Protection anticorrosion de conduites en fonte ductile

L'auteur travaille entre autres depuis plusieurs années sur les thèmes corrosion et protection contre la corrosion dans différents pays européens. Il est membre de divers comités techniques pour la normalisation internationale et nationale en Allemagne. Travaillant en France et en Allemagne, il lui semblait intéressant de publier ses connaissances dans les deux pays.

Norbert Klein

La protection anticorrosion extérieure et intérieure a évolué depuis l'introduction des tuyaux et raccords en fonte ductile. Aujourd'hui, il existe différents revêtements extérieurs et intérieurs. Alors que les revêtements renforcés tels que les revêtements extérieurs en polyéthylène, en polyuréthanne ou en mortier de ciment sont spécifiés dans les normes, il n'y a que peu d'informations dans les normes produits sur la nature et la fonction des revêtements standard basés sur une couche de zinc ou une couche de zinc-aluminium avec couche de finition. C'est la raison pour laquelle ces revêtements sont au centre de cette publication. Après l'historique et l'observation des systèmes de corrosion, les possibilités de protection anticorrosion des conduites en fonte ainsi que le mode d'action des revêtements basés sur une couche de zinc ou une couche de zinc-aluminium avec couche de finition sont décrits. Les explications permettent d'abord de mieux comprendre les mesures disponibles et de choisir les systèmes appropriés de protection contre la corrosion. En outre, les informations peuvent aussi être utiles lors de l'évaluation de l'état des conduites en fonte existantes.

ABSTRACT

Anti-corrosion protection of cast iron ductile pipes.

External and internal anti-corrosion protection methods have evolved since cast iron ductile pipes and connectors were first introduced. Whilst reinforced coatings such as external coatings of polyethylene, polyurethane and cement mortar are specified in the standards, there is not much information in product standards on the nature and function of standard coatings based on a layer of zinc or a layer of zinc-aluminium with a finishing layer, and this is the reason why these coatings are the focus of this publication. A history and observation of corrosion processes is given, followed by a description of the potential of anti-corrosion protection for cast iron piping along with the mode of action of coatings based on a layer of zinc or a layer of zinc-aluminium with a finishing layer. The explanations are an opportunity to learn more about the measures available and to select suitable corrosion protection systems. Additionally, the information could be useful in the evaluation of the condition of existing cast iron piping.

Historique

L'apparence des tuyaux et des raccords en fonte ductile a beaucoup changé au cours du temps. Alors que tuyaux et raccords, lors de leur introduction dans les années 60, étaient noirs, la palette de couleurs est aujourd'hui variée. L'une des raisons était le souhait de l'utilisateur de différencier par les couleurs les fluides transportés: bleu pour l'eau potable, jaune pour le gaz, brun ou rouge pour l'eau usée.

Mais il n'y a pas seulement eu modification de l'apparence mais aussi diversité des systèmes anticorrosion. Dans les années

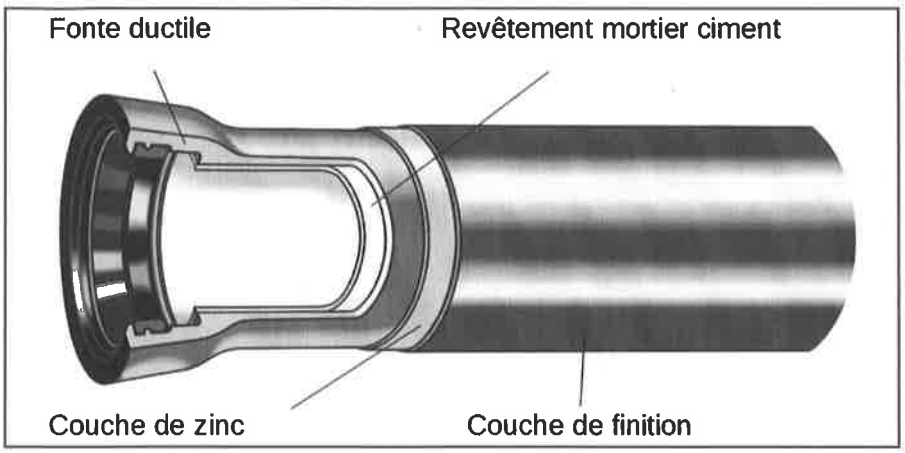


Figure 1: Tuyau en fonte ductile avec protection anticorrosion standard (cf. [1]).

1970, le revêtement extérieur de zinc avec couche de finition en bitume et le revêtement intérieur de mortier ciment sont devenus le standard. Par conséquent, il était nécessaire de créer les normes correspondantes. En Allemagne, les normes DIN et DVGW sur les revêtements sont venues compléter les normes produits. Les séries de normes DIN 19690 (conduites assainissement) et DIN 28600 (conduites gaz et eau) ont été publiées comme conditions de livraison techniques pour les tuyaux et raccords en fonte ductile. Dans les années 1980 s'est rajoutée la série de normes DIN 30674 pour tous les revêtements extérieurs en usage à l'époque et enfin la norme DIN 2614 pour le revêtement intérieur en mortier de ciment. La norme DIN 30675-2 indiquait quel revêtement était approprié pour les sols avec une certaine corrosivité selon DIN 50929-3 ou DVGW GW 9 (A).

La parution des normes européennes pour tuyaux et raccords en fonte ductile, EN 545, EN 598 et EN 969 apporta un changement important. Ces normes devaient remplacer en grande partie les normes produits citées ci-dessus. Les revêtements standards, extérieur en zinc avec couche de finition et intérieur en mortier de ciment, furent aussi intégrés, cependant seulement avec les exigences et tests essentiels. L'idée était que l'utilisateur puisse, sur les bases de ces normes, acheter un tuyau ou un raccord standard n'importe où en Europe. Mais dès la demande de jonctions ou de revêtements pour forte corrosivité, des normes spéciales devinrent nécessaires. C'est ainsi que de nouvelles normes EN sur les revêtements extérieurs polyéthylène, polyuréthanne et mortier ciment parurent après l'année 2000. De plus, le revêtement en alliage zinc-aluminium, introduit entretemps, devait trouver sa place dans les normes. Cependant, les exigences et tests à ce sujet furent insignifiants.

