



HAL
open science

Analyse de la sensibilité à la corrosion externe et du risque associé pour des canalisations de transport

Patrice Levee, Daniel Pierre, Hervé Challiol

► To cite this version:

Patrice Levee, Daniel Pierre, Hervé Challiol. Analyse de la sensibilité à la corrosion externe et du risque associé pour des canalisations de transport. Congrès Lambda Mu 21, “ Maîtrise des risques et transformation numérique : opportunités et menaces ”, Oct 2018, Reims, France. hal-02064871

HAL Id: hal-02064871

<https://hal.science/hal-02064871>

Submitted on 12 Mar 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Analyse de la sensibilité à la corrosion externe et du risque associé pour des canalisations de transport

Analysis of the sensitivity to external corrosion and its associated risk for buried transportation pipelines

Patrice LEVEE

Air Liquide CRPS
1, chemin de la Porte des Loges
Les Loges en Josas
78354 Jouy en Josas
Tél : 0139076383
Mél : patrice.leeve@airliquide.com

Daniel PIERRE

Geo-Hyd - ANTEA Group
ZAC du Moulin
803, bd Duhamel du Monceau
CS 30602
45166 Olivet Cedex
daniel.pierre@anteagroup.com

Hervé CHALLIOL

Air Liquide France Industrie
Direction Sûreté Industrielle
152, avenue Aristide Briand
9220 Bagneux
Tél : 0158078529
Mél : hervé.challiol@airliquide.com

Résumé

Garantir un haut niveau d'intégrité et de sécurité d'un réseau de canalisations enterrées est un véritable enjeu pour les transporteurs. Air Liquide dispose d'un vaste réseau de canalisations dédiées au transport de ses gaz industriels. La corrosion externe nécessite une attention particulière de part la variabilité des sols environnants la canalisation. Nous avons développé une méthode d'analyse innovante de l'évaluation de la cinétique de corrosion et de ses évolutions spatiales et temporelles.

Une collaboration avec Geo-Hyd filiale d'ANTEA group a permis d'associer les variations pédologiques aux résultats d'une thèse qui visait à mesurer des vitesses de corrosion "sol" pour des textures et des teneurs en eau variables. Geo-Hyd a exploré et reporté sur des fonds cartographiques SIG des données environnement (textures de sol, topographies) et pluviométriques (par décennie de jour sur une année). L'hydromorphie caractérise le degré "redoxique" ou "reductique" d'un sol, c'est à dire sa propension à favoriser la réduction ou l'oxydation du métal. Le modèle de risque probabiliste développé par et avec Kent Muhlbauer utilise ces résultats pour quantifier finement la menace corrosion.

Summary

To guarantee a high level of integrity and safety of a buried pipeline network is a real stake for the transporters. Air Liquide has a large pipeline network dedicated to the transport of his industrial gases. The external corrosion requires a particular attention due to the variability of the grounds surrounding the pipelines. We developed an innovative method of analysis of the evaluation of the kinetics of corrosion and its spatial and temporal evolutions.

A collaboration with Geo-Hyd a subsidiary of ANTEA group allowed to associate the pedological variations with the results of a thesis which aimed at measuring the corrosion kinetics of soils for calibrated textures and variable moisture contents. Geo-Hyd explored and postponed on cartographic backgrounds SIG of the data environment (textures of ground, topographies) and pluviometric (by day decade over one year). The hydromorphie characterizes the degree "redoxique" or "reductique" of a ground, that is its propensity to favor the reduction or the oxidation of the metal. The model of probability risk developed by and with Kent Muhlbauer use these results to quantify finely the threat corrosion.

Objectifs :
Couplage bases de données pédologiques et météorologiques et approche probabiliste pour l'évaluation de la menace

corrosion externe pour les canalisations de transport de gaz industriels enterrées.

Les canalisations de transport de gaz industriel en France et dans les grandes nations occidentales ont été posées après la seconde guerre mondiale. Cet "assez" industriel conceptuellement simple comparé à des unités de production chimiques ou pétrochimiques, n'en est pas moins singulier en terme de gestion de son vieillissement de par sa non accessibilité, la variabilité environnementale et sa longévité attendue, rendant particulièrement complexe la gestion de l'intégrité. Cette communication présente une méthode d'analyse de l'exposition par le sol à la corrosion externe développée au moyen d'une analyse rigoureuse de bases de données pédologique et environnementales disponibles permettant de renseigner le modèle de risque basé sur une approche probabiliste. Cette communication illustre les résultats obtenus sur une canalisation de transport dans le nord de la France.

