent, avec les terrains calcaires inorganiques, parmi les terrains les plus dangereux. Leur agressivité provient de leur teneur en acides humiques et autres acides organiques, ainsi que de leur forte teneur en acide carbonique. Les bactéries du sol, en décomposant les substances organiques, renouvellent constamment les acides organiques et l'acide carbonique.

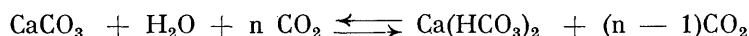
57 3.2.1.2.2. — *Les marécages et tourbières.* — Les marécages et tourbières sont agressifs à cause de leur teneur en acide des marais. Contrairement aux terrains d'humus, leur teneur en acide carbonique n'est pas très élevée.

3. 2. 1. 3. — *Terrains pollués.*

- 58 Ces terrains sont constitués par des terrains naturels à l'état primitif ou par des terrains naturels rapportés auxquels ont été apportées des substances qu'on ne trouve pas normalement dans le sol. Ces substances proviennent des écoulements des eaux industrielles ou des eaux usées, des précipitations provoquées par les gaz de la fumée des installations de chauffage, des engrais naturels et artificiels, des crasses et scories de hauts-fourneaux, des résidus miniers, etc. ... Les substances polluantes peuvent attaquer directement les parties métalliques, engendrer des produits de corrosion ou produire une aération différentielle.

3. 2. 2. — *Indications spéciales.*

- 59 a) Le principal agent donnant à l'eau souterraine ses propriétés agressives est l'acide carbonique. La preuve en est que le produit de la corrosion d'un câble sous plomb est souvent en grande partie ou entièrement du carbonate.
- 60 La quantité d'acide carbonique provenant de l'atmosphère est relativement petite. Plus grande est la quantité d'acide carbonique engendrée dans la partie organique du sol — racines des plantes et humus — en contact avec la partie inorganique par la respiration des racines, mais avant tout par la décomposition bactériologique de l'humus. Si la couche inférieure du sol contient suffisamment de carbonate alcalinoterreux, l'acide carbonique primitivement libéré est neutralisé, sinon l'eau conserve ses propriétés agressives. L'acide carbonique transforme la chaux en bicarbonate. Cette décomposition se poursuit jusqu'à ce qu'un équilibre soit atteint qui correspond à l'équation suivante:



- 61 Le second terme du deuxième membre de l'équation représente le gaz carbonique en excès dont l'effet est de rendre l'eau agressive.
- 62 b) En plus des acides organiques, la destruction des substances organiques par des bactéries peut aussi produire de l'acide sulfurique.
- 63 c) La présence d'eaux minérales naturelles constitue un danger particulier, soit à cause de leur teneur en acide carbonique, soit parce qu'elles contiennent d'autres agents agressifs.

3. 3. — CORROSION PRODUITE PAR DES BACTÉRIES

- 64 Les bactéries du sol peuvent faciliter ou provoquer directement la corrosion de trois manières différentes:

- 3. 3. 1. — en augmentant le taux d'acide carbonique;
- 3. 3. 2. — en engendrant de l'hydrogène sulfuré;
- 3. 3. 3. — en attaquant directement les métaux.

3. 3. 1. — *La production d'acide carbonique.*

- 65 La décomposition des substances organiques végétales ou animales dans le sol n'est due que pour une faible part à une action chimique; la plus grande part est due à l'activité des bactéries du sol. A côté des combinaisons de soufre, d'azote, de phosphore, etc. ..., qui se rencontrent en petites quantités, on trouve surtout de l'acide carbonique et de l'eau. L'importance de l'acide carbonique a déjà été relevée sous 3. 2. 2.

3. 3. 2. — *La production d'hydrogène sulfuré.*

- 66 Les expériences approfondies faites ces derniers temps ont montré que les bactéries réductrices de sulfate constituent un grave danger de corrosion. On en connaît deux espèces:

- a) la *microspira desulfuricans*,
- b) la *microspira Rubentschikii*.

- 67 Ces bactéries peuvent transformer en hydrogène sulfuré le sulfate contenu dans le milieu. Mais, pour que ces bactéries se développent, il faut que les conditions suivantes soient remplies:

- Emplacement favorable à l'anaérobiose.
- Présence de substances nutritives organiques appropriées (hydrates de carbone, alcools, amines, et autres acides organiques comme sources d'énergie, ainsi que composés d'azote, de phosphore, etc. ..., comme constituants de substances).

— Température favorable.

— pH favorable (compris entre 5,5 et 8,5).

68 Les agents de transformation sont, non seulement le soufre, mais aussi les acides de faible poids moléculaire et l'acide sulfurique.

69 Les parties de structures métalliques exposées à l'influence de l'hydrogène sulfuré et de l'acide carbonique sont attaquées par la formation de sulfure du métal en question.

70 Ces conditions se rencontrent le plus fréquemment dans les sols glaiseux et les marécages. On admet aujourd'hui la présence de bactéries réductrices de sulfate sur toute la terre.

71 Il semble probable qu'un grand nombre d'attaques corrosives constatées jusqu'à présent sont dues à l'action des bactéries réductrices de sulfate, mais n'ont pas été reconnues comme telles. La preuve d'une attaque bactériologique serait la présence de sulfure dans la pièce corrodée. Mais, du fait que, dans la corrosion de l'enveloppe de plomb d'un câble, le sulfure de plomb, sous l'influence de l'acide carbonique, se transforme facilement en carbonate de plomb, il arrivera très souvent que, lors de l'examen du défaut, on ne pourra plus constater la présence de sulfure.

3. 3. 3. — *Attaque directe des métaux par les bactéries.*

72 Jusqu'à ce jour, on ne connaît qu'une seule possibilité de destruction des métaux par les bactéries: l'attaque du fer par le bacterium gallionella ferruginea Ehrenbergii.

73 Cette bactérie forme dans l'eau une enveloppe qui recouvre le fer et dans laquelle l'oxygène contenu dans l'eau est détruit: l'eau devient alors agressive pour le fer. Le fer transformé en bicarbonate de fer est précipité sous forme d'hydrate ferrique (rouille) par la bactérie, qui gagne en énergie.

74 L'activité des bactéries du fer a ainsi moins d'importance pour les enveloppes de plomb des câbles que pour les canalisations en fer. Elle peut éventuellement acquérir une certaine importance en formant des éléments composés à partir du fer de conduites de câbles rouillées et du plomb de l'enveloppe des câbles.

3. 4. — CONCLUSIONS

75 Dans l'état actuel des connaissances, on peut tirer les conclusions suivantes:

76 3. 4. 1. — En règle générale, pour lutter contre la corrosion chimique des câbles souterrains, à enveloppe de plomb ou d'alliage de plomb, et à moins qu'on ne modifie les conditions électriques ou chimiques du milieu, il faut:

a) assécher à fond les conduites de câbles;

b) éviter les causes d'aération différentielle;

c) entourer la gaine de plomb des câbles d'un revêtement imperméable continu.

77 3. 4. 2. — Dans certains cas, il convient de prendre des mesures prophylactiques particulières en évitant les terrains dangereux, en asséchant de grandes étendues de terrain, etc. ...

78 3. 4. 3. — Pour lutter contre les attaques dues à des bactéries, on appliquera les règles énoncées sous 3. 4. 1 et 3. 4. 2. Pour détruire les bactéries, il n'est pas recommandable d'employer des produits chimiques, ceux-ci pouvant eux-mêmes être la cause d'attaques chimiques.

3. 5. — VALEUR DU pH DES SOLS ET DES EAUX ET MANIÈRE DE LE DÉTERMINER

3. 5. 1. — *Définition du pH.*

79 Le pH est le logarithme décimal de l'inverse de la concentration des ions d'hydrogène et sert de mesure de l'acidité effective.

80 L'échelle des pH s'étend de la valeur 0 à la valeur 14. Les liquides avec un pH inférieur à 7 ont une réaction acide, ceux avec un pH égal à 7 sont neutres, et ceux avec un pH supérieur à 7 ont une réaction alcaline.

81 La valeur du pH d'un liquide varie légèrement avec la température; pour chaque mesure, il est recommandé d'indiquer celle-ci. Au laboratoire, on travaille de préférence à une température de 20 degrés centigrade.

3.5.2. — Influence du pH.

- 82 Lors du processus de corrosion de structures métalliques enfouies dans le sol, la valeur du pH de l'eau contenue dans le sol ou du sol lui-même joue un rôle considérable.
- 83 En l'absence de tout effet d'électrolyse, les tuyaux et les plaques de fer (fonte ou fer homogène) placés dans un milieu humide dont le pH est inférieur à 8 sont en danger de corrosion. Dans les liquides dont le pH est supérieur à 8,5, on peut en revanche s'attendre en général à ce que ces structures ne soient pas corrodées.
- 84 Pour le plomb, les conditions sont moins clairement définies. Les tuyaux de plomb sont attaqués par les eaux qui, en présence de la teinture de tournesol, ne donnent pas de réaction alcaline, c'est-à-dire dont le pH est inférieur à 7,5 environ. Le caractère amphotère du plomb a pour conséquence que la surface des tuyaux de plomb peut aussi être attaquée dans des milieux à réaction fortement alcaline.
- 85 Il faut, toutefois, insister sur le fait que de nombreux autres facteurs, en partie plus importants que la valeur du pH, sont déterminants pour le danger de corrosion chimique que présentent les sols et les eaux (voir les chapitres précédents), et tous doivent être pris en considération.
- 86 Quand les canalisations métalliques échangent un courant électrique avec le sol, les conditions de la corrosion électrolytique dépendent à la fois des circonstances de ces échanges et de la valeur du pH; d'ailleurs, le passage du courant dans le sol entraîne une modification du pH du sol au voisinage des électrodes.

3.5.3. — Préparation des échantillons d'eau et de sol pour la détermination de la valeur du pH.

- 87 Il faut veiller à ce que les échantillons d'eau soient, dès le moment où ils sont prélevés et jusqu'au moment de la détermination du pH, conservés dans des récipients de verre complètement remplis et bien fermés, afin d'éviter qu'ils ne perdent ou n'absorbent des gaz.
- 88 Lorsqu'on doit déterminer la valeur du pH d'échantillons du sol, il faut, selon les recommandations de la Société Internationale de Pédologie, les sécher d'abord à l'air. L'échantillon est ensuite délayé dans l'eau distillée, dans la proportion de 1 à 2,5. La densité de l'acide carbonique doit être la même dans l'eau et dans l'air ambiant. Ce mélange est conservé dans un récipient fermé pendant 3 à 18 heures. Il faut, de temps à autre, l'agiter énergiquement.
- 89 Il est recommandé de conserver les échantillons dans des récipients soigneusement nettoyés en verre de la classe hydrolytique I.
- 90 Les mesures du pH peuvent être faites par la méthode colorimétrique dans le liquide clair qui s'est séparé du dépôt, ou par la méthode électrométrique dans le mélange trouble.

3.5.4. — Méthodes de mesure.

- 91 Pour déterminer la valeur du pH de liquides et de sols, on peut utiliser deux méthodes:
- a) la méthode colorimétrique;
 - b) la méthode électrométrique.

a) Méthode colorimétrique.

- 92 Le procédé colorimétrique repose sur la propriété qu'ont certaines matières colorantes de changer de couleur lorsqu'elles sont à l'état de solution. Ces changements indiquent la valeur du pH de la solution. Ils ont lieu habituellement dans un intervalle de 2 unités de pH environ.
- 93 On emploie ordinairement des solutions indicatrices que l'on ajoute à la solution à examiner. Un moyen pratique est d'utiliser des bandes de papier filtrant, imbibées de la solution indicatrice, qu'on plonge dans le liquide à examiner. La comparaison avec des couleurs témoins donne la valeur du pH.
- 94 On peut obtenir les couleurs témoins au moyen des indicateurs eux-mêmes en employant des solutions-témoins dont le pH a une valeur connue.

- 95 Lorsqu'on travaille avec des liquides indicateurs, on ajoute à 10 millilitres de l'échantillon d'eau 0,5 millilitres d'une solution indicatrice de concentration 0,04 à 0,2% et on compare la couleur obtenue avec la couleur des solutions-témoins, les couches de liquide étant d'égale épaisseur. Il faut veiller à compenser la coloration propre de l'eau.
- 96 Si l'on se sert d'un colorimètre, il faut procéder selon le mode d'emploi prescrit pour cet appareil.

b) Méthode électrométrique.