L'exigence de produits certifiés constitua une autre nouveauté, surtout après la parution en 2000 de la version révisée DIN 2000. Il fallait une norme qui fixe les tests nécessaires à la certification DVGW des produits de construction dans le domaine de l'eau potable et du gaz. Ce fut d'abord DVGW VP 545 et depuis 2010 DVGW W 337 (P). Contrairement à la norme EN 598, harmonisée entre-temps, qui sert de base de test pour les produits assainissement, l'absence d'un système européen d'acceptation (EAS) empêche aujourd'hui encore que la norme EN 545 serve de base de test pour tuyaux et raccords en fonte ductile dans le domaine de l'eau potable.

Compte tenu de la diversité actuelle des produits, il est difficile pour l'utilisateur d'avoir une vue d'ensemble et de choisir les tuyaux et raccords en fonte ductile appropriés. Il ne suffit pas de choisir des produits d'après leur apparence ou même de commander d'après les anciennes spécifications. Le but de cet exposé est surtout de faciliter la compréhension des systèmes anticorrosion standard peu expliqués dans les normes afin de pouvoir choisir les revêtements appropriés.

Bref aperçu sur la corrosion et les systèmes de corrosion

La fonte ductile, comme l'acier, fait partie des matériaux ferreux non ou peu alliés. Non protégés, les éléments de construction dans ces matériaux rouillent plus ou moins dans le sol. L'étendue de la corrosion peut conduire à des dommages et même finalement à l'avarie de corrosion. Une protection anticorrosion appropriée est donc nécessaire et aujourd'hui obligatoire pour les pièces de construction dans les conduites en fonte ductile ou en acier. À titre d'exemple, la figure 1 montre la protection anticorrosion standard du côté emboîtement d'un tuyau en fonte.

Il faut connaître les causes de la corrosion pour comprendre le fonctionnement de la protection anticorrosion. Le moteur de la corrosion est l'énergie potentielle accumulée dans le métal. Le métal ferreux, dans son environnement naturel, se situe à un niveau d'énergie plus élevé que le minerai. Il tend à s'oxyder et à revenir au niveau d'énergie bas. La figure 2 illustre de façon simple les processus thermodynamiques lors de la fusion du minerai de fer et lors de la corrosion du fer non allié dans le sol ou dans l'eau.

La corrosion du fer non allié (Fe) dans le sol ou dans l'eau se déroule d'abord en deux réactions partielles, représentation ici à titre d'exemple dans le sol aéré (O_2):

Oxydation du fer

$$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2\,e^-$$

Réduction de l'oxygène

$$\tfrac{1}{2}\,O_2 + H_2O + 2\,e^- \rightarrow 2\,OH^-$$

Réaction totale

$$Fe + \tfrac{1}{2}\,O_2 + H_2O \rightarrow Fe^{2+} + 2\,OH^-$$

Le fer divalent formé lors de la réaction primaire peut, lors des réactions suivantes, s'oxyder en dérivé de fer trivalent faiblement soluble, hydroxyde ou oxyde-hydroxyde de fer (III), ou créer d'autres composés avec diverses substances.

L'oxydation du fer est appelée réaction anodique car le fer entre en solution à l'anode. La réduction de l'oxygène se déroule à la

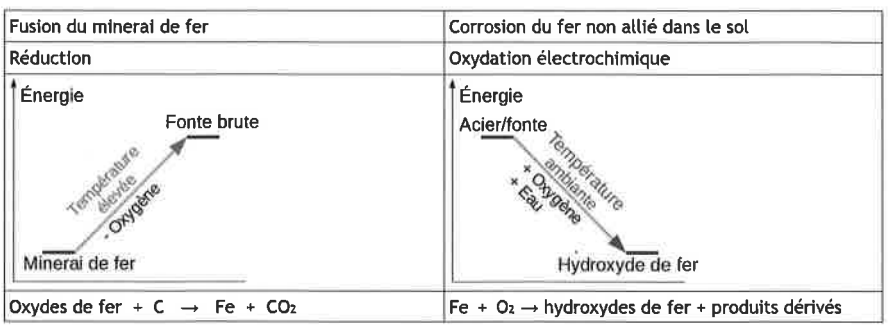


Figure 2: Matériau ferreux, processus, thermodynamique et réactions schématisées.

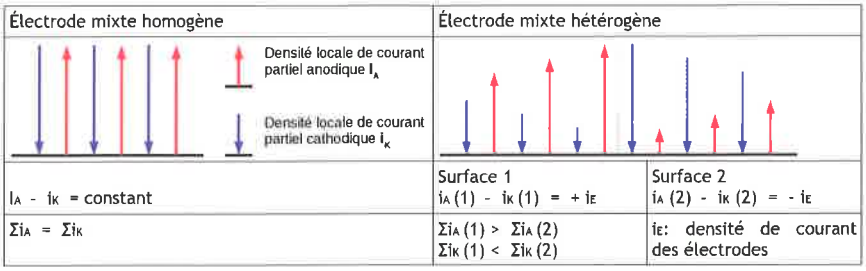


Figure 3: Répartition de la densité de courant partielle sur l'électrode mixte en cas de corrosion libre selon DVGW GW 9 (A).

cathode. Les ions d'hydroxyde (OH^-) apparaissant ainsi élèvent le pH à la cathode. En contrepartie, le pH diminue à l'anode suite aux réactions dérivées du fer divalent.

Lorsqu'une surface métallique homogène entre en contact avec une solution électrolytique aqueuse, les deux réactions partielles se déroulent alors sur toute la surface. L'attaque de la surface est pratiquement homogène. La figure 3 à gauche montre les réactions sur une électrode mixte homogène. Les zones anodique et cathodique se répartissent ici de façon homogène sur la surface métallique. Ceci conduit à une corrosion généralisée ou uniforme. Le résultat est illustré dans la figure 4 à gauche.

Les zones anodiques et cathodiques sont réparties de façon différente lorsque la surface métallique n'est pas homogène ou en cas de milieu non homogène dans le sol. La figure 3 à droite illustre ces zones. À noter que dans les zones anodiques (surface 1), la réaction anodique prédomine sur la réaction cathodique. Le processus se déroule à l'inverse dans les zones cathodiques (surface 2 dans la figure 3 à droite). Un courant passe entre les zones anodiques et cathodiques. La densité de courant des électrodes résulte des surfaces de l'anode et de la cathode. Les électrodes mixtes hétérogènes sont la cause de la corrosion localisée. La figure 4 à droite illustre le résultat de l'attaque irrégulière.