Contexte

Air Liquide possède un réseau de transport de gaz industriels (Azote, Oxygène, Hydrogène) par canalisation dans de nombreuses géographies contrastées. Afin de satisfaire aux exigences réglementaires locales en matière de sécurité et à minima aux exigences internes au Groupe, nous avons développé une méthodologie d'analyse de risque probabiliste dont les variables sont alimentées par des bases de données internes décrivant le tracé et l'environnement humain et des bases externes. L'approche actuelle de gestion de l'intégrité est basée sur des investigations systématiques de contrôle des barrières (revêtement protection du tube, protection cathodique) depuis la surface du sol et des investigations ponctuelles de contrôles (fouilles permettant d'accéder à la canalisation enterrée). L'enjeu est de proposer une approche d'investigation systématique à une approche d'investigation ciblée, localisée et adaptée à la menace. Le cas d'étude retenu repose sur le tracé d'un oxydure et d'un tronçon hydrogénodure dans le Nord de la France. Ces canalisations historiques pour le Groupe Air Liquide alimentent depuis les années 60 le bassin sidérurgique de Dunkerque ainsi que de nombreux autres clients industriels du Groupe. La méthode testée sur ces canalisations a vocation à être généralisée à l'ensemble des territoires où le Groupe est implanté dès lors que des données similaires pourront être collectées. En absence de données une approche dégradée et plus conservatrice pourra être mise en œuvre sans qu'aucune modification sur le cœur du modèle de risque ne soit nécessaire. Seule la résolution des données sera impactée et la précision du niveau de risque calculé.

Méthode

Le modèle de risque mis en œuvre s'appuie sur une approche probabiliste et des opérateurs booléens

permettant d'associer dans un même formalisme les menaces potentielles (ex travaux de tiers dont la probabilité d'occurrence est indépendante du temps, ou la corrosion externe et la propagation de fissures dont les mécanismes sont dépendants au temps), l'efficacité des mesures compensatoires déployées et la capacité de résistance ultime de la canalisation lorsque l'efficacité n'est pas totale, ce qui sera souvent le cas.

La communication se focalise sur la menace corrosion externe, pour laquelle nous avons collaboré avec Geo-Hyd une filiale du groupe Antea afin d'affiner la connaissance de l'environnement sol autour de la canalisation sur la totalité de la canalisation enterrée. La texture des sols joue un rôle majeur dans la corrosion externe; elle conditionne son degré d'aération (circulation des gaz dont l'oxygène responsable de la corrosion) et sa capacité à drainer ou fixer l'eau présente autour de la canalisation.

L'hydrodynamique des sols est dépendante de la topographie, de la pluviométrie ou de la variation du niveau de la nappe phréatique et de la texture du sol.

L'objectif était de développer un modèle hydrodynamique, spatial et temporel afin d'estimer localement et au travers des décennies écoulées (et potentiellement pour l'avenir sur la base d'un modèle prédictif), la teneur en eau autour de la canalisation. L'intérêt est d'évaluer l'amplitude de la menace corrosion externe sur les décennies écoulées en l'absence d'historiques de données terrain et d'en évaluer les effets potentiels aujourd'hui pour orienter les investigations terrain demain.

La cinétique de corrosion, ou plutôt les cinétiques de corrosion associées à une nature de sol et une teneur en eau ont été définies au cours du travail de thèse de Rym Akkouche, thèse soutenue au LASIE à la Rochelle en décembre 2017. Dans le cadre de cette thèse, des mesures électrochimiques par impédance ont été réalisées sur des sols reconstitués dont on mesurait précisément la teneur en eau, en se concentrant sur des échantillons spécifiques pour reproduire des cycles d'humidification et d'assèchement alternés visant à approcher les successions saison sèche saison humide.

La menace corrosion externe est estimée en absence de mesures compensatoires qui sont évaluées par le modèle de risque indépendamment en terme d'efficacité (efficacité de la protection cathodique et du revêtement en place en ce qui concerne la protection contre la corrosion externe).

Résultats

L'analyse des données pédologiques a permis de caractériser la nature des sols sur l'intégralité du linéaire en terme de positionnement dans le triangle des textures "limon, sable, argile", telle que présentée sur la figure 1 :

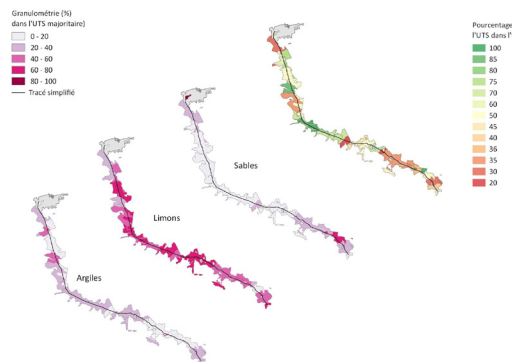


Figure 1. Critère granulométrique sur le linéaire de l'Oxyduc Denain - Dunkerque.