- 97 Dans la méthode électrométrique, la valeur du pH est calculée à l'aide de la force électromotrice fournie par une chaîne d'électrodes, constituée de l'électrode de mesure, de l'électrode de référence et d'une connexion électrolytique conductrice entre les deux électrodes. En général, on utilise comme électrode de référence une électrode saturée de calomel.
- 98 Les électrodes de mesure les plus employées sont l'électrode au quinhydrone, l'électrode de verre et, dans des cas spéciaux, les électrodes de platine-hydrogène ou d'antimoine. Les propriétés de ces électrodes et leurs limites d'emploi sont indiquées dans le tableau ci-après.
- 99 La différence de potentiel qui se manifeste entre les extrémités de la chaîne d'électrodes est mesurée au moyen d'un dispositif de compensation ou d'un voltmètre à lampes. Ce dernier est indispensable si l'on fait usage d'une électrode de verre. Connaissant la différence de potentiel, on peut déterminer la valeur du pH par le calcul, ou en se servant d'une courbe d'étalonnage obtenue expérimentalement au moyen de solutions-témoins.
- 100 Pour déterminer la valeur du pH, on dispose de divers appareils électriques de mesure.
- 101 Pour toutes les mesures, les parties constitutives de la chaîne d'électrodes doivent être reliées entre elles par un conducteur électrolytique. On peut utiliser à cet effet un siphon de KCl-Agar-Agar ou un pont de chlorure de potassium (KCl).
- 102 Dans toutes les méthodes électrométriques, l'appareil de mesure doit être étalonné avant chaque série de mesures.
- 103 *Mesure au moyen de l'électrode au quinhydrone.* — La solution est additionnée d'une pointe de couteau de poudre de quinhydrone p. a., et bien mélangée. L'électrode de platine soigneusement nettoyée est alors plongée dans la solution.
- 104 *Mesure au moyen de l'électrode de verre.* — On opère d'après le mode d'emploi remis avec l'électrode de verre.
- 105 *Mesure au moyen de l'électrode à hydrogène.* — On plonge une électrode de platine recouverte de noir de platine dans la solution et on fait passer sur l'électrode de l'hydrogène pur sous forme de fines bulles.
- 106 *Mesure au moyen de l'électrode d'antimoine.* — Avant chaque mesure, l'électrode d'antimoine doit être bien nettoyée mécaniquement.

3. 5. 5. — Précision des méthodes de détermination de la valeur du pH.

- 107 Les méthodes électrométriques sont plus exactes et plus précises que les méthodes colorimétriques. Elles donnent une mesure exacte et précise à 0,01 unité de pH près. La plus grande précision atteinte à l'aide des méthodes colorimétriques est de 0,05 unité de pH.
- 108 Au laboratoire, on travaille de préférence avec les méthodes électrométriques, tandis que les méthodes colorimétriques sont utilisées pour les mesures sur le terrain.

TABEAU 1

Propriétés des électrodes de mesure

Electrode	Intervalle de mesure en unités de pH	Sensibilité en unités de pH	Inutilisable dans	Erreurs de mesure occasionnées par
Electrode au quinhydrone	de 0 à 8,5	de 0,02 à 0,1	les solutions: — alcalines, — fortement réductrices, — fortement oxydantes.	— les impuretés du quinhydrone, — les matières albuminoïdes, — les intoxications par contact (As_2O_3 , H_2S , HCN , NH_3 , Cl_2 , Fe et métaux lourds) — les agents oxydants et réducteurs, — une concentration saline élevée.
Electrode de verre	de 1,5 à 9,5	de 0,02 à 0,05	les solutions fortement alcalines.	
Electrode de platine-hydrogène	de 0 à 14	de 0,01 à 0,1	les solutions: — réductrices, — oxydantes, — contenant de l'anhydride carbonique (CO_2) — contenant des métaux lourds.	— une saturation en hydrogène insuffisante, — la présence d'oxygène dans l'hydrogène, — les intoxications par contact, — les matières albuminoïdes.
Electrode d'antimoine	de 2 à 10	de 0,05 à 0,15	les solutions fortement alcalines et les solutions contenant du chlore et de l'hydrogène sulfuré (H_2S).	— les électrodes mal nettoyées, — les agents oxydants, — de nombreux composés organiques, — une concentration saline élevée.

3. 6. — VALEUR DU rH DES SOLS ET DES EAUX ET MANIÈRE DE LE DÉTERMINER

3. 6. 1. — Définition du rH.

109 Le rH est le logarithme décimal de l'inverse de la pression de l'hydrogène d'un système réducteur-oxydant (« redox »).

110 La valeur du rH, aussi bien que le « potentiel redox », servent de mesure de l'intensité réductrice d'un tel système. Le rH dépend de la valeur du pH de la solution. Il faut donc associer la valeur du pH aux données relatives à la valeur du rH.

111 Si l'on admet qu'au point neutre d'un « système redox » la pression de l'hydrogène doit être égale à celle de l'oxygène, on obtient par le calcul une valeur du rH de 27,3. Les « systèmes redox » dont le rH est inférieur à 27,3 sont réducteurs, ceux pour lesquels le rH est plus grand que 27,3 sont oxydants.

3. 6. 2. — Influence du rH.

- 112 On détermine la valeur du rH principalement dans le cadre de travaux biologiques, lorsqu'on doit fournir des indications sur la capacité de réduction ou d'oxydation de liquides, tissus de cellules, etc. . . . La valeur du rH du milieu ambiant joue un rôle important particulièrement pour les colonies de bactéries.
- 113 Dans le domaine de la corrosion, il faut tenir compte de la valeur du rH dans le cas d'attaques de structures métalliques par des bactéries.
- 114 Il semble cependant que la valeur du rH n'est pas seulement en rapport avec la corrosion biogène, mais qu'elle est importante également pour la détermination de l'agressivité des sols en général. Il semble que, la valeur du pH restant inchangée, la valeur du rH a une grosse influence sur la corrosion du fer, que chaque valeur du pH et chaque valeur du rH correspondent à une rapidité donnée de l'attaque accompagnée de dégagement d'oxygène, et que, pour chaque métal et chaque alliage, l'état de passivité est donné par une valeur minimum du rH.
- 115 Dans le cas du plomb, l'exactitude de cette assertion devrait être confirmée par des expériences.

3. 6. 3. — Préparation des échantillons d'eaux et de sols pour la détermination de la valeur du rH.

- 116 Pour la détermination de la valeur du rH, les échantillons doivent être préparés de la même manière que pour celle de la valeur du pH (voir 3. 5. 3.). Il faut cependant, si possible, les conserver sous un gaz inerte (azote).

3. 6. 4. — Méthodes de mesure.

- 117 La valeur du rH n'est pas déterminée directement, mais calculée à partir du « potentiel redox » selon la formule:

$$rH = \frac{E + 0,06 \text{ pH}}{0,03}$$

E représentant le « potentiel redox » de la solution à examiner et pH la valeur de son pH.

- 118 Pour mesurer les « potentiels redox », on utilise ici aussi, en principe, deux méthodes:
- a) la méthode colorimétrique,
 - b) la méthode électrométrique.

- 119 a) *La méthode colorimétrique.* — On ajoute à la solution des matières colorantes indicatrices appropriées, qui sont colorées de façon différente selon qu'elles se trouvent à l'état réduit ou oxydé. Comme on connaît le « potentiel redox » de toute une série de matières colorantes pour différentes valeurs du pH, on fait l'essai avec divers indicateurs jusqu'à ce que le « potentiel normal » de l'indicateur corresponde à celui de la solution à examiner, ce qu'on reconnaît au changement de couleur de l'indicateur.

- 120 b) *La méthode électrométrique.* — Pour mesurer le « potentiel redox » par la méthode électrométrique, il faut établir une chaîne d'électrodes disposées de la manière indiquée ci-dessous:

Electrode de platine	Solution « redox » à examiner	Solution saturée de chlorure de potassium (KCl)	Electrode au calomel
-------------------------	----------------------------------	--	----------------------------

- 121 La mesure consiste en la détermination d'une courbe qui représente le potentiel en fonction du degré de l'effet réducteur. La force électromotrice de la chaîne est:

$$E = E_r - E_k$$

formule dans laquelle E_r représente le « potentiel redox » et E_k le potentiel de l'électrode au calomel, qui est de 0,377 volt à la température de 18 degrés C. Par adjonction d'hydrogène, on amène la solution « redox » à l'état complètement réduit. La solution réduite est ensuite oxydée par degrés par adjonction d'un agent oxydant (par exemple de l'eau de chlore de concentration connue), et le potentiel est mesuré après chaque adjonction. On prend note

des potentiels mesurés, qui sont fonction de la composition modifiée du mélange « redox ». Lorsqu'on relie entre eux les points correspondant aux valeurs mesurées, on obtient une courbe en S dont le point d'inflexion indique le « potentiel normal » de la solution. Pour la mesure, il est nécessaire que la valeur du pH de la solution soit connue.

122 Pendant toute la durée de la mesure, la solution doit se trouver sous une couche d'azote.

3. 6. 5. — *Précision des méthodes de détermination des « potentiels redox ».*

123 La méthode de détermination électrométrique est beaucoup plus précise que la méthode colorimétrique. Cependant, on emploie de préférence cette dernière pour les examens d'eaux, parce qu'elle est plus simple et que la mesure peut être exécutée plus rapidement.

Ouvrages consultés.

1. — H. Pallmann: Zur physikalischen Chemie des Bodens. (Schweizer Archiv für angewandte Wissenschaft und Technik, 5, 1939, 61 à 74).
2. — H. Stäger und W. Bédert: Beitrag zur Kenntnis der Korrosion von Flusstahlröhren in Lehm Böden bei Abwesenheit von Fremdströmen. (Schweizer Archiv für angewandte Wissenschaft und Technik, 6, 1940, 306 à 313).
3. — C. A. Lobry de Bruyn en J. F. Bogtstra: Modern grondonderzoek met betrekking tot corrosie van ijzeren buisleidingen. (Het Gas, 67, 1947, 153 à 156).
4. — Leo Minder: Neuere Beobachtungen über Eisenkorrosion durch Eisenbakterien. (« Limnologie », Bd. IX, 1940, Sonderdruck, Zürich).
5. — Leo Minder: Ueber biogene Korrosion. (Strasse und Verkehr, 31, 1945, 76 à 84).
6. — Carl Robert Baier: Sulfatreduzierende Bakterien in technischen Anlagen. (Das Gas- und Wasserfach. 85, 1942, 25 à 29).
7. — Paul Ganser: Pipeline Corrosion caused by anaerobic bacteria. (Gas Journal, 92, 1940, 371 à 373).
8. — Schweizerische Normenvereinigung, Gruppe Wasserchemie: Die Bestimmung des pH-Wertes. (Schweizer Archiv für angewandte Wissenschaft und Technik, 13, 1947, 219).
9. — Georg Wiegner und H. Pallmann: Anleitung zum quantitativen agrikulturchemischen Praktikum. Berlin, 1938.
10. — Wilhelm Hofman: Blei und Bleilegierungen. Berlin, 1941, Springer.
11. — W. Bladergreen: Physikalische Chemie in Medizin und Biologie. (Kap. X. Das Oxydations- und Reduktionspotential). Basel, 1945.
12. — G. Guzzoni: Die Korrosion des Eisens im Erdboden und der Einfluss des rH-Wertes (Korrosion und Metallschutz, 15, 1939. Pages 144 à 150).
13. — M. J. N. Pourbaix: Thermodynamique des solutions aqueuses diluées.

CONSTITUTION DE L'ENVELOPPE DES CABLES

4.1. — GÉNÉRALITÉS

- 124 Les conditions fondamentales auxquelles doit satisfaire la matière constituant l'enveloppe d'un câble sont:
- l'imperméabilité à l'eau et à l'humidité,
 - la facilité de courbure,
 - la facilité de filage (ou de fabrication par d'autres moyens),
 - la simplicité de la technique des raccordements,
 - la stabilité dans le temps.
- 125 Il est désirable, aussi, que cette matière résiste aux efforts dus aux vibrations ainsi qu'à la corrosion. La résistance à la traction peut aussi être désirable.
- 126 Pour les câbles qui doivent être utilisés au dehors, l'imperméabilité à l'eau et à l'humidité durant une longue période est probablement plus importante que toutes les autres propriétés. A cet égard, le plomb s'est révélé éminemment convenable, et il possède, en outre, bien d'autres qualités qui le font recommander.
- 127 Les conditions requises diffèrent suivant qu'il s'agit de câbles aériens ou souterrains, et la matière la mieux adaptée à l'un de ces deux cas n'est pas nécessairement la meilleure pour l'autre.