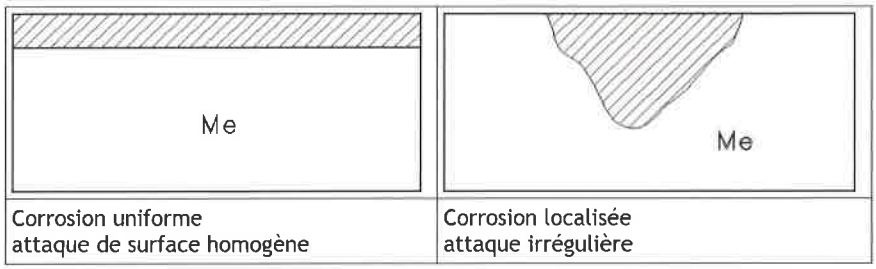


Figure 4: Aspect et dommage de corrosion uniforme ou localisée selon DVGW GW 9 (A).

La fonction primordiale des conduites est l'étanchéité. La corrosion localisée est donc considérée ici comme la forme de corrosion la plus importante et à éviter. Par contre, c'est la résistance qui prédomine dans les éléments de construction tels que les fondations de mât, piles ou palplanches. L'annexe C dans la norme EN 12501-1 liste ces rapports. Le paragraphe suivant concerne les mesures à prendre afin d'éviter les dommages de corrosion sur les conduites.

Systèmes de corrosion et protection anticorrosion des conduites

La norme EN ISO 8044 définit la protection contre la corrosion comme la modification d'un système de corrosion permettant de réduire les dommages de corrosion. Les systèmes de corrosion sur les conduites en fonte sont plus limités que sur les conduites en acier. Les jonctions automatiques en usage actuellement ont, en version non verrouillée, des joints en caoutchouc à résistance électrique élevée. Montées de façon appropriée, ces jonctions interrompent la conductivité longitudinale de la conduite. L'utilisation de ces jonctions implique donc que les systèmes de corrosion, selon le cas, ne peuvent concerner qu'un tuyau ou un raccord. Par contre, pour les jonctions verrouillées, les sections de conduites de ce type sont respectivement considérées comme des systèmes de corrosion. Les éléments de verrouillage en métal font plus ou moins le pont électrique entre bout-uni et emboîtement dans les jonctions. La protection anticorrosion doit donc s'adapter à ces conditions.

Protection anticorrosion extérieure des conduites en fonte

Différentes mesures et divers procédés sont d'usage courant pour protéger les

Tableau 1: Mesures et procédés pour la protection extérieure contre la corrosion des conduites en fonte

Mesures	Procédés	Mise en œuvre	But
Éviter l'inhomogénéité et hétérogénéité	Surface homogène des éléments de construction Milieu homogène autour de la conduite	Grenailler, éliminer couche d'oxyde et corps étrangers Remblai homogène	Éviter la corrosion localisée
Diminuer la concentration en électrolyte	Augmentation de la résistivité du sol	Remblai adapté à la protection anticorrosion	Diminuer la vitesse de corrosion
Diminuer les processus de diffusion	Revêtement mince, manchage	Manchage de polyéthylène ISO 8180, DIN 30674-5	Diminuer la vitesse de corrosion
Séparer le métal du milieu	Barrière par revêtement en matière plastique sans pores	Revêtement PE (tuyaux) EN 14628 Revêtement PUR (tuyaux) EN 15189 Revêtement EP (raccords) EN 14901 Bandes ou matériau thermorétractable DIN 30672	Vitesse de corrosion inférieure à 10 µm/a
Formation de couches de protection	Couche de Zn- ou de ZnAl + couche de finition	Inclue dans les normes produits EN 545, EN 598, EN 969, DIN 30674-3	vitesse de corrosion faible, auto-cicatrisation
Formation de couche de protection anticorrosion sous une couche de protection mécanique	Couche de Zn + Mortier de ciment modifié par des matières plastiques	Revêtement extérieur en mortier de ciment (tuyaux) EN 15542	Protection mécanique, vitesse de corrosion faible, auto-cicatrisation

conduites en fonte contre la corrosion. Le tableau 1 indique ces mesures et procédés ainsi que leur mise en œuvre et leur but. Les commentaires suivants illustrent les mesures.

Éviter les inhomogénéités et hétérogénéités

Selon les explications dans l'annexe C de la norme EN 12501-1, il faut éviter la corrosion localisée sur les conduites. Des mesures sont à envisager, d'une part sur l'élément lui-même, c'est-à-dire tuyau et raccord, d'autre part sur le milieu autour de la conduite. En pratique, divers procédés entrent en application, seuls ou combinés.

Les tuyaux en fonte centrifugée se recouvrent d'une peau d'oxyde lorsqu'ils passent dans le four à recuire. Cette couche d'oxyde est plus ou moins poreuse et peut être en partie endommagée lors de la manipulation. Il en résulte alors différentes zones de surface qui conduisent ensuite à des électrodes mixtes hétérogènes dans le sol (figure 5). Les revêtements minces, autrefois usités en bitume, ne modifient que peu ces situations. La peau d'oxyde n'est éliminée par grenaillage que dans peu de cas, par exemple sur les tuyaux en fonte destinés à certaines conduites de gaz. La situation est différente pour les raccords. Les raccords fabriqués par coulée en sable sont nettoyés et grenaillés sans exception avant d'être revêtus. Les raccords n'ont donc, contrairement aux tuyaux, pas de couche d'oxyde sur leur surface.

Un milieu homogène autour de la conduite est obtenu fondamentalement par du remblai à la composition régulière. Cependant, des zones tout de même différentes peuvent apparaître, surtout sous l'action de la nappe phréatique ou des courants vagabonds. C'est ainsi que les niveaux de la nappe phréatique, variables dans le temps, conduisent à des aérations différentes. Les courants vagabonds peuvent influencer les sections de conduites à conductivité longitudinale différemment dans leurs zones d'entrée et de sortie. De plus, il faut noter que des travaux ultérieurs sur les conduites peuvent perturber le milieu homogène.

En cas de remblai homogène, la vitesse de perte par corrosion peut être élevée lorsque la conduite repose dans une nappe phréatique saline. Des épaisseurs de parois renforcées pour les tuyaux et les raccords pourraient compenser dans ce cas l'importante perte de surface. Cependant, cette mesure n'a presque plus cours aujourd'hui. Il faut avant tout éviter des matériaux de remblai pollués à basse résistivité.

Lorsque les conduites restent au-dessus du niveau de la nappe phréatique, la corrosivité est faible.

Du remblai homogène et adapté à la protection anticorrosion, par exemple du sable de quartz de haute résistivité et propre, ou un manchage de polyéthylène étroitement ajusté permettent d'atteindre une moindre vitesse de corrosion et une faible perte. Bien que le manchage de polyéthylène soit normalisé (DIN 30674-5 ou ISO 8180), il n'est plus que rarement utilisé.

Barrière par revêtement en matière plastique sans pores

Les revêtements en matière plastique sans pores séparent le matériau du tuyau du sol environnant. Les principales mesures suivantes sont appliquées pour la protection contre la corrosion extérieure :

- Revêtement en thermoplaste extrudé, comme le polyéthylène (PE) ;
- Revêtement avec bandes ou matériaux thermorétractables ;
- Revêtement en duromères, comme le polyuréthanne (PUR) ou l'époxy (EP).

L'absence de pores est vérifiée après application. L'essai de détection de porosité est effectué avec les tensions indiquées dans les normes produits. Mais il est aussi important que le revêtement dans le sol reste sans pores, ce qui implique une pose soigneuse.

Les revêtements en matière plastique sans pores ne préviennent pas la corrosion. Mais ils réduisent les attaques de corrosion à un niveau techniquement acceptable. La raison en est la perméation d'oxygène et de vapeur d'eau à travers la couche de plastique. Ceci conduit à une corrosion lente du fer situé en-dessous. Des études de longue durée confirment ceci pour tous les revêtements en matière plastique utilisés [2]. Des vitesses de corrosion inférieures à 10 µm/a sont considérées comme techniquement acceptables. Elles restent nettement inférieures pour la plupart des revêtements.

Les gradients de température sont particulièrement critiques, notamment pour les revêtements minces (DIN 50928). La différence de température entre le milieu humide et plus chaud vers la couche plastique et le métal plus froid augmente la perméation. La conséquence de cette perméation est la formation de bulles.

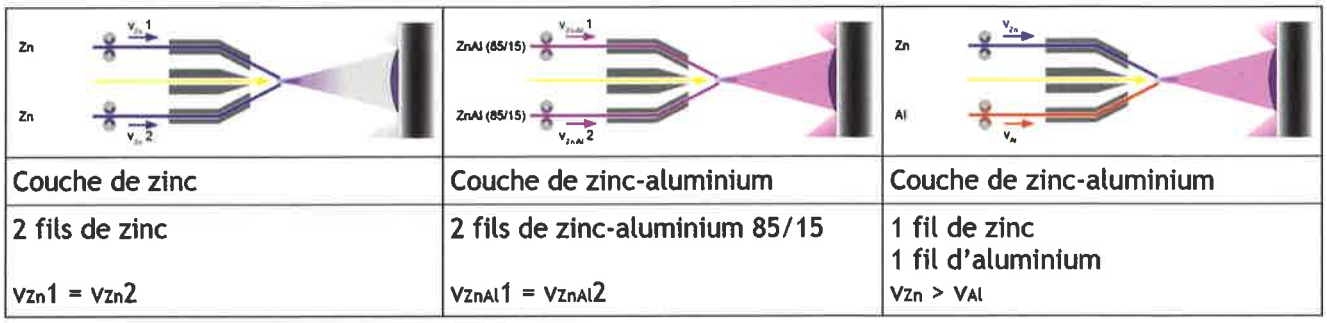
Système Synex

Ce terme s'est imposé, il y a environ 25 ans, sur le modèle du système Duplex à effet synergique. Il définit un système de protection basé sur du zinc ou un alliage zinc-aluminium combiné avec une couche de finition. Le système consistant en une couche de zinc avec une couche de finition poreuse est le revêtement standard dans les normes produits pour les tuyaux en fonte ductile. Au lieu de l'ancienne version consistant en une couche d'au moins 130 g/m² et une couche de finition en bitume, les fabricants proposent aujourd'hui, conformément aux nouvelles exigences normatives, des couches de zinc de 200 g/m² ou plus. En outre, il existe, comme alternative une couche en alliage zinc-aluminium ZnAl15. Contrairement aux couches de bitume noires ou brunes, les couches en résine synthétique usuelles aujourd'hui permettent pratiquement toutes les couleurs.

Le domaine d'emploi peut être étendu en utilisant différentes combinaisons avec d'autres mesures de protection contre la corrosion, par exemple le revêtement supplémentaire avec des bandes adhésives ou du tissu protecteur, ou bien des mesures sur chantier comme le remblai adapté à la protection anticorrosion ou le manchage de polyéthylène. Le revêtement extérieur en mortier de ciment, extrêmement robuste, convient en particulier aux nouveaux procédés de pose. Le grand avantage des systèmes Synex est l'auto-cicatrisation en cas de dommages tels qu'ils peuvent se produire lors de la manipulation et de la pose. Ceci est illustré ci-après.

Mode de fonctionnement des systèmes Synex

La couche de zinc ou d'alliage zinc-aluminium est en général directement appliquée sur la peau d'oxyde des tuyaux en fonte. Les particules métalliques fondues dans l'arc électrique pénètrent par les pores de la peau d'oxyde jusqu'à la fonte. Elles créent ainsi le contact de la couche métallique avec la fonte et permettent une adhérence solide. La figure 5 schématise les



Couche de zinc	Couche de zinc-aluminium	Couche de zinc-aluminium
2 fils de zinc $V_{Zn}1 = V_{Zn}2$	2 fils de zinc-aluminium 85/15 $V_{ZnAl}1 = V_{ZnAl}2$	1 fil de zinc 1 fil d'aluminium $V_{Zn} > V_{Al}$

Figure 5: Schéma de projection de zinc ou d'alliage de zinc-aluminium sur les tuyaux en fonte.

trois façons de projeter une couche de zinc ou d'alliage de zinc-aluminium.

Comme indiqué sur la figure 5, les fils sont en zinc, aluminium ou ZnAl15. La norme EN ISO 14919 classe ces fils selon divers critères, par exemple d'après la composition des métaux. La norme EN 545 exigeant une pureté du zinc d'au moins 99,99 %, seuls des fils de zinc conformes à EN ISO 14919, code 2.1 peuvent être utilisés. Parmi les alliages de zinc-aluminium seul ZnAl15 est spécifié comme fil selon EN ISO 14919, code 2.3. Le fil d'aluminium d'une pureté d'au moins 99,5 % correspond au code 3.2.