4.2. — PROPRIÉTÉS DU PLOMB ET DE SES ALLIAGES

- 128 4.2.1. — Parmi le métal et les alliages les plus communément utilisés pour former l'enveloppe des câbles, on peut citer:
- A. — le plomb pur,
 - B. — l'alliage de plomb à 0,015% de tellure,
 - C. — les alliages de plomb de 1% à 3% d'étain,
 - D. — l'alliage de plomb à 0,4% d'étain et 0,15% de cadmium,
 - E. — l'alliage de plomb à 0,4% d'étain et 0,25% d'antimoine,
 - F. — l'alliage de plomb à 0,5% d'antimoine et 0,25% de cadmium,
 - G. — les alliages de plomb de 0,7% à 1% d'antimoine,
 - H. — l'alliage de plomb à 0,04% de calcium.
- 129 On a proposé d'autres alliages et, en fait, on les utilise, mais ils ne sont pas si courants que ceux qui ont été énumérés ci-dessus.
- 130 4.2.2. — Les métaux et alliages A à E ne durcissent pas en vieillissant. Les alliages F et H durcissent en vieillissant. Le plomb ne durcit pas sous l'action des efforts mécaniques, contrairement aux autres alliages qui durcissent tous sous une telle action, et à peu près dans la même mesure, sauf l'alliage B qui durcit moins. Toutefois, après que ce durcissement est terminé, il se produit un adoucissement qui devient complet au bout d'un délai de une à vingt semaines. C'est l'alliage D qui devient doux le plus rapidement; les autres dans l'ordre suivant, d'après les délais croissants: D, E, C, F, B et G. La position de l'alliage H dans ce classement n'a pas été déterminée dans une série d'essais comparatifs. Le plomb et tous les alliages cités sont convenablement ductiles, mais A, B, C, D et E donnent des câbles qui se laissent plus facilement courber que les autres.

- 131 4. 2. 3. — Le plomb et tous les alliages cités peuvent être filés assez facilement. Toutefois, ceux dont le filage est le moins facile sont F et G.
- 132 Cependant, une adaptation de l'outillage et l'addition dans l'alliage de petites quantités d'autres éléments (par exemple 0,06% de cuivre) peuvent faciliter l'opération: le cuivre est d'ailleurs un constituant normal de certaines qualités de plomb.
- 133 Quand on utilise du plomb de pureté extrêmement élevée pour l'enveloppe de câbles, il est admissible d'altérer légèrement cette pureté en ajoutant 0,1% d'antimoine ou d'étain, ce qui donne une structure à grain plus fin, sans changer notablement les autres propriétés du métal.
- 134 4. 2. 4. — La résistance à la fatigue d'origine mécanique est importante dans le cas des alliages à utiliser pour constituer l'enveloppe de câbles aériens, ou de câbles destinés à être posés sur des ponts, etc. ...; il peut aussi être nécessaire d'augmenter légèrement l'endurance mécanique des enveloppes en plomb pur employées pour les câbles souterrains lorsque ceux-ci doivent être transportés à grande distance. Pour les câbles qui doivent résister à des vibrations intenses, les alliages F, G et H sont recommandés, mais on doit se rappeler que ces alliages sont d'un maniement plus difficile que quelques-uns des autres métaux ou alliages précités. Quand on a besoin d'augmenter modérément l'endurance mécanique sans augmenter la raideur d'une façon appréciable, on peut employer les alliages B, C, D ou E. Cependant, pour les alliages binaires à l'étain, la raideur et l'endurance mécanique correspondent aux teneurs les plus élevées.
- 135 4. 2. 5. — La résistance à la corrosion de tous les métaux et alliages précités est bonne et, dans l'ensemble, le plomb pur est le meilleur. Toutefois, les différences sont petites et le choix du métal ou de l'alliage employé pour le revêtement de câbles dépendra normalement, non de la résistance à la corrosion, mais des autres conditions imposées.
- 136 4. 2. 6. — Avec tous les métaux et alliages mentionnés ci-dessus, on peut effectuer les raccordements de câbles facilement et d'une façon satisfaisante.

4. 3. — EMPLOI DE MATIÈRES PLASTIQUES AU LIEU DE PLOMB

- 137 4. 3. 1. — *Généralités.*
- 138 4. 3. 1. 1. — En raison de la pénurie mondiale de plomb, on a accordé une attention croissante, au cours des dernières années, aux câbles téléphoniques revêtus d'enveloppes faites de matières autres que le plomb. On a étudié en particulier deux types de fabrication utilisant diverses matières plastiques:
- 139 1^o Le premier type comporte l'utilisation d'une enveloppe de matière plastique imperméable à l'eau;
- 140 2^o Le deuxième type comporte l'utilisation d'une enveloppe double dont la couche extérieure, la plus épaisse, est en matière plastique, mais contient à son intérieur une mince gaine métallique qui sert à empêcher le passage de l'eau et constitue un écran électrique.
- 141 4. 3. 1. 2. — On dispose d'un grand nombre de matières plastiques ayant des propriétés mécaniques qui les rendent convenables pour servir à constituer l'enveloppe extérieure des câbles. Cependant, la plupart des mieux connues parmi ces matières telles que le caoutchouc, la gutta-percha, le chlorure de polyvinyle, le styroflex (polystyrène), etc. ... se laissent traverser soit par l'eau, soit par la vapeur ou l'humidité, ou bien les absorbent à un degré trop élevé pour qu'il convienne de les employer sans une autre gaine intérieure imperméable, pour la fabrication de câbles sous papier conservant un isolement élevé. De l'étude des matières plastiques les mieux connues à l'heure actuelle résulte que, parmi celles-ci, la plus satisfaisante au point de vue de l'imperméabilité est le polyéthylène (y compris les mélanges de polyéthylène et de polyisobutylène).
- 141 4. 3. 1. 3. — Les recherches sur la perméabilité à l'eau des matières plastiques ont généralement porté sur le taux de passage de l'humidité à partir d'une atmosphère saturée vers une atmosphère sèche, en traversant une fine pellicule de la matière plastique considérée, et l'on a donné des résultats fortement discordants pour des matières désignées d'une façon semblable, probablement en raison de l'emploi de techniques expérimentales différentes et de produits commerciaux différents. On a fait très peu de mesures directes de la diffusion de l'eau à travers des couches de matières plastiques ayant l'épaisseur d'une enveloppe de

câble et dans des conditions où, du côté de l'atmosphère sèche, il y a une matière absorbant l'eau telle que le papier employé pour l'isolement des conducteurs dans un câble téléphonique. En admettant, toutefois, que les résultats obtenus sur de fines pellicules de matières plastiques restent valables dans ces conditions, on trouve que le polyéthylène est au moins 10 fois meilleur que n'importe quelle autre matière plastique ayant des propriétés mécaniques convenables. On a fait diverses estimations de la durée de vie de câbles revêtus d'une enveloppe de polyéthylène, et sans aucune gaine métallique intérieure; les durées de vie estimées varient depuis environ 3 ans jusqu'à 10 ans, suivant l'épaisseur de l'enveloppe et les valeurs d'autres variables, la valeur moyenne étant de l'ordre de 6 ans. Au bout de cette durée, il pourrait être nécessaire de régénérer l'isolement du câble.

142 4. 3. 2. — *Propriétés mécaniques du polyéthylène.* — Le polyéthylène a une résilience plus élevée que celle du plomb, il est plus dur, et quand on le courbe, il ne se craquelle pas facilement et n'acquiert pas facilement de déformation permanente. Ceci est un avantage quand on doit courber l'ensemble du câble au cours de la pose, mais ce peut être un inconvénient, notamment lorsqu'on doit le courber pour le disposer le long des parois d'une chambre de raccordement. Un câble à enveloppe de polyéthylène est plus propre à manier qu'un câble à enveloppe de plomb, et il n'y a pas besoin de le lubrifier au moment du tirage, bien que la présence d'eau agissant comme lubrifiant soit avantageuse. La résilience du polyéthylène le rend moins sujet aux effets d'abrasion par des pierres, etc. ... quand le câble est tiré dans une conduite et, de plus, la déformation du câble est moins grande que dans le cas de l'enveloppe de plomb, parce que la résilience du polyéthylène permet au câble de reprendre plus facilement sa forme circulaire initiale. Un câble à enveloppe de polyéthylène est beaucoup plus léger qu'un câble à enveloppe de plomb, et, par conséquent, il est plus facile à manier et, dans les conditions normales, il faut moins de force pour le tirer dans une conduite.

143 4. 3. 3. — *Raccordement du polyéthylène.* — On peut raccorder les câbles à enveloppe de polyéthylène entre eux ou à des câbles à enveloppe de plomb en employant une technique analogue à celle du raccordement ordinaire par soudure des enveloppes des câbles sous plomb. L'équipement spécial nécessaire est peu important et cette méthode peut être appliquée sur le terrain par n'importe quel soudeur compétent.

144 4. 3. 4. — *Emploi d'une enveloppe double.* — L'emploi d'une enveloppe double, formée d'une mince couche de plomb recouverte d'une matière plastique aurait l'avantage de procurer des câbles légers, étanches et pourvus d'un écran électrique. Il a donc été envisagé d'employer une enveloppe de plomb ayant à peu près la moitié de l'épaisseur normale, recouverte par refoulement d'une matière plastique telle que le polyéthylène ou le chlorure de polyvinyle. Quand on emploie ce type de fabrication, il peut être recommandable d'utiliser l'un des alliages de plomb désignés ci-dessus par les lettres B, C, D, E.

4. 4. — EMPLOI DE MÉTAUX AUTRES QUE LE PLOMB

145 4. 4. 1. — On a mis au point, au cours de la période de guerre, un câble revêtu d'une enveloppe massive, en acier, ondulée suivant des circonférences pour améliorer sa flexibilité. Des câbles à enveloppe d'aluminium ont aussi été employés avec succès; cependant, les câbles à enveloppe d'acier ou d'aluminium doivent avoir un revêtement extérieur de protection. On a fabriqué un câble comportant une mince feuille d'aluminium recouverte d'une matière plastique dure formée de polyéthylène et de noir de fumée (carbon black). Cependant, les expériences relatives à ces divers types d'enveloppes ne sont pas encore concluantes.

146 4. 4. 2. — On a aussi réalisé des câbles recouverts d'une enveloppe formée par une feuille d'acier inoxydable qui, par exemple, est enroulée suivant un cylindre et soudée le long d'une génératrice. Ces câbles sont peu flexibles et paraissent convenir seulement comme câbles aériens.

CHAPITRE V

REVÊTEMENTS ET ARMURES

5. 1. — GÉNÉRALITÉS

- 147 5. 1. 1. — En vue de réaliser ou de renforcer la protection des câbles, à la fois contre les dégradations mécaniques et contre les corrosions, on peut recourir à des revêtements et à des armures.
- 148 5. 1. 2. — Lorsque la protection contre la corrosion doit être recherché, il faut éviter en principe de poser directement dans le sol des câbles sous plomb ou alliage de plomb nus. Cependant, il n'est pas exclu que certains procédés de protection (protection électrique) permettent parfois de s'affranchir de cette obligation.
- 149 5. 1. 3. — Pour obtenir la protection des enveloppes des câbles contre la corrosion au moyen de revêtements, on doit réaliser des revêtements qui empêchent le passage de l'humidité du sol vers l'enveloppe, car c'est seulement en présence d'humidité que se produit la corrosion, de quelque type qu'elle soit.
- 150 5. 1. 4. — On peut considérer deux catégories de revêtements: la première catégorie assure une protection suffisante dans le cas des sols peu humides et peu agressifs; la seconde catégorie assure une protection beaucoup plus complète et peut convenir dans le cas des terrains humides et agressifs, et dans le cas de câbles exposés à la corrosion électrolytique. En outre, l'effet utile des revêtements peut être complété par une armure qui contribue à la conservation du bon état des revêtements, à la protection du câble contre les actions mécaniques et les effets d'induction.
- 151 5. 1. 5. — L'emploi des revêtements de la deuxième catégorie est habituellement limité aux régions dans lesquelles on a des raisons de croire qu'une protection spéciale est nécessaire.

5. 2. — REVÊTEMENT DE LA 1^{re} CATÉGORIE

- 152 5. 2. 1. — Ce revêtement doit être compact: il est constitué de plusieurs couches protectrices et obtenu très généralement par la succession des opérations suivantes:
- a) Arrosage à chaud de l'enveloppe de plomb ou d'alliage de plomb au moyen d'une composition neutre à base soit de goudron de houille, soit de bitumes, d'asphaltes ou de dérivés de produits de la distillation du pétrole de spécification convenable ⁽¹⁾. Cette composition devra être *fluide* ⁽²⁾.
 - b) Application de deux ou trois rubans de papier enroulés en hélices et dans le même sens, chacun de ces rubans étant enroulé avec recouvrement. Ils devront, préalablement à leur emploi, avoir été complètement imprégnés d'huile d'anthracène ou de goudrons fluides, ou de dérivés de produits de la distillation du pétrole, puis essorés.
 - c) Arrosage à chaud avec une composition neutre, analogue à celle qui est utilisée dans l'opération a), mais qui devra être *épaisse* ⁽²⁾.
 - d) Application d'un matelas de filin de jute imprégné avec le produit indiqué en b).
 - e) Arrosage à chaud avec une composition neutre analogue à celle qui est utilisée dans les opérations a) et c), mais qui devra être *très épaisse* ⁽²⁾.

⁽¹⁾ — Dans ce qui suit, et pour alléger l'écriture, on désignera sous le nom uniforme de « bitumes », les bitumes, asphaltes et produits de la distillation du pétrole.

⁽²⁾ — Les définitions des caractères *fluide*, *épais* ou *très épais*, sont données dans l'*annexe 1* pour les compositions à base de goudrons de houille et dans l'*annexe 2* pour les bitumes.

f) Application facultative d'un enduit de craie, de talc ou matière analogue non corrosive, pour empêcher le collage entre elles des spires du câble qui se trouvent en contact quand le câble est enroulé sur une bobine.

153 5. 2. 2. — Il est très important que l'ensemble formé par la première couche de composition neutre, les couches de papier imprégné et le matelas de filin de jute imprégné soit bien adhérent au plomb et qu'il puisse garder sa compacité et son élasticité longtemps encore après la fabrication.

154 5. 2. 3. — La composition neutre et les produits d'imprégnation doivent répondre aux conditions suivantes:

a) Avant tout, ils doivent être exempts d'éléments corrosifs: anthracène, substances acides et phénols, et n'avoir qu'une teneur d'eau très petite.

b) Ils doivent présenter une fluidité et une plasticité convenables.

c) Ils doivent aussi satisfaire à des conditions particulières.

155 Des exemples de spécifications de compositions et produits d'imprégnation répondant à ces diverses conditions sont donnés respectivement dans l'annexe 1 en ce qui concerne l'huile d'anthracène et les goudrons de houille, et dans l'annexe 2 en ce qui concerne les bitumes, asphaltes et produits de la distillation du pétrole.

156 D'autre part, la constatation de l'absence du phénol libre, inutile dans le cas des bitumes, est très importante dans le cas des huiles d'anthracène et des goudrons de houille. Elle peut être effectuée, par exemple, suivant l'une des méthodes décrites dans l'annexe 3.

157 5. 2. 4. — L'obtention de goudrons de houille complètement débarassés de phénols présente une certaine difficulté en raison de l'importance des installations nécessaires pour l'épuration par distillation ou par neutralisation et lavages successifs.

158 L'emploi des bitumes est intéressant, car ils sont complètement exempts de phénol. En outre, ils paraissent susceptibles de permettre plus facilement l'obtention d'une meilleure adhérence, d'une meilleure ductilité aux différentes températures et d'une moindre tendance à devenir fragiles.

159 5. 2. 5. — Au lieu de jute, il a été proposé d'utiliser certaines matières imputrescibles, telles que la fibre de coco, la laine de verre, ...

5. 3. — REVÊTEMENT DE LA 2^e CATÉGORIE

160 5. 3. 1. — Dans le cas de pose dans des terrains humides ou de passage dans des lieux où le terrain, par sa nature chimique, a des propriétés agressives, il faut considérer que le bitume, de même que le goudron, ne sont pas étanches et que, d'autre part, l'imprégnation du papier et du jute n'est jamais parfaite et qu'il ne paraît pas possible de coller, absolument sans interstices, le ruban de papier sur la gaine de plomb, de sorte qu'une enveloppe de ce genre ne peut pas résister longtemps à la pénétration de l'eau.

161 Ainsi, dans le cas de terrains humides d'une manière permanente, et à défaut d'un mode spécial d'installation du câble le mettant complètement à l'abri de l'humidité (comme la pose en caniveaux remplis d'une matière isolante et neutre), il faut employer des revêtements absolument continus qui doivent empêcher le passage de l'humidité et des substances corrosives dissoutes dans l'eau.

162 5. 3. 2. — Ces revêtements peuvent être à base de caoutchouc naturel ou artificiel ou de substances thermoplastiques. Ils doivent être appliqués lors de la fabrication.

163 5. 3. 3. — Les substances thermoplastiques constituant les revêtements doivent:

— ne pas attaquer le plomb,

— présenter une bonne adhérence au plomb, être souples et non fragiles,

— avoir une dureté suffisante pour résister à l'écrasement et à l'usure par frottement,

— être imperméables à l'humidité,

— être stables dans le temps,

— conserver leurs propriétés dans la gamme des températures auxquelles les câbles sont susceptibles d'être exposés.

164 5. 3. 4. — Les revêtements de cette catégorie sont employés particulièrement, et généralement sur de grandes longueurs, dans les cas où la corrosion électrolytique est à craindre. Dans le cas de la protection contre la corrosion chimique, il est suffisant d'utiliser ces revêtements dans les sections exposées.

165 *Remarque.* — Quelquefois, on décèle des corrosions de nature chimique sur des câbles déjà posés. Dans ce cas, outre la méthode qui consiste à protéger les portions des câbles exposées à la corrosion, par exemple en entourant le câble d'un bloc de bitume enfermé dans une canalisation, on fait parfois sur place un enveloppement de la gaine de plomb du câble avec des rubans imprégnés de paraffine, de bitume, ou composés analogues. Généralement, ces rubans ne permettent pas d'obtenir une protection parfaite et durable, car des infiltrations d'humidité par capillarité entre les bords superposés des rubans demeurent possibles.

166 On peut faire des enveloppements au moyen de rubans thermoplastiques qui, par un traitement approprié fait sur place, sont transformés en une gaine continue et étanche.

5. 4. — ARMURES

167 5. 4. 1. — Les câbles souterrains posés directement dans le sol sont souvent armés pour protéger le revêtement contre les dommages mécaniques, pendant et après la pose.

168 L'armure peut être formée par des rubans de feillard de fer ou par des fils de fer ronds, méplats ou trapézoïdaux; l'armure en fils est surtout utilisée pour les câbles soumis à des efforts longitudinaux (câbles tirés en conduite, câbles immergés, etc. ...).

169 5. 4. 2. — La fabrication d'un câble armé au moyen de rubans de feillard peut comporter, par exemple, les opérations suivantes:

a), b), c), d) Mêmes opérations que celles qui ont été décrites sous les mêmes lettres, pour les revêtements de la 1^{re} catégorie.

e) Arrosage à chaud avec une composition neutre analogue à celle qui est utilisée dans les opérations *a)* et *c)*; mais qui peut être fluide ou épaisse.

f) Application d'un nouveau matelas de filin de jute imprégné, ou de plusieurs couches de papier imprégné au moyen du même produit que dans l'opération *b)*.

g)₁ Arrosage à chaud avec une composition neutre épaisse.

h)₁ Application en hélice de deux rubans de feillard de fer superposés, entièrement enduits à chaud de composition neutre *fluide*. Les spires n'en sont pas jointives, mais l'intervalle compris entre les bords d'un premier ruban doit être entièrement recouvert par le second ruban. Les rubans d'une même couche sont soudés électriquement bout à bout.

i)₁ Arrosage à chaud avec une composition neutre *épaisse*.

j)₁ Application d'un nouveau matelas de filin de jute imprégné.

k)₁ Même opération que *i)*.

l)₁ Même opération que *j)*.

m)₁ Arrosage à chaud avec une composition neutre *très épaisse*.

n)₁ Application facultative d'un enduit de craie, de talc ou matière analogue.

170 5. 4. 3. — Dans le cas d'armure au moyen de fils de fer ronds, méplats ou trapézoïdaux, on emploie des fils galvanisés. On procède d'abord aux premières opérations décrites ci-dessus de *a)* à *f)*, et on continue par les opérations suivantes:

g)₂ Arrosage à chaud avec une composition neutre *très épaisse*.

h)₂ Application en hélice d'une couche de fils de fer jointifs.

ANNEXE I

Exemple de spécification relative à l'huile d'anthracène et aux goudrons de houille

5. A₁ 1. — CLAUSES SPÉCIALES À L'HUILE D'ANTHRACÈNE

- 171 5. A₁ 1. 1. — L'huile d'anthracène proviendra exclusivement des huiles lourdes recueillies lors de la distillation du goudron de houille, à partir de la température de 270° C; elle sera soluble dans la benzine avec un résidu maximum de 0,25%.
- 172 Elle aura à 20° C une viscosité de 13 à 50 centipoises (ce qui correspond à des valeurs de 2 à 6 degrés Engler pour un produit de densité 1,1).
- 173 5. A₁ 1. 2. — *Absence d'anthracène libre.* — L'huile d'anthracène ne contiendra pas d'anthracène libre. L'absence d'anthracène libre sera vérifiée comme suit: on prélèvera 200 millilitres d'huile dans une éprouvette. Celle-ci sera placée dans un récipient parcouru par un courant d'eau froide, la température de l'eau étant comprise entre 10 et 15° C. Après un séjour de 10 heures, on décantera l'huile sans agiter. Aucun dépôt d'anthracène ne devra être constaté au fond de l'éprouvette.

5. A₁ 2. — CLAUSES SPÉCIALES AUX GOUDRONS DE HOUILLE

- 174 5. A₁ 2. 1. — *Fluidité ou viscosité.* — Les goudrons de houille seront formés par des mélanges en proportion convenable d'huile d'anthracène et de brai de houille. On convient de les classer en trois catégories dénommées:

- a) goudron fluide,
- b) goudron épais,
- c) goudron très épais.

a) Le goudron *fluide* aura à 100° C une viscosité de 8 à 50 centipoises (ce qui correspond à des valeurs de 1,5 à 6 degrés Engler pour un produit de densité égale à 1,1), et à 135° C une viscosité de 4 à 17 centipoises (ce qui correspond à des valeurs de 1,2 à 2,5 degrés Engler pour un produit de densité égale à 1,1).

b) Le goudron *épais* aura un point de goutte, déterminé par la méthode Ubbelohde, compris entre 35 et 65° C, ou un point de ramollissement mesuré par la méthode Ring and Ball de l'« American Society of Testing Material » compris entre 28 et 55° C.

c) Le goudron *très épais* aura un point de goutte, déterminé par la méthode Ubbelohde, supérieur à 55° C, ou un point de ramollissement mesuré par la méthode Ring and Ball de l'« American Society of Testing Material » supérieur à 45° C.

- 175 5. A₁ 2. 2. — *Plasticité à froid.* — La plasticité à froid des goudrons fluides et épais devra être telle qu'ils ne soient pas cassants à la température de 0° C. Elle pourra être vérifiée de la manière suivante: une bande de papier de 100 grammes au mètre carré, d'une largeur de 20 millimètres, sera trempée dans le produit à essayer à la température de 130° C et retirée aussitôt. On laissera la bande de papier s'égoutter, la température ambiante étant comprise entre 15° et 20° C. Puis la bande de papier enduite sera plongée dans la glace fondante et maintenue pendant 5 minutes à 0° C. La bande sera ensuite enroulée sur un mandrin de 150 millimètres de diamètre. On ne devra constater aucun fendillement du produit.

5. A₁ 3. — CLAUSES COMMUNES À L'HUILE D'ANTHRACÈNE ET AUX GOUDRONS DE HOUILLE

- 176 5. A₁ 3. 1. — *Dosage de l'acidité.* — L'acidité exprimée en milligrammes d'anhydride sulfurique (SO₃) par kilogramme du produit ne dépassera pas 300.