Alors qu'en utilisant un fil de ZnAl15, le rapport Zn/Al est fixe, le procédé avec des fils de zinc et d'aluminium permet de varier le rapport Zn/Al en modifiant la vitesse d'introduction. Cependant, en pratique, l'alliage ZnAl15 s'est imposé pour le revêtement des tuyaux en fonte. Toutefois aucune indication à ce sujet ne figure dans les éditions actuelles des normes EN 545 et EN 598. La seule précision se trouve dans les annexes informatives: alliage de zinc et d'aluminium avec ou sans autres métaux, ayant une masse d'au moins 400 g/m².

Les couches appliquées sur les tuyaux en fonte par arc électrique contiennent une faible part d'oxyde car les particules métalliques fondues sont oxydées par l'oxygène atmosphérique lors de leur déplacement vers la surface des tuyaux en fonte. Les couches en zinc-aluminium se différencient d'une couche de zinc par leurs phases. Contrairement à une couche de zinc, la couche d'alliage zinc-aluminium par utilisation de fils ZnAl15 se compose d'au moins deux phases métalliques. En ce qui concerne le procédé avec les fils de zinc et d'aluminium, suite au passage à travers le plasma de l'arc électrique à environ 4000 °C et le choc sur la surface du tuyau en fonte, l'alliage de zinc-aluminium se forme avec plusieurs phases. Ces phases des couches en zinc-aluminium influencent leur comportement et fonctionnement.

Le mode de fonctionnement s'explique d'abord à l'aide d'une couche de zinc qui n'a qu'une phase de métal. Les tuyaux en fonte avec peau d'oxyde obtiennent une surface homogène par cette couche de zinc. En milieu homogène, un tel tuyau se comporterait comme une électrode mixte homogène (figure 3).

La comparaison suivante entre un revêtement mince, par exemple sur des raccords, et le revêtement du tuyau consistant en une couche de zinc et une couche de finition schématise le mode de fonctionnement dans les différentes situations (figure 6).

Après application des pores se forment aussi bien dans le revêtement mince que dans la couche de finition. La cause en est, d'une part le taux de solvant dans le vernis, et d'autre part l'épaisseur de la couche entre 70 µm et 100 µm. Lors du stockage, des produits de réaction se forment dans les pores. Ce sont des composés de fer dans le cas du revêtement mince et des composés de zinc dans le cas de systèmes Synex.

En ce qui concerne les revêtements en alliage de zinc-aluminium, des hydroxydes et oxydes d'aluminium, composés peu solubles et pratiquement inertes, se forment sur les surfaces des phases riches en aluminium, conduisant finalement les phases riches en zinc à agir comme la couche de zinc. Les composés d'aluminium peu solubles et non conducteurs d'électricité peuvent être considérés comme une deuxième couche de finition intérieure.

Lors de la manipulation, c'est-à-dire surtout lors du transport et de la pose, les dommages sur le revêtement ne peuvent être exclus. C'est là qu'apparaît l'avantage des systèmes Synex, surtout après la pose dans le sol. En cas de dommages jusqu'à 5 mm de large, le zinc ou l'alliage de zinc-aluminium protège la zone endommagée. Ce n'est pas le cas du revêtement mince où la zone endommagée devient anode et le fer est attaqué. Dans les systèmes Synex, la zone endommagée devient cathode à cause du potentiel électrique plus négatif de la couche de zinc par rapport au fer. Elle est, par conséquent, protégée cathodiquement.

Dans le domaine d'emploi des systèmes Synex, une couche de protection à base des composés de zinc peu solubles se forme dans la zone endommagée, ce qui fait se fermer la zone endommagée avec le temps et diminuer la corrosion. La zone endom-

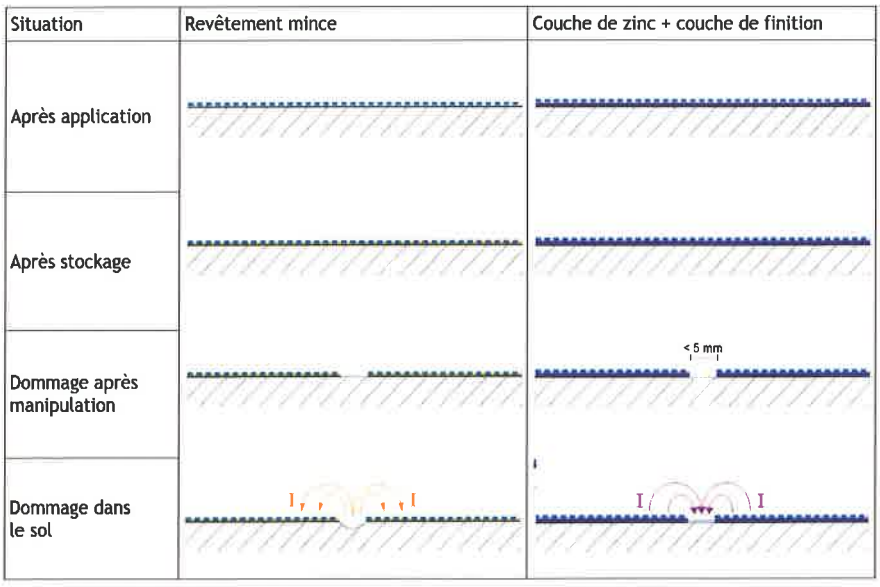


Figure 6: Comparaison entre revêtement mince et revêtement consistant en une couche de zinc + couche de finition.

magée cicatrise comme une plaie dans les organismes vivants, imposant ainsi le terme d'auto-cicatrisation.

La couche de finition joue un rôle particulier dans les systèmes Synex. Elle doit à la fois freiner l'auto-corrosion du zinc et être telle que la couche inférieure puisse protéger d'éventuelles zones endommagées (figure 6). À cet effet, elle doit être compatible avec le zinc et bien adhérer sur la couche de zinc ou d'alliage de zinc-aluminium. Une résistance électrique faible du revêtement est nécessaire pour la protection cathodique d'une zone endommagée jusqu'à la fonte. De plus, l'absorption d'eau doit être minimale afin que les produits de réaction du zinc puissent se fixer durablement même en cas de variation du niveau d'eau. La nature et l'épaisseur de la couche de finition doivent répondre à ces exigences.