- 177 Elle sera mesurée sur l'extrait aqueux obtenu en agitant 10 grammes du produit préalablement dissous dans 25 à 50 millilitres de benzène neutre, avec 100 millilitres d'eau distillée chaude. Après décantation de la couche aqueuse, on dosera l'acidité de celle-ci avec une solution décimale de soude ou de potasse (en présence de phénol phtaléine comme indicateur). Du résultat ainsi obtenu, on retranchera le résultat d'un essai à blanc conduit exactement de la même manière et avec les mêmes réactifs, mais sans le produit en essai.
- 178 5. A₁ 3. 2. — *Absence de phénol libre* (voir annexe 3).
- 179 5. A₁ 3. 3. — *Dosage de l'eau*. — Les produits ne contiendront pas plus de 0,5 % d'eau. Pour doser l'eau, on mélangera 100 grammes de produit avec une quantité de xylol suffisante pour l'obtention d'une solution fluide. On distillera le mélange au moyen de l'appareil Winkler et Jacqué ou d'un appareil similaire, jusqu'à cessation de tout crépitement dans le ballon. Le volume de la partie inférieure du distillat représente la teneur en eau pour 100 grammes du produit en essai.
- 180 5. A₁ 3. 4. — *Distillation fractionnée*. — Soumis à une distillation, les produits ne donneront pas plus de 0,5% de leurs poids passant avant 125° C, ni plus de 5% avant 250° C. Leur teneur en cendres ne dépassera pas 1%.
- 181 L'appareil de distillation utilisé est un ballon en borosilicate de 300 millilitres, conforme à la norme D. 246-33 de l'« American Society of Testing material ». Le réfrigérant est un simple tube de 55 centimètres de longueur et 15 millimètres environ de diamètre intérieur, enfilé sur la tubulure du ballon jusqu'à 5 centimètres du col. Le thermomètre est placé au centre d'un bouchon de liège, de telle sorte que la partie supérieure du réservoir soit juste à hauteur de la paroi inférieure du tube de dégagement des vapeurs. Le ballon dont l'axe est vertical repose sur une toile métallique épousant sa forme jusqu'à hauteur de la surface de l'huile. La partie supérieure du ballon au-dessus de la toile métallique et le col sont garnis d'amiante.
- 182 On chauffe rapidement jusqu'au voisinage de l'ébullition, et dès que celle-ci est atteinte, on règle le chauffage de façon à obtenir une distillation régulière à raison de 1 goutte par seconde environ. Dans ces conditions, l'action du réfrigérateur à air est suffisante pour empêcher toute volatilisation de matière. Le distillat est recueilli dans une fiole d'Erlenmeyer tarée, placée sur le plateau d'une petite balance Roberval sensible au décigramme. Des pesées sont faites quand le thermomètre atteint les températures prévues pour le fractionnement.

ANNEXE II

**Exemples de spécification relative aux bitumes, asphaltes
et produits de la distillation du pétrole**

- 183 Dans ce qui suit, et pour alléger l'écriture, on désignera les divers produits visés dans cette spécification sous le nom uniforme de *bitumes*.
- 184 5. A₂ 1. — *Fluidité et viscosité*. — Au point de vue de la fabrication des revêtements, on convient de classer les bitumes en trois catégories dénommées:
- a) bitume fluide,
 - b) bitume épais,
 - c) bitume très épais.
- 185 Le bitume fluide aura un point de goutte, déterminé suivant la méthode de Ubbelohde, inférieur à 50° C.
- 186 Le bitume épais aura un point de goutte, déterminé suivant la même méthode, compris entre 50° C et 60° C.

- 187 Le bitume très épais aura un point de goutte, déterminé suivant la même méthode, au moins égal à 75° C.
- 188 5. A₂ 2. — *Plasticité à froid.* — Les bitumes fluides et épais ne doivent pas se fendiller à la température de 5° C et les bitumes très épais ne doivent pas se fendiller à la température de 15° C.
- 189 L'essai de résistance au fendillement doit être fait en examinant le comportement d'une couche de bitume, ayant environ 0,5 millimètre d'épaisseur, coulée sur une bande de plomb ayant une largeur d'environ 14 millimètres et une épaisseur d'environ 0,8 millimètre, quand cette bande est enroulée sur un mandrin de 15 millimètres de diamètre. Le bitume est appliqué sur cette bande, bien nettoyée et chauffée par une flamme à gaz. Pour appliquer le bitume sur cette bande avec l'épaisseur voulue, on place sur celle-ci une plaque de métal de cette épaisseur comportant une fenêtre rectangulaire dans laquelle on coule le bitume. Le bitume en excès est éliminé au moyen d'une spatule réchauffée.
- 190 Les bandes à essayer doivent rester à la température ambiante de 5° ou de 15° C pendant une heure, et après elles doivent être enroulées sur le mandrin fixé horizontalement. Les spires doivent être serrées les unes contre les autres et doivent être enroulées à la vitesse d'un tour toutes les deux secondes.
- 191 Après cet essai, la couche de bitume ne doit présenter ni fendillement, ni tendance à se détacher du plomb.
- 192 5. A₂ 3. — *Essai de l'acidité.* — L'extrait aqueux devra présenter une réaction neutre et son poids ne devra pas dépasser 0,1% du poids de mélange essayé.

ANNEXE III

Constatation de l'absence de phénol libre et dosage du phénol

5. A₃ 1. — MÉTHODE QUALITATIVE DE CONSTATATION DE L'ABSENCE DE PHÉNOL LIBRE

- 193 5. A₃ 1. 1. — On maintient à l'ébullition 10 grammes de la composition à étudier dans environ 25 millilitres d'une solution normale d'hydroxyde de sodium, pendant 20 minutes, ensuite on filtre.
- 194 A 5 millilitres du filtrat, on ajoute une petite quantité d'acide paradiazobenzène sulfonique. S'il ne se produit pas une coloration rouge, la composition satisfait aux prescriptions. Sinon, on neutralise partiellement le reste du filtrat avec de l'acide nitrique jusqu'à ce qu'on obtienne une réaction légèrement alcaline, puis on évapore jusqu'à ce qu'il reste 5 millilitres. On ajoute alors 5 millilitres de réactif de Millon dans un tube à essai, et on le place dans un gobelet rempli d'eau bouillante. Si, même après une demi-heure, il ne se produit pas de coloration rouge, la composition satisfait aux prescriptions.
- 195 5. A₃ 1. 2. — On prépare le réactif de Millon de la manière suivante: on dissout, dans une fiole conique, 1,4 gramme de mercure dans 1 millilitre d'acide nitrique concentré (densité 1,4) et l'on dilue cette solution avec 17,5 millilitres d'eau. Si l'on constate une séparation de sel basique, on dissout ce sel avec quelques gouttes d'acide nitrique. Ensuite, on ajoute goutte à goutte une solution à 10% d'hydroxyde de sodium, tout en mélangeant bien soigneusement le liquide, jusqu'à ce qu'on obtienne un précipité permanent. Puis on ajoute 2,5 millilitres d'acide nitrique dilué (1 volume d'acide nitrique d'une densité de 1,4 sera dilué dans 4 volumes d'eau) et l'on mélange soigneusement. Une telle solution doit être employée dans la journée.
- 196 5. A₃ 1. 3. — L'essai précédent peut être effectué sur un échantillon de la composition à utiliser pour le revêtement des câbles. Dans le cas de câbles fabriqués, on fait un prélèvement de 25 grammes de la composition dans le revêtement du câble et on procède à l'essai qui vient d'être décrit.

5. A₃ 2. MÉTHODE DE DOSAGE DU PHÉNOL

5. A₃ 2. 1. — *Extraction par distillation dans la vapeur d'eau.*

197 La distillation dans la vapeur d'eau se fait dans un appareil représenté schématiquement sur la figure 1.

198 La vapeur d'eau est obtenue à partir d'eau distillée. Elle est formée et surchauffée dans la boucle d'un tube de cuivre au moyen de brûleurs à gaz. Après passage dans le ballon à réaction, elle est condensée dans un réfrigérant en cuivre: les réfrigérants ordinaires de Liebig, en verre, supportent mal la forte sollicitation thermique et par suite, éclatent facilement.

199 Dans le ballon de distillation, on introduit 20 grammes du produit d'imprégnation à étudier, ou d'un revêtement de câble comportant encore le papier et le jute, mais qui doit être soigneusement débarrassé de résidus terreux ou de cailloux. On ajoute 10 grammes de sulfate de cuivre cristallisé, 20 millilitres d'acide phosphorique étendu au quart et 20 millilitres d'eau distillée. L'acide phosphorique met en liberté les phénols entrant en combinaison et le sulfate de cuivre fixe toutes les combinaisons de soufre ou de cyanogène qui pourraient réagir. Le ballon ainsi rempli est placé dans l'installation de distillation.

200 Le distillat doit être recueilli en plusieurs fractions dont chacune est étudiée séparément au point de vue de la présence des phénols. L'installation doit, avant essai, être soigneusement nettoyée et au moins pendant 1 ou 2 heures, parcourue par un courant de vapeur d'eau surchauffée pour éliminer éventuellement les traces d'impuretés provenant d'un essai précédent. Avant toute nouvelle détermination, il y a lieu de faire un essai à blanc sans introduction de produit d'imprégnation ou de revêtement de câble et le distillat alors recueilli doit être exempt de toute trace de phénols.

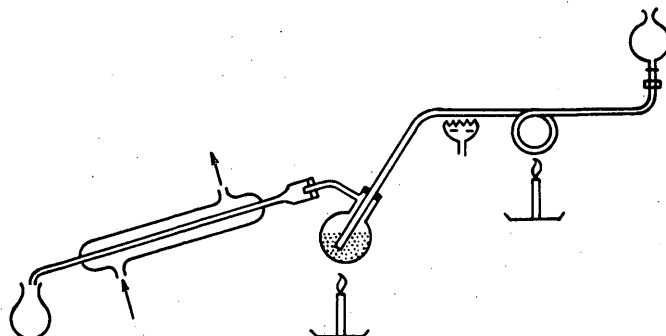


Figure 1. — Extraction du phénol par distillation dans la vapeur d'eau

5. A₃ 3. — EMPLOI DU RÉACTIF DE FOLIN-DENIS

5. A₃ 3. 1. — *Réactifs nécessaires.*

201 Les réactifs nécessaires sont:

1) Le réactif du phénol de Folin-Denis. Ce réactif s'obtient en faisant dissoudre 100 grammes de tungstate de sodium dans 780 millilitres d'eau distillée. A ce mélange, on ajoute une solution d'acide phosphorique à 85 pour cent. On fait bouillir pendant deux heures dans un appareil comportant un réfrigérant à reflux et, après refroidissement, on étend jusqu'à 1 litre avec de l'eau.

2) Une solution aqueuse saturée de soude.

5. A₃ 3. 2. — *Conduite de l'essai.*

202 Dans 50 millilitres du distillat à étudier, on ajoute de 0,5 à 1 millilitre du réactif et on le rend alcalin au moyen de 5 à 10 millilitres de la solution de soude. Si des phénols sont présents, la solution devient bleue. L'intensité de la coloration est la plus vive après deux heures environ.

203 Pour doser le phénol dans le distillat, on prépare un jeu de solutions de phénol dans l'eau dont les concentrations sont respectivement 1000, 100, 10, 1, 0,1 et 0,01 milligrammes de phénol par litre. On effectue simultanément la réaction sur le distillat étudié et sur les diverses solutions tarées et on compare les colorations obtenues.

204 Si la concentration de la solution étudiée dépasse 100 ou 1000 milligrammes par litre, on l'étend au dixième ou au centième de manière à rester dans le domaine où l'estimation se fait dans les meilleures conditions.

CONDUITES, CANIVEAUX, GALERIES ET CHAMBRES DE TIRAGE

6.1. — DESCRIPTION SOMMAIRE DES DIVERS SYSTÈMES

6.1.1. — Généralités.

- 205 Dans les zones très peuplées, et notamment dans les agglomérations importantes, on est amené, pour donner de la souplesse au réseau de câbles et pouvoir poser, aux moindres frais, de nouveaux câbles sur le même itinéraire, à utiliser divers modèles de canalisations.
- 206 Même en dehors des agglomérations, on peut être amené, soit pour les mêmes considérations, soit pour des raisons de protection contre les actions mécaniques ou contre la corrosion, à prévoir des canalisations.

6.1.2. — Galeries.

- 207 Lorsque le nombre de câbles urbains ou interurbains à poser sur un itinéraire donné est très important, on peut utiliser des galeries téléphoniques, en général, construites en béton armé, en maçonnerie, etc. ... Leurs dimensions sont habituellement fixées d'une manière telle qu'un homme puisse y circuler.
- 208 Les câbles y sont ordinairement posés sur des supports fixes (consoles en fer cornière encastrées, éventuellement supports isolants, ...).