Les domaines d'emploi des systèmes Synex sont décrits dans les annexes informatives des normes produits. Des mesures supplémentaires telles que le manchage PE et le remblai adapté à la protection anticorrosion - souvent combinés - élargissent les domaines d'emploi. Des bandes adhésives forment une barrière autour des systèmes Synex vis-à-vis des composantes corrosives du sol. Le tissu protecteur diminue les dommages lors de la pose et réduit le transport des composantes corrosives du sol vers le tuyau. Dans le revêtement extérieur en mortier de ciment, ce dernier agit comme une couche de protection mécanique extrêmement robuste. C'est pourquoi ce revêtement est aussi approprié pour la pose sans tranchée.

Expériences avec les systèmes Synex

Alors que, dans les 50 dernières années, la protection cathodique s'est imposée pour les conduites soudées en acier enterrées à cause de la conductivité électrique longitudinale, la protection par les systèmes Synex qui se sont continuellement améliorés a fait ses preuves pour les conduites en fonte.

De nombreuses publications existent. La publication [3] résume de façon conséquente les expériences jusqu'en 1986 environ. Après une courte introduction sur le développement historique, la structure usitée à l'époque, constituée d'une couche de zinc (≥130 g/m²) avec une couche de finition (≥70 µm), est décrite. Les auteurs présentent avec précision le mécanisme de protection en action, d'abord la formation de la couche protectrice, puis l'effet de la cicatrisation après endommagement du revêtement. Ceci correspond aux processus présentés en figure 6. Les résultats présentés à partir d'essais in situ et de fouilles de conduites réelles aux USA, en France et en Allemagne sont particulièrement intéressants. En outre, les auteurs entrent dans les détails de la norme DIN 30674-3 élaborée à l'époque et montrent les avantages d'une protection supplémentaire par le manchage PE étroitement ajusté. Déjà à cette époque, les avantages des systèmes Synex étaient clairement reconnus :

« *Le tuyau en fonte ductile est un produit de masse relativement lourd qui est souvent transporté très loin. L'expérience a montré que, malgré toutes les mesures de précautions, les dommages sont inévitables. S'ils ne sont pas réparés, ils peuvent être fatals aux meilleurs revêtements de protection passive. La couche de zinc protège des suites de ces mauvais traitements et compense les défauts sur les zones endommagées grâce à sa ductilité et à sa capacité de cicatrisation. On peut dire en général que la couche active de zinc représente une protection particulièrement bien adaptée aux conduites en fonte ductile. Elle résiste aux dures conditions de transport, de stockage et de pose auxquelles tous les tuyaux sont exposés* ».

Une publication sur le revêtement à base de ZnAl15 [4] est parue en 2001, complétant le « Technologie-Report » de 1986 [3] précité. Entretemps, les fabricants avaient en effet augmenté la masse de zinc par unité de surface de ≥130 g/m² à ≥200 g/m² et proposaient en alternative un revêtement avec un alliage en zinc-aluminium ZnAl15 d'au moins 400 g/m². La raison en était une protection cathodique durant plus longtemps grâce au zinc métallique. Comme il est expliqué en [3], le zinc métallique peut se transformer complètement, dans certains cas et peu d'années après, en produits de réaction lorsque la masse de zinc par unité de surface n'est que de 130 g/m² dans la couche de zinc. Dans la couche en alliage de zinc-aluminium ZnAl15, les produits de réaction pratiquement inertes de l'aluminium freinent l'activité du zinc. Les dernières versions des normes produits EN 545 et EN 598 mentionnent les masses par unité de surface augmentées.

La masse de zinc augmentée par unité de surface présente surtout des avantages quand des travaux sont effectués sur ou à proximité de la conduite après une durée de service. Ces travaux peuvent conduire à perturber l'état initial du remblai, détruire les couches de protection ou même endommager le revêtement. La masse de zinc augmentée par unité de surface présente encore suffisamment de réserve pour recréer une stabilité et cicatriser d'éventuels dommages.

Les expériences positives avec les revêtements basés sur des couches de zinc ont conduit à d'autres développements, comme par exemple la couche de zinc avec une masse de zinc par unité de surface ≥400 g/m², le revêtement ZnAl avec couche de finition époxydique et revêtement supplémentaire avec des bandes adhésives ou du tissu de protection. Depuis la parution de la norme EN 14628 pour le revêtement en polyéthylène, les couches d'adhésif et polyéthylène peuvent être appliquées sur le zinc, l'adhérence étant cependant nettement inférieure.

Une couche de zinc avec une masse de zinc par unité de surface ≥400 g/m² peut avoir des avantages en milieu alcalin par rapport à une couche de ZnAl15. En cas de revêtement extérieur en mortier de ciment, il ne faut donc appliquer la couche de mortier que sur le zinc et non sur le ZnAl15.

Les couches de zinc ou de zinc-aluminium isolées sous des bandes adhésives ou du polyéthylène extrudé ne peuvent pas agir comme dans le système Synex. Cependant, elles protègent les bout-unis dans les jonctions, même en cas de tuyaux coupés sur mesure in situ.

Influence par des courants vagabonds

La norme DIN 30675-2 contient également, outre les mesures de protection anticorrosion, des indications sur la protection contre la corrosion par influence électrochimique, c'est-à-dire surtout due aux courants vagabonds. Les critères ont été modifiés par la parution de la norme EN 50162 en 2005. La publication [5] donne une vue d'ensemble sur la protection contre la corrosion des conduites en fonte ductile, entre

Normes citées

Normes	Titres
NF EN ISO 8044	Corrosion des métaux et alliages - Termes principaux et définitions
NF EN ISO 14919	Projection thermique - Fils, baguettes et cordons pour projection thermique à l'arc et au pistolet dans une flamme - Classification - Conditions techniques d'approvisionnement
ISO 8180	Canalisations en fonte ductile - Manche en polyéthylène pour application sur site
NF EN 545	Tuyaux, raccords et accessoires en fonte ductile et leurs assemblages pour canalisations d'eau - Prescriptions et méthodes d'essai
NF EN 598	Tuyaux, raccords et accessoires en fonte ductile et leurs assemblages pour l'assainissement - Prescriptions et méthodes d'essai
NF EN 805	Alimentation en eau - Exigences pour les réseaux extérieurs aux bâtiments et leurs composants.
NF EN 969	Tuyaux, raccords et accessoires en fonte ductile et leurs assemblages pour canalisations de gaz - Prescriptions et méthodes d'essai
NF EN 12501-1	Protection des matériaux métalliques contre la corrosion - Risque de corrosion dans les sols. Partie 1 : généralités
NF EN 14628	Tuyaux, raccords et accessoires en fonte ductile - Revêtement extérieur en polyéthylène pour tuyaux - Exigences et méthodes d'essai
NF EN 14901	Tuyaux, raccords et accessoires en fonte ductile - Revêtement époxy (renforcé) des raccords et accessoires en fonte ductile - Prescriptions et méthodes d'essai
NF EN 15189	Tuyaux, raccords et accessoires en fonte ductile - Revêtement extérieur polyuréthanne des tuyaux - Exigences et méthodes d'essai
NF EN 15542	Tuyaux, raccords et accessoires en fonte ductile - Revêtement extérieur en mortier de ciment pour tuyaux - Prescriptions et méthodes d'essai
DIN EN 50162	Protection contre la corrosion due aux courants vagabonds des systèmes à courant continu
DIN 2000	Zentrale Trinkwasserversorgung - Leitsätze für Anforderungen an Trinkwasser, Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung der Versorgungsanlagen - Technische Regel des DVGW
DIN 2614 retirée	Zementmörtel-Auskleidungen für Gußrohre, Stahlrohre und Formstücke; Verfahren, Anforderungen, Prüfungen
DIN 2880	Anwendung von Zementmörtel-Auskleidung für Gußrohre, Stahlrohre und Formstücke
DIN 19690 retirée	Technische Lieferbedingungen für Rohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen für Entwässerungskanäle und -leitungen
DIN 28600 retirée	Druckrohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen für Gas- und Wasserleitungen; Technische Lieferbedingungen
DIN 30672	Organische Umhüllungen für den Korrosionsschutz von in Böden und Wässern verlegten Rohrleitungen für Dauerbetriebstemperaturen bis 50 °C ohne kathodischen Korrosionsschutz - Bänder und schrumpfende Materialien
DIN 30674-3	Umhüllung von Rohren aus duktilem Gußeisen - Teil 3: Zink-Überzug mit Deckbeschichtung
DIN 30674-5	Umhüllung von Rohren aus duktilem Gußeisen - Teil 5: Polyethylen-Folienumhüllung
DIN 30675-2	Äußerer Korrosionsschutz von erdverlegten Rohrleitungen - Schutzmaßnahmen und Einsatzbereiche bei Rohrleitungen aus duktilem Gußeisen
DIN 50928	Korrosion der Metalle; Prüfung und Beurteilung des Korrosionsschutzes beschichteter metallischer Werkstoffe bei Korrosionsbelastung durch wässrige Korrosionsmedien
DIN 50929-3	Korrosion der Metalle; Korrosionswahrscheinlichkeit metallischer Werkstoffe bei äußerer Korrosionsbelastung, Rohrleitungen und Bauteile in Böden und Wässern
DVGW GW 9	Beurteilung der Korrosionsbelastungen von erdüberdeckten Rohrleitungen und Behältern aus unlegierten und niedrig legierten Eisenwerkstoffen in Böden
DVGW VP 545 retirée	Rohre, Formstücke und Zubehörteile aus duktilem Gusseisen für die Gas- und Wasserversorgung; Anforderungen und Prüfungen
DVGW W 337 (P)	Rohre, Formstücke und Zubehörteile aus duktilem Gusseisen für die Gas- und Wasserversorgung; Anforderungen und Prüfungen

autres due aux courants vagabonds. La nouvelle version de la norme 30675-2 prend en compte les dernières connaissances sur l'influence des courants vagabonds.

L'influence des courants vagabonds se retrouve surtout à proximité de lignes ferroviaires à courant continu et de conduites en acier protégées cathodiquement. Pour les lignes ferroviaires à courant continu, selon la norme EN 50162, un écart inférieur à 10 m est considéré comme critique. En ce qui concerne l'influence, il faut faire la distinction, parmi les conduites en acier avec protection cathodique, entre celles revêtues de bitume et celles revêtues d'un matériau plastique bien isolant. Le revêtement bitume autrefois usité pour les conduites en acier avait une résistance d'isolement électrique plutôt faible si bien que les conduites ainsi revêtues ont souvent besoin de courants de protection élevés. Des courants de protection élevés produisent aussi des courants vagabonds, surtout près des champs anodiques. Les revêtements en plastique bien isolants, par exemple le revêtement PE tricouche souvent utilisé, ont des résistances d'isolement électrique élevées. Les conduites avec ces revêtements nécessitent de faibles courants de protection et influencent peu les installations voisines. Des domaines critiques peuvent se trouver à proximité des champs anodiques.

Comme mesures fondamentales en cas d'influence de courants vagabonds, il faut limiter les sections de conduites à jonctions verrouillées et utiliser des matériaux de remblai avec une résistivité élevée. Selon les connaissances actuelles, les sections de conduites sans interruption électrique ne doivent pas dépasser 20 m. Il existe des moyens simples afin de limiter les sections de conduites à jonctions verrouillées. Une publication va bientôt paraître sur ce thème [6]. Les sables siliceux, par exemple, sont des matériaux de remblai appropriés, en particulier lorsque la conduite se trouve au-dessus du niveau de la nappe phréatique.

Parmi les revêtements, l'avantage, en cas d'influence par courants vagabonds, est au revêtement extérieur en mortier de ciment par rapport aux revêtements en matériaux plastiques isolants. Lors de la manipulation et de la pose de tuyaux en fonte avec revêtement PE ou PUR, l'endommagement du revêtement ne peut être ni exclu, ni visible en particulier après remplissage de la tranchée. Les densités de courant sont extrêmement élevées dans les zones endommagées en cas d'influence par courants vagabonds. Par contre, des courants vagabonds peuvent émerger de façon étendue en cas de revêtement en mortier de ciment non isolant, ce qui conduit à des densités de courant et par conséquent à des vitesses de corrosion faibles.

Des mesures spéciales sont nécessaires dans des zones particulièrement critiques, par exemple lorsqu'une conduite doit être construite entre une conduite en acier avec revêtement bitume protégée cathodiquement et son champ anodique. Dans ce cas, la conduite en fonte pourrait être isolée électriquement du sol par un revêtement PE ou PUR, les jonctions pontées par câbles et rendues conductives. La section conductive longitudinalement pourrait ainsi être intégrée dans le système de protection existant. Cela permettrait de compenser d'éventuelles influences de courant

protecteur de la conduite en acier suite à la pose de la conduite en fonte.

Revêtement en mortier de ciment comme protection intérieure contre la corrosion des tuyaux en fonte

Le revêtement intérieur en mortier de ciment est la protection standard des tuyaux en fonte ductile selon les normes produits EN 545 et EN 598. Comme la couche de zinc, le revêtement intérieur en mortier de ciment est appliqué directement sur la peau d'oxyde à l'intérieur des tuyaux en fonte.