6.1.3. — Conduites multitubulaires.

- 209 Lorsque le nombre des câbles à prévoir ne justifie pas la construction d'une galerie, mais est cependant important, on peut utiliser des conduites multitubulaires.
- 210 Elles sont constituées au moyen de blocs élémentaires, de forme carrée, rectangulaire ou autre, comportant un certain nombre d'alvéoles. Ces blocs sont, soit en grès, soit en argile cuite, soit en béton, soit en fibrociment; dans les deux premiers cas, l'intérieur des alvéoles est en général vernissé. Ils comportent un embout mâle et un embout femelle, et sont mis bout à bout; si cela est nécessaire, plusieurs couches superposées peuvent être prévues. Dans ce cas, les couches successives sont disposées en chicane.
- 211 Les blocs élémentaires sont réunis entre eux par divers systèmes de joints: liant chaud de craie, goudron et poix, emplâtre de mousseline et de ciment, mortier de sable fin et à forte teneur en ciment, etc. ...

6.1.4. — Conduites monolithes.

- 212 Un procédé spécial s'appliquant à la réalisation de conduites multitubulaires consiste à réaliser les conduites sur le terrain même sans employer des blocs élémentaires. Sur radier de béton, un certain nombre de tuyaux de caoutchouc gonflés par de l'eau sont mis en place de façon à correspondre aux emplacements des alvéoles. Le béton est ensuite coulé autour de ces tuyaux, puis, après qu'il a fait prise, les tuyaux sont dégonflés et on les enlève en tirant sur une de leurs extrémités. On procède ensuite, si cela est nécessaire, à la fabrication des couches successives d'alvéoles.
- 213 Dans des cas particuliers, on peut remplacer les tuyaux en caoutchouc par des tuyaux en amiante-ciment ou en grès, qui sont laissés en place après la réalisation du bloc monolithe.
- 214 Le procédé monolithe donne d'excellents résultats, s'il est appliqué avec soin; il supprime notamment la confection des joints et assure une étanchéité convenable.

6. 1. 5. — *Conduites unitaires.*

- 215 Lorsqu'on n'a à prévoir que des câbles en petit nombre, on peut construire des conduites unitaires.
- 216 Ces conduites sont constituées au moyen de tuyaux en ciment, amiante-ciment, grès, argile cuite, fonte ou acier, etc. ... mis bout à bout.
- 217 Les joints entre deux tuyaux sont exécutés par l'un des procédés décrits ci-dessus pour les conduites multitubulaires, ou encore au moyen de mastic bitumineux ou d'anneaux en caoutchouc; pour les tuyaux en fonte ou en acier, les joints peuvent être exécutés au plomb.
- 218 Les tuyaux en fonte ou en acier sont surtout utilisés dans des cas spéciaux où l'on recherche une résistance mécanique élevée. Leur emploi doit être évité au voisinage des voies ferrées électrifiées.
- 219 Le procédé monolithe peut aussi être appliqué à la construction des conduites unitaires dans les cas où une bonne étanchéité est nécessaire, par exemple à la traversée des voies électrifiées.

6. 1. 6. — *Chambres.*

- 220 Dans le cas des câbles posés en conduites, des chambres destinées à permettre le tirage et le raccordement sont construites à des intervalles correspondant aux longueurs de pose des câbles et aux points de changement de direction sur les conduites. Sur les conduites unitaires, quelque soit le mode de pose des câbles, on peut aussi construire des chambres pour l'installations de boîtes de bobines Pupin ou autres éléments d'équipement.
- 221 Les chambres sont, en général, construites en béton, armé ou non, ou en maçonnerie. Elles comportent un accès de dimensions convenables, à obturation amovible; elles sont souvent munies d'orifices de ventilation.
- 222 Dans les chambres, les câbles sont généralement supportés par des consoles métalliques analogues à celles qui sont utilisées dans les galeries.

6. 1. 7. — *Autres systèmes.*

- 223 On utilise parfois d'autres systèmes de canalisations, mais le plus souvent à l'extérieur des agglomérations. Ce sont, par exemple, les caniveaux en béton ou en bois, les coquilles et profilés métalliques, etc. ...
- 224 Les caniveaux en béton ou en bois (le plus fréquemment imprégné) sont ordinairement constitués par des éléments de forme généralement rectangulaire mis bout à bout et dont la face supérieure est amovible.
- 225 On pose parfois les câbles téléphoniques dans des gaines métalliques constituées par deux coquilles semi-cylindriques en fer.
- 226 On utilise également pour protéger les câbles posés directement dans le sol des fers profilés ou des coquilles de ciment qui se placent au-dessus du câble.
- 227 Ces différents systèmes, qui donnent certaines garanties du point de vue de la protection mécanique des câbles, et de la facilité de pose de nouveaux câbles, ne peuvent être recommandés pour la protection des câbles contre la corrosion, sauf si des précautions spéciales sont prises. Ils laissent en effet pénétrer l'eau et les matières terreuses.

6. 2. — **PRÉCAUTIONS À PRENDRE LORS DE LA CONSTRUCTION DES CANALISATIONS OU DE LA POSE DES CÂBLES DANS LES CANALISATIONS**

6. 2. 1. — *Généralités.*

- 228 Certains des systèmes de canalisations décrits ci-dessus donnent une protection efficace contre la corrosion, si des précautions sont prises pour obtenir une bonne construction. D'autres systèmes sont, au contraire, peu efficaces et sont même déconseillés pour la pose des câbles sous enveloppe de plomb nu.
- 229 L'un des facteurs essentiels pour que la corrosion se produise est la présence d'eau ou d'humidité au contact de l'enveloppe de plomb du câble. L'introduction de matières terreuses, si celles-ci ont une constitution corrosive ou si elles entraînent avec elles certaines substances corrosives, est également défavorable.

230 Lorsque la protection des câbles contre la corrosion ne doit être assurée que par les canalisations dans lesquelles ils sont posés, le but à atteindre est donc d'éviter autant que possible le séjour ou l'introduction de l'eau et de matières terreuses dans les canalisations ou la formation d'humidité: on arrive à ce but en assurant l'étanchéité, l'assèchement et la ventilation des canalisations. S'il apparaît trop difficile ou trop coûteux de réaliser ces conditions, il convient d'étudier l'emploi d'un autre mode de protection.

6. 2. 2. — *Galleries.*

231 Dans les galeries, on peut obtenir en général une sécurité excellente du point de vue de la protection contre la corrosion, car l'assèchement et la ventilation sont facilement assurés par la réalisation de puisards dans les points bas de la galerie et d'orifices de ventilation.

232 Dans le cas où des infiltrations d'eau sont à redouter, on doit adopter un mode spécial de construction garantissant l'étanchéité.

6. 2. 3. — *Conduites.*

233 Dans les conduites, le plus grand soin doit être apporté à la confection des joints.

234 Une solution qui donne de bons résultats au point de vue de l'étanchéité consiste à enrober complètement la conduite d'une couche de béton.

235 L'évacuation de l'eau peut être assurée en cas de nécessité en prévoyant le drainage hydraulique des parties basses de la conduite.

236 La ventilation peut être assurée par les orifices des chambres échelonnées le long de la conduite. Elle peut cependant n'être qu'imparfaite, lorsque, pour d'autres raisons (risque de gaz d'éclairage), des alvéoles non occupées par des câbles sont obturées.

237 Les conduites construites selon le procédé monolithe donnent du point de vue de l'étanchéité une bonne garantie.

238 Certaines conduites sont plus fragiles et on peut craindre, malgré tout le soin apporté à la confection des joints, une dislocation de la conduite, par suite d'affaissements de terrains ou sous la poussée de racines d'arbres.

239 En conséquence, si on redoute la corrosion, il est recommandé de ne pas poser du câble sous plomb nu dans de telles conduites.

6. 2. 4. — *Chambres.*

240 Dans les chambres, l'assèchement est assuré au moyen de puisards aménagés au fond de la chambre et par des orifices de ventilation.

241 Lorsqu'on redoute des infiltrations d'eau, il y a lieu, de prévoir un mode spécial de construction garantissant l'étanchéité.

6. 2. 5. — *Caniveaux.*

242 Quelles que soient les précautions prises pour la construction des caniveaux, on empêche difficilement la pénétration de l'eau ou de matières terreuses.

243 Aussi lorsqu'une protection contre la corrosion doit être recherchée, il est recommandé d'éviter de poser des câbles sous plomb nu dans des caniveaux. Si on est dans l'obligation de le faire, on doit prendre des précautions pour éviter le contact du plomb avec l'eau ou les matières terreuses qui pénètrent dans le caniveau. On peut, par exemple, remplir le caniveau au moyen d'une composition neutre très épaisse (à base de goudron de houille, bitume, etc. ...) mélangée ou non d'un produit inerte (sable siliceux torréfié, sciure de bois, etc. ...) ou bien encore enfermer le câble dans une gaine de protection constituée d'une première couche de bitume et d'une deuxième couche de mélange bitumineux, les deux couches étant séparées par un feutre bitumé qui assure la continuité de la protection.

6. 2. 6. — *Action du bois.*

244 Il est possible que les caniveaux en bois soient dangereux par suite d'une action corrosive du bois. Certains bois sont corrosifs à cause de leur teneur en tanin (châtaignier, chêne, par exemple). D'une manière générale, tous les bois sont corrosifs, lorsqu'ils pourrissent; pour ralentir la pourriture, on imprègne le bois, au moyen d'un antiseptique; lorsqu'il s'agit de créosote, le phénol qu'elle peut contenir est susceptible de favoriser la corrosion du plomb.

6. 2. 7. — *Autres systèmes.*

- 245 Les autres systèmes de canalisations (coquilles, profilés, etc. ...) ne donnent aucune garantie pour la protection contre la corrosion. On doit donc éviter de poser dans ces canalisations des câbles sous plomb nu, si la constitution du sol ou les circonstances locales sont telles que l'on peut craindre de la corrosion.

6. 2. 8. — *Action du ciment et du plâtre.*

- 246 Le ciment est corrosif lorsqu'il restitue de la chaux, en présence d'humidité. Les ciments à prise rapide sont moins dangereux que les ciments à prise lente.
- 247 Cependant, on peut admettre que la pose des câbles sous plomb nu dans des conduites en ciment ou béton, bien construites et notamment bien asséchées, ne provoque pas de corrosion appréciable, à condition de ne poser les câbles qu'un certain temps après la construction de la conduite. On peut même admettre qu'alors il n'est pas nécessaire de passer une couche de goudron à l'intérieur des alvéoles d'une canalisation en ciment.
- 248 Le mortier à la chaux est également corrosif; on doit en tenir compte lorsqu'on est amené à faire traverser des murs par des câbles.
- 249 Le plâtre n'est pas corrosif.
-

AUTRES PROCÉDÉS DE PROTECTION

7.1. — GÉNÉRALITÉS

250 Le principe des systèmes précédemment décrits est d'éviter, autant que possible, le contact direct des enveloppes métalliques des câbles avec les substances susceptibles de les corroder. Ces systèmes ont trouvé, dans le passé, le plus large emploi. Il existe cependant des procédés différents consistant à modifier les conditions chimiques (protection chimique) ou électrochimiques (protection électrique) de réaction des corps en présence.

251 Dans l'état actuel de nos connaissances, on ne peut demander à la protection chimique que d'apporter un complément à la protection assurée par les procédés classiques. Au contraire, la protection électrique semble susceptible de constituer une solution complète du problème. Toutefois, il apparaît qu'en recourant simultanément aux procédés classiques et à la protection électrique on peut réaliser celle-ci dans des conditions beaucoup plus favorables et plus économiques. Il serait cependant prématuré d'essayer de porter un jugement général sur l'économie de l'ensemble et chaque situation particulière demande une étude spéciale.

7.2. — PROTECTION CHIMIQUE

252 7.2.1. — Il a été constaté depuis longtemps que lorsqu'un métal est plongé dans une solution corrosive, l'addition en minime quantité de certains composés chimiques, produit parfois un ralentissement ou même un arrêt de la corrosion.

253 En particulier, on a pu recourir à l'addition de très faibles proportions de silicate de sodium dans certaines eaux potables pour réduire leur pouvoir d'attaque du plomb des tuyaux dans lesquels on les faisait s'écouler.