Lors de l'application, la surface est normalement humide. Dans les tuyaux pour les conduites sous pression, le revêtement intérieur en mortier de ciment n'est constitué que de composants inorganiques. Par conséquent, aucune substance organique ne peut être lessivée ou permettre une prolifération microbienne. Pendant la durée de service, l'adhérence sur la surface de la fonte augmente suite à la formation d'une couche d'ancrage [7]. Dans les domaines d'application décrits dans les normes correspondantes, comme DIN 2880, les petits défauts et fissures cicatrisent. Les revêtements intérieurs en mortier de ciment sont également appropriés pour le transport de fluides chauds selon la norme DIN 2880. Ces avantages significatifs différencient les revêtements intérieurs en mortier de ciment des revêtements organiques.

Conclusion

Le revêtement intérieur en mortier de ciment est déjà appliqué avec succès depuis plus de 100 ans aux USA et depuis plus de 50 ans en Europe. Combinés avec l'expérience des systèmes Synex depuis plus de 50 ans, ces systèmes de protection pour les tuyaux en fonte promettent une longue durée de vie. Les propriétés mécaniques de la fonte ductile ne changeant pas pendant toute la durée d'utilisation, aucun vieillissement du matériau ne se produit [8]. Les revêtements extérieurs et intérieurs assurent la durabilité. ■

Références bibliographiques

[1] EADIPS, E-Book - Guss-Rohrsysteme http://eadips.org/cms/upload/handbuch_fgr/03_Herstellung_der_Rohre_Formstuecke_und_Armaturen/eadips_ebook_03_kapitel.pdf

[2] Schwenk W., Heim G., Wedekind B. und Schafer T.: Untersuchung der Korrosionsschutzwirkung von Umhüllungen auf Stahlleitungsrohren nach langzeitiger Auslagerung in Wasser und im Erdboden; 3R international Heft 12 1995 S. 676 - 685

[3] Langenfeld M., Marchal R. und Wolf W.; Technologie-Report über duktile Gußrohre mit Zinkspritzüberzug und Deckbeschichung; FGR-Gussrohrtechnik 21 (1986) S. 36 - 43; http://www.eadips.org/cms/upload/publikationen/fgr21-s36.pdf

[4] Nouail G.; A new coating for ductile iron pipes based on Zinc-Aluminium 85-15 alloy. 3R International (40) Heft 2-3/2001 pp. 120 - 124

[5] Klein N.; Korrosionsschutz von Gussrohrleitungen. Handbuch Rohrleitungsbau Band I: Planung, Herstellung, Errichtung, Vulkan-Verlag, 4. Auflage 2016, ISBN 978-3-8027-2794-8

[6] Klein N. und Gaugler H.; Elektrische Trennstelle als Korrosionsschutzmaßnahme in längskraftschlüssig ausgeführten Gussrohrleitungen. Publication prévue dans 3R Heft 6/2017

[7] Gras W.-D.; Eigenschaften und Bewährung von Zementmörtelauskleidungen in gußeisernen Druckrohren; FGR-Information 4 (1969) Seite 16 - 24, insbesondere Seite 23

[8] EADIPS, E-Book - Guss-Rohrsysteme 12. Kapitel: Dauerhaftigkeit http://www.eadips.org/cms/upload/handbuch_fgr/12_Dauerhaftigkeit/eadips_ebook_12_kapitel.pdf

L'eau entre réglementation et marché

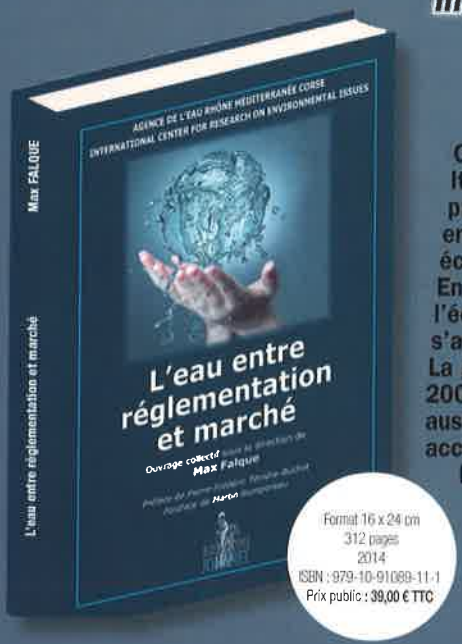
Agence de l'eau Rhône méditerranée Corse

international center for research on environmemtal issues

Ouvrage collectif sous la direction de Max Falque

Préface de Pierre-Frédéric Ténière-Buchot

Postface de Martin Guespereau



Format 16 x 24 cm
312 pages
2014
ISBN : 979-10-91089-11-1
Prix public : 39,00 € TTC

Cet ouvrage présente quinze textes de spécialistes de divers pays (Australie, Italie, Suisse, Allemagne, Canada, France, États-Unis et Banque Mondiale) qui proposent de nouvelles modalités de gestion qualitative et quantitative de l'eau en recourant à d'autres moyens que les seules réglementations et incitations économiques.

En effet, qu'il s'agisse des eaux de surface ou souterraines, la régulation par l'échange de droits entre les différentes parties prenantes peut, dans certains cas, s'avérer plus efficace et moins coûteuse que le recours aux instruments habituels. La gestion en bien commun, proposée par Elinor Ostrom, (prix Nobel d'Économie, 2009) et largement mise oeuvre dans le monde entier depuis des siècles, constitue aussi une alternative à la gestion de la rareté et une réponse à la « Tragédie du libre accès » mise en évidence par Garrett Hardin.

La possibilité de mettre en oeuvre des marchés de l'eau en France fait ainsi l'objet d'une discussion pesant les avantages et inconvénients.

En définitive, cet ouvrage n'a d'autre but que de fournir les bases pour un débat indispensable, plus particulièrement pour l'avenir de la gestion à long terme des prélèvements d'eau souterraine et du contrôle des pollutions par les sources diffuses. Il a aussi le mérite d'esquisser des solutions au niveau mondial pour le XXIe siècle.

www.editions-johanet.com

60, rue du Dessous des Berges - 75013 Paris - Tél. +33 (0)1 44 84 78 78 - Fax : +33 (0)1 42 40 26 46 - livres@editions-johanet.com