254 Une série étendue d'expériences a montré que les silicates, les phosphates, les chromates, les molybdates et les tungstates introduits dans les eaux souterraines avaient tous un effet inhibitif sur la corrosion du plomb. Il semble que cet effet soit dû à la formation d'une pellicule insoluble qui se forme à la surface du plomb, y adhère et empêche la corrosion de se poursuivre. Il a été observé aussi que cette pellicule oppose une grande résistance au passage du courant électrique: ainsi, au cours d'essais de laboratoire, lorsque des plaques de plomb étaient soumises à l'électrolyse avec de faibles densités de courant, et qu'on ajoutait à l'eau une petite quantité d'un des sels précédemment énumérés, on a pu constater qu'il en résultait une réduction de la formation des cavités dans le plomb.

255 Il a été également établi que la présence dans les solutions corrosives, de substances colloïdales, par exemple la paraffine, est susceptible de ralentir l'attaque des métaux par cette solution, même lorsqu'on effectue l'électrolyse.

256 7.2.2. — A partir de ces observations, les exploitants de certains réseaux de câbles ont eu recours aux procédés suivants qui se sont révélés apporter un complément appréciable à la protection partiellement assurée par un choix convenable des conditions d'installation des câbles nus.

1° Application abondante d'un lubrifiant à base de vaseline ou de paraffine, sur les enveloppes des câbles au moment de leur tirage dans les conduites.

2° Application dans les mêmes conditions d'un lubrifiant constitué par une émulsion à 12,5% de silicate de sodium (contenant environ 20% de Si O_2), dans 87,5% de vaseline. Il a été observé que le silicate en suspension dans l'émulsion se diffuse très lentement dans l'eau environnante et ainsi augmente légèrement et pendant très longtemps sa teneur en silicate.

3° Utilisation de certaines bandes de textile paraffiné, pour envelopper les câbles nus en des régions où une corrosion importante est à craindre; l'application peut se faire sur des câbles posés. Elle a déjà rendu quelques services dans le cas d'exposition à la corrosion électrolytique.

7.3. — PROTECTION ÉLECTRIQUE

257 7.3.1. — Ainsi qu'il a été indiqué dans le chapitre I, tout phénomène de corrosion en milieu électrolytique est un phénomène électrochimique: lors de la corrosion d'un métal placé dans un tel milieu, toute attaque en un point et à un instant donnés est accompagnée d'un passage de courant électrique de sens déterminé. Il n'est d'ailleurs pas exclu qu'en un même point, le sens de ces courants varie constamment, ni qu'à un des sens du courant corresponde une réaction chimique n'intéressant pas le métal. Naturellement, les produits des diverses réactions qui se sont produites sont susceptibles d'intervenir dans les conditions ultérieures d'attaque ainsi que dans la détermination des phénomènes électriques concomitants.

258 Dans le cas de la corrosion chimique, ces courants électriques ont pour cause la formation de forces électromotrices au contact des diverses particules de la surface du métal avec le milieu voisin.

259 Cependant, si dans la région intéressée, on crée un champ électrique d'autre origine, on peut soit neutraliser telle ou telle de ces forces électromotrices, et dans une zone donnée, annuler les courants et arrêter les réactions, — soit altérer l'importance ou même le sens des courants. En tout cas, le produit des réactions dépend encore, en chaque point, du sens du courant résultant.

260 Dans le cas du fer ou de l'acier (notamment celui des armures des câbles), aucun phénomène de corrosion sensible n'apparaît dès qu'en chaque point il y a entrée du courant dans le métal.

261 Dans le cas du plomb, il en est le plus souvent de même: une corrosion sensible du plomb en des régions d'entrée de courant n'a été constatée, pratiquement, que dans des circonstances très particulières, notamment en présence de sels de sodium ou de calcium en forte proportion. Cependant, les conditions dans lesquelles ce phénomène peut se manifester sont encore mal connues.

262 7.3.2. — Ces considérations ont permis de dégager les principes de la protection électrique qui, avec des modalités différentes est applicable pour empêcher soit la corrosion chimique, soit la corrosion due à l'effet des courants d'origines diverses s'échangeant entre les canalisations et le sol (courants vagabonds, courants de piles géologiques). Cette protection consiste à utiliser des sources extérieures de force électromotrice reliées d'une part, à des électrodes auxiliaires (électrodes de sortie), d'autre part, à la canalisation à protéger, et disposées de telle sorte que, sur toute sa longueur, celle-ci joue le rôle de cathode.

263 Les courants débités dans le sol par la canalisation à protéger ne doivent pas être plus intenses qu'il n'est nécessaire pour obtenir une protection efficace: il y a, en effet, intérêt économique à ne pas dépenser sans raison une énergie inutile et à ne pas produire une corrosion exagérée des électrodes auxiliaires. D'autre part, une installation de protection ne doit en aucun cas constituer elle-même un danger pour les canalisations plus ou moins éloignées ne participant pas elles-mêmes à la protection:

264 De là, résultent un certain nombre de conditions importantes auxquelles doivent satisfaire les divers éléments d'un système de protection électrique.

265 1) — La canalisation à protéger doit présenter une excellente continuité électrique: il peut être envisagé de la sectionner en tronçons séparés par des joints isolants ou résistants, mais alors chacun de ces tronçons doit satisfaire à la condition énoncée et, en règle générale, être relié directement au circuit de protection.

266 2) — Les anodes auxiliaires doivent présenter en permanence une faible résistance de mise à la terre et assurer l'écoulement du courant au sol avec une dispersion régulière. Leur disposition doit être telle que la densité des courants captés par la canalisation à protéger varie elle-même assez régulièrement tout le long de celle-ci et reste dans des limites modérées. Ces électrodes de sortie doivent, en outre, offrir une résistance suffisante à la corrosion.

- 267 3) — La source doit être établie de manière à pouvoir toujours fournir en toutes circonstances des courants de sens convenable et de valeur suffisante.
- 268 4) — Les circuits électriques extérieurs assurant la liaison entre la source, la canalisation à protéger et les électrodes auxiliaires, doivent pouvoir être adaptés aux variations des sollicitations dans le temps et notamment empêcher l'inversion de polarité de la canalisation.
- 269 5) — Il y a lieu d'éviter toute liaison métallique ou tout contact métallique direct entre la canalisation à protéger et les masses ou canalisations métalliques extérieures ne participant pas au système de protection.
- 270 7. 3. 3. — La condition de continuité électrique de la canalisation est remplie naturellement d'une manière satisfaisante par les câbles de télécommunication avec enveloppe en plomb ou alliage de plomb. Lorsque ces câbles sont armés, et pour que l'armure elle-même soit protégée, il convient d'assurer sa continuité électrique aux points d'épissures soit au moyen d'un pont extérieur, soit en reliant en ces points, par des connexions soudées, le toron des fers d'armure à l'enveloppe du câble.
- 271 7. 3. 4. — L'absorption par le câble d'un courant dont la densité varie lentement et régulièrement le long de son parcours est bien assurée dans le cas d'une électrode de sortie constituée par un long conducteur, de faible résistance. Cette condition se trouve réalisée, dans le cas de la protection contre les effets des courants vagabonds dus à une installation de traction électrique par la ligne des rails elle-même, tant que ses joints sont en bon état. Naturellement, même s'il ne s'agit pas d'une ligne électrifiée, une telle électrode convient encore parfaitement.
- 272 Hormis ce cas, on se trouve habituellement dans la nécessité d'utiliser comme électrodes auxiliaires des prises de terre ordinaires (appelées souvent alors « déversoirs »). Il est avantageux, quand on le peut, de ne point les disposer trop rapprochées du câble à protéger. D'autre part, leur nombre, le long de la ligne, doit être multiplié autant qu'il convient. La zone d'action utile d'un déversoir dépend de la résistance longitudinale du câble, de la résistivité du sol dans la région où il est posé, de l'éloignement de l'électrode au câble et de la force électromotrice mise en jeu. Dans l'état actuel de nos connaissances, il ne paraît guère possible de donner à ce sujet d'indications beaucoup plus précises et, lors de l'étude de chaque situation particulière, l'exécution de mesures sur le terrain semble être la meilleure manière de procéder.
- 273 7. 3. 5. — Dans le cas de protection contre les courants vagabonds d'une ligne de traction électrique, on s'efforce d'utiliser, comme courant de protection, une dérivation intentionnelle des courants de traction eux-mêmes (drainage électrique); s'il est nécessaire, on leur superpose des courants produits par des générateurs supplémentaires intercalés dans les circuits reliant la canalisation à protéger, soit à la ligne des rails, soit à un déversoir (soutirage). Des indications plus complètes sur les dispositions à prendre pour appliquer rationnellement ces procédés et notamment assurer l'adaptation des circuits aux conditions du moment sont données dans les « Recommandations concernant la protection des câbles souterrains contre les courants vagabonds provenant des installations de traction électrique ».
- 274 Lorsqu'il s'agit simplement de combattre la corrosion spontanée (corrosion chimique ou corrosion électrolytique due aux courants de piles géologiques), le problème de l'adaptation aux conditions du moment ne se pose pas. On peut donc utiliser des générateurs très simples avec connections invariables à la canalisation à protéger et aux électrodes de sortie. Ainsi, on a notamment employé de petits redresseurs alimentés par le courant des réseaux de distribution électrique ou encore de petites machines dynamo-électriques, avec batteries d'accumulateurs en tampon (protection cathodique élastique).
- 275 7. 3. 6. — La source de courant peut encore être constituée simplement, dans ces cas, par la pile obtenue en disposant dans le sol, à proximité de la canalisation à protéger et reliée directement à elle, une masse d'un métal plus électronégatif que celui de la canalisation et suffisamment réactif. Cette masse sert à la fois d'élément de réalisation de la pile et d'électrode de sortie: on la désigne sous le nom d'*anode réactive*. Cette anode doit être placée en un endroit où l'humidité naturelle est permanente, enrobée dans un milieu dépolarisant approprié et placée assez profondément (1 à 3 mètres, par exemple). Elle doit avoir une forme convenable pour présenter une faible résistance de passage à la terre et une masse assez importante pour avoir quelque durée, car elle est corrodée progressivement.

- 276 Dans le cas de canalisations en acier ou en plomb, les métaux les plus convenables pour constituer des anodes réactives sont l'aluminium commercial, certains alliages de magnésium et le zinc pris dans un grand état de pureté (zinc électrolytique). Dans le cas du zinc, les couples locaux dus aux impuretés ne contribuent en effet qu'à accélérer la corrosion de l'anode sans aucune utilité pour la protection recherchée.
- 277 Les anodes réactives doivent être multipliées le long de la canalisation autant qu'il convient pour qu'une entrée suffisante de courant se produise en chaque point de celle-ci. La zone d'action d'une électrode dépend des mêmes facteurs que ceux qui ont été indiqués pour les déversoirs et il est recommandable de la déterminer sur place lors de chaque cas particulier d'application du procédé.
- 278 Une anode réactive comportant quelques kilogrammes de métal paraît susceptible de durer plusieurs années; il convient cependant de prévoir une surveillance de la marche de l'installation de protection et de l'état de conservation des anodes afin de s'assurer que celles-ci gardent leur efficacité.
- 279 7. 3. 7. — Il a été indiqué dans le Chapitre V que les revêtements ordinaires des câbles, au moins ceux de la première catégorie, n'avaient souvent qu'une efficacité limitée car, surtout en vieillissant, ils manquaient d'étanchéité. D'autre part, il est souvent difficile d'obtenir qu'ils ne subissent pas quelques dégradations au cours de la manipulation des câbles à l'occasion de leur pose. On a donc envisagé d'utiliser encore la protection électrique dans le cas des câbles à revêtement: il a été reconnu que l'application simultanée de ces deux systèmes de protection était particulièrement heureuse, car chacun d'eux contribue à donner à l'autre une efficacité accrue. En effet, la présence d'un revêtement étend les zones d'action des différentes sources de courant protecteur, d'autant plus d'ailleurs que le revêtement assure un meilleur isolement du câble. Cela permet donc de réduire au minimum le courant à mettre en œuvre et entraîne éventuellement des économies sur les sources. D'autre part, sous l'action du courant protecteur, les effets de vieillissement des revêtements sont considérablement amoindris et la qualité de l'isolement ainsi que l'étanchéité du revêtement se stabilisent rapidement à des niveaux très nettement supérieurs à ceux qui seraient atteints sans cette action.
- 280 La protection électrique de câbles posés dans des canalisations (conduites, caniveaux, galeries ...) bien construites, s'effectue encore dans des conditions favorables, car elle n'exige alors que des courants d'importance réduite.
- 281 7. 3. 8. — L'emploi simultané des procédés classiques de protection (revêtements, conduites ...) et de la protection électrique sous ses diverses formes est recommandable aussi bien pour lutter contre la corrosion spontanée que contre celle que peuvent produire les courants vagabonds, étant entendu que la protection électrique doit être dans chaque cas appropriée aux conditions particulières rencontrées. La détermination de la solution la plus favorable au point de vue économique (emploi unique de tel ou tel procédé, ou emploi simultané de plusieurs d'entre eux) dépend considérablement de ces conditions. D'autre part, certaines données du problème sont encore à demander à l'expérience. Il semble donc que chaque situation réclame une étude spéciale.
-

CHAPITRE VIII

CONCLUSIONS CONSEILS RELATIFS À L'ÉTABLISSEMENT DES LIGNES EN CÂBLES

- 282 8. 1. — Les chapitres précédents font connaître avec détails quelles peuvent être les causes de la corrosion, quelles sont les circonstances dans lesquelles celle-ci peut se manifester et quels sont les moyens apparaissant les meilleurs ou les plus faciles à mettre en œuvre, qui permettent de l'éviter ou, au moins, de la limiter. Le présent chapitre n'est qu'un rappel, sous forme résumée, des conclusions auxquelles conduit l'étude de ces différents points.
- 283 8. 2. — Il ne semble pas que la seule considération de la résistance à la corrosion soit un élément de préférence entre le plomb et ses alliages usuels, pour la constitution des enveloppes des câbles.
- 284 8. 3. — Le choix du mode de construction à adopter pour les lignes en câbles est, dans la majeure partie des cas, imposé par des conditions autres que celles de la protection contre la corrosion (invariabilité ou évolution future des réseaux, facilités d'exécution des travaux, risques de dégradations par action mécanique, etc. ...). Cependant, lorsqu'il paraît possible, compte tenu de toutes autres conditions techniques et économiques, d'envisager plusieurs solutions, la considération de la protection contre la corrosion est un élément important de décision.
- 285 8. 4. — Lorsque la protection contre la corrosion doit être recherchée, il faut éviter, en principe, de poser directement dans le sol des câbles sous plomb ou alliage de plomb nus. La pose des câbles en contact immédiat avec le sol est permise s'il s'agit de câbles recouverts d'un revêtement protecteur imperméable, chimiquement neutre et dont la conservation est certaine: ce peut être le cas des câbles armés.
- 286 8. 5. — Cependant, dans le cas des revêtements ordinaires en textiles imprégnés (revêtements dits de la 1^{re} catégorie) (voir chapitre V), une telle protection se révèle généralement insuffisante dans les terrains très humides ou marécageux, les sols particulièrement agressifs, les terrains dans lesquels sont apportés des produits corrosifs: acides minéraux, cendres, scories, engrais artificiels, matières organiques provenant de déchets industriels, de déjections animales ou de décompositions végétales.
- 287 Si la traversée de régions où le sol présente ces caractères ne peut être évitée, il y a intérêt à adopter pour ces passages soit l'emploi de câbles avec revêtements continus et imperméables (revêtements dits de la 2^e catégorie), soit la pose en conduites ou en caniveaux. D'autre par il est avantageux, en toutes circonstances, et quand il est possible, de placer les câbles enfouis dans le sol entourés de sable, et d'éviter le contact du câble avec de la terre argileuse.
- 288 8. 6. — Les câbles avec enveloppe nue en plomb ou alliage de plomb peuvent être utilisés dans les conduites, galeries, parfois dans les caniveaux et comme câbles aériens.
- 289 Il y a alors lieu d'éviter tout d'abord l'attaque du métal par la canalisation. Les ciments peuvent être corrosifs, en présence d'humidité, tant qu'ils contiennent de la chaux libre; celle-ci cependant, tend à se neutraliser peu à peu sous l'action de l'acide carbonique de l'air. Il est donc recommandable de n'utiliser de canalisations en ciment qu'après un temps de construction suffisant pour que cette neutralisation soit complète, à moins qu'on évite le contact direct du métal avec le ciment. De même, l'utilisation de joints en ciment exige certaines précautions.
- 290 Les caniveaux de bois imprégnés peuvent avoir une action corrosive si le bois a une forte teneur en tanin ou est riche en acides. D'une manière générale, la pourriture de tous les bois engendre de l'acide acétique, agent de corrosion particulièrement actif (formation de cêruse).

- 291 Quand un câble est placé dans un caniveau ou une conduite qui sont remplis d'une composition isolante, celle-ci doit être chimiquement neutre et, notamment, exempte de phénols ou d'acides.
- 292 Lorsque la protection contre la corrosion doit être recherchée, les conduites pour câbles nus doivent être établies de manière à empêcher autant que possible la pénétration de l'eau ou de matières terreuses, et à permettre que l'eau qui y pénétrerait par infiltration ou condensation ne puisse y séjourner.
- 293 8. 7. — Un appoint à la protection des enveloppes nues contre la corrosion peut être apporté par l'emploi d'inhibiteurs, c'est-à-dire de substances qui, sans empêcher complètement les réactions chimiques de se produire, ralentissent leur vitesse. En pratique, de bons résultats ont été obtenus en appliquant au moment de la pose, sur la surface des enveloppes des câbles, un copieux enduit de vaseline ou, mieux encore, une émulsion de silicate de soude dans la vaseline.
- 294 8. 8. — Lorsqu'on utilise les égoûts pour l'installation de câbles, on doit disposer ceux-ci de manière à les protéger contre le contact, même temporaire, avec les eaux ou autres substances présentes. On a intérêt à utiliser des câbles pourvus d'un revêtement protecteur imperméable et de conservation certaine.
- 295 8. 9. — En cas de traversée de blocs de maçonnerie, on doit éviter que les enveloppes nues de plomb ou d'alliages de plomb entrent en contact avec du mortier de chaux ou de ciment frais, au besoin en disposant contre le câble un fourreau constitué par du vieux mortier.
- 296 Le mortier de plâtre n'est pas dangereux.
- 297 8. 10. — Les câbles aériens risqueront principalement d'être dégradés par désagrégation intercrystalline. Ils peuvent cependant être exposés à la corrosion chimique dans des régions où se rencontrent des fumées ou des poussières riches en acides.
- 298 8. 11. — Le tracé des lignes de câble est généralement imposé par la nature du réseau à installer. Il peut arriver cependant, notamment dans le cas des câbles interurbains, que plusieurs variantes puissent être prises en considération. En vue de réduire les risques de corrosion, on a intérêt à éviter le passage dans les régions marécageuses, dans les terrains trop humides ou agressifs, dans certaines zones industrielles où les eaux peuvent se charger de produits corrosifs. Parfois, de petites corrections de tracé permettent de s'écarter utilement d'ateliers, d'usines, de fermes qui déversent dans le sol des substances nocives.
- 299 8. 12. — Néanmoins, le plus souvent, le choix entre plusieurs tracés possibles de lignes assez longues n'est pas déterminé par la considération de la corrosion chimique. En revanche, lorsqu'on est en présence d'installations de traction à courant continu, la nécessité de diminuer les risques de corrosion électrolytique, qui d'ailleurs peuvent aggraver ceux de corrosion chimique, est un élément d'étude de grande importance.
- 300 La protection des câbles contre l'action électrolytique des courants vagabonds dus aux courants de traction fait l'objet d'un autre document du C. C. I. F. « Recommandations concernant la protection des câbles souterrains contre les courants vagabonds provenant des installations de traction électrique » (actuellement en préparation). En outre de dispositions destinées à réduire l'importance des courants vagabonds ou de soustraire plus ou moins les câbles à leur influence, cette protection met en œuvre les procédés généraux étudiés dans le présent document.
- 301 8. 13. — Depuis quelques années, a été mise au point une méthode de protection contre l'électrolyse (protection électrique), consistant à empêcher la corrosion des canalisations métalliques souterraines en transformant, au moyen de dispositions appropriées, celles-ci en cathodes, la source de courant étant, suivant les circonstances, empruntée au réseau de traction ou réalisée au moyen de générateurs auxiliaires. Ce principe, est très général et s'applique à la protection des câbles contre toute espèce de corrosion.
- 302 8. 14. — Il y a lieu de noter, en particulier que certains phénomènes électrolytiques ont une origine différente des courants vagabonds industriels et ne peuvent être aisément séparés des phénomènes ordinairement désignés comme dus à la corrosion chimique.

303 Tel est, par exemple, le cas des piles géologiques. Une telle situation se rencontre quand une canalisation métallique forme avec le milieu ambiant des éléments galvaniques dont la force électromotrice est différente en diverses sections de cette canalisation. Cela peut provenir d'une différence de constitution du sol, ou même simplement d'une différence de concentration des électrolytes avec lesquels la canalisation est en contact. Il en résulte alors la circulation le long de la canalisation d'un courant plus ou moins intense et dans les zones de sortie de ce courant, on peut parfois observer une corrosion électrolytique sensible. Cet effet semble surtout s'être manifesté avec une certaine importance dans le cas de tuyaux métalliques nus posés directement dans le sol et de grande longueur. Il y a été remédié, par l'emploi, entre autres, d'anodes réactives.

304 8. 15. — On peut mentionner encore le cas des courants telluriques qui, lorsqu'ils sont partiellement dérivés par une canalisation métallique, peuvent donner lieu à une corrosion électrolytique dans les zones de sortie du courant. Il ne semble pas cependant que ce phénomène ait eu jusqu'à présent quelque gravité.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
Préambule	3
Introduction	3
CHAPITRE I. — Différents genres de corrosions et processus des corrosions	5
1. 1. — Convention de définitions	5
1. 2. — Corrosion chimique	5
1. 3. — Corrosion électrolytique	6
1. 4. — Remarques	7
CHAPITRE II. — Moyens de distinguer les différents genres de corrosion	8
2. 1. — Généralités	8
2. 2. — Méthode d'examen	9
2. 2. 1. — Examen de l'eau	9
2. 2. 2. — Examen de l'enveloppe du câble	9
2. 2. 3. — Examen du produit de corrosion	9
CHAPITRE III. — Caractéristiques physico-chimiques et biologiques des sols	11
Avant-propos	11
3. 1. — Généralités	11
3. 2. — Les divers terrains	12
3. 2. 1. — Classification	12
3. 2. 2. — Indications spéciales	13
3. 3. — Corrosion produite par des bactéries	13
3. 4. — Conclusions	14
3. 5. — Valeur du pH des sols et des eaux et manière de le déterminer	14
3. 6. — Valeur du rH des sols et des eaux et manière de le déterminer	17
CHAPITRE IV. — Constitution de l'enveloppe des câbles	20
4. 1. — Généralités	20
4. 2. — Propriétés du plomb et de ses alliages	20
4. 3. — Emploi de matières plastiques au lieu de plomb	21
4. 4. — Emploi de métaux autres que le plomb	22
CHAPITRE V. — Revêtements et armures	23
5. 1. — Généralités	23
5. 2. — Revêtement de la 1 ^{re} catégorie	23
5. 3. — Revêtements de la 2 ^e catégorie	24
5. 4. — Armures	25
Annexe I — Exemple de spécification relative à l'huile d'anthracène et aux goudrons de houille	26
Annexe II — Exemple de spécification relative aux bitumes, asphaltes et produits de la distillation du pétrole	27
Annexe III — Constatacion de l'absence de phénol libre et dosage du phénol	28

	Page
CHAPITRE VI. — Conduites, caniveaux, galeries et chambres de tirage	30
6. 1. — Description sommaire des divers systèmes	30
6. 1. 1. — Généralités	30
6. 1. 2. — Galeries	30
6. 1. 3. — Conduites multitubulaires	30
6. 1. 4. — Conduites monolithes	30
6. 1. 5. — Conduites unitaires	31
6. 1. 6. — Chambres.	31
6. 1. 7. — Autres systèmes.	31
6. 2. — Précautions à prendre lors de la construction des canalisations ou de la pose des câbles dans les canalisations	31
6. 2. 1. — Généralités	31
6. 2. 2. — Galeries	32
6. 2. 3. — Conduites.	32
6. 2. 4. — Chambres.	32
6. 2. 5. — Caniveaux	32
6. 2. 6. — Action du bois	32
6. 2. 7. — Autres systèmes.	33
6. 2. 8. — Action du ciment et du plâtre	33
CHAPITRE VII. — Autres procédés de protection	34
7. 1. — Généralités	34
7. 2. — Protection chimique	34
7. 3. — Protection électrique	35
CHAPITRE VIII. — Conclusions. — Conseils relatifs à l'établissement des lignes en câbles	38