Les UCS et UTS représentent respectivement les unités Cartographiques de Sol (description du paysage, altitude ...) et les Unités Typologiques de Sol, c'est à dire le "fonctionnement" global du sol (pente, végétalisation, ...). Une même UCS sera composée de fractions d'UTS identiques. En descendant encore d'un niveau, les strates caractéristiques d'une même UTS indiqueront précisément la nature des phases en présence (sable, argile, limon) et leurs proportions telles que présentées en Figure 2.

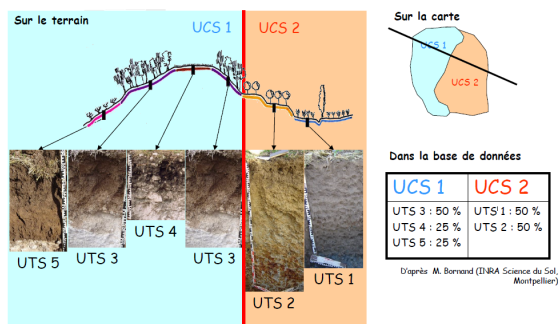


Figure 2. Définition et relation des UTS et UCS.

La connaissance de la nature des phases en présence et de leurs propriétés vis-à-vis de l'eau (degré de saturation et perméabilité) couplée aux informations météorologique issues de base de données a permis d'identifier le caractère rédoxique du sol environnant la canalisation. On parlera en premier lieu d'un caractère hydromorphique du sol, c'est à dire sa capacité à favoriser, ou non, l'oxydation du métal. Cette information est à nouveau décrite sur la totalité du linéaire et géo référencée dans un SIG (Système d'Information Géographique présenté en Figure 3).

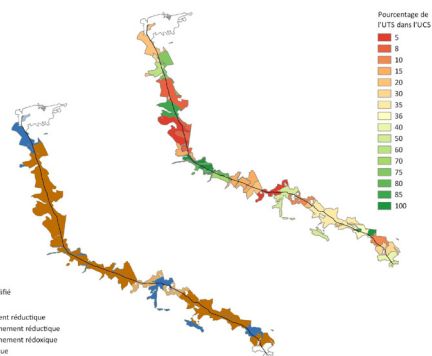


Figure 3. Critère géomorphique géoréférencé sur le tracé de la canalisation.

On passe alors d'une description environnementale et typologique des sols (UTS, UCS, strates) à un comportement vis-à-vis de la corrosion (plus ou moins réductrice ou rédoxique). La dernière étape consiste à faire le bilan hydrique pour définir pour une période précise quel était le niveau d'exposition à la corrosion externe, et y attribuer un "wetness index" tel qu'illustré sur la figure 4, auquel on associera une vitesse de corrosion.

Tant pour les UTS et les UCS que pour le *wetness index*, la résolution est tributaire de la précision des données dont on dispose (échelle topographique). Par exemple pour les données hydrologiques on dispose pour la France de données sur des périodes de temps courtes (journée), et pour les données UTS et UCS, nous disposons de données avec un pas de 25m et à quelques dizaines de centimètres sur les strates.

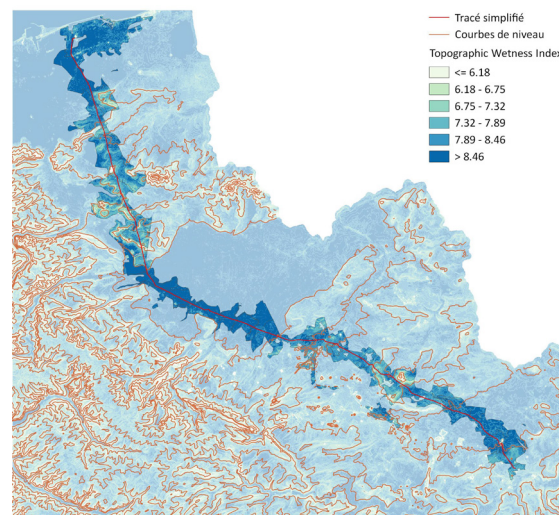


Figure 4. Wetness index pour la canalisation Nord France (Denain - Dunkerque).

Le modèle de risque s'appuie sur la méthode probabiliste développée par Kent Muhlbauser avec lequel nous avons collaboré. Une analyse de l'efficacité des mesures compensatoires est faite en s'appuyant sur toutes les données à disposition

(relevés DCVG ou d'excavation pour le revêtement et mesure de potentiel pour la protection cathodique). Cette analyse autorise le calcul de la distribution de l'efficacité sur le linéaire, efficacité estimée comme la résultante de l'inefficacité relative de la protection cathodique ET de l'absence mesurée (DCVG) ou estimée (source bibliographique, REX terrain) du revêtement.

On obtient par calcul le profil de « Probability of Failure (PoF) » de la menace corrosion tel que présenté sur la figure 5. La valeur est calculée pour chaque segment indépendant, pour lequel chacune des variables utilisées par le modèle est constante.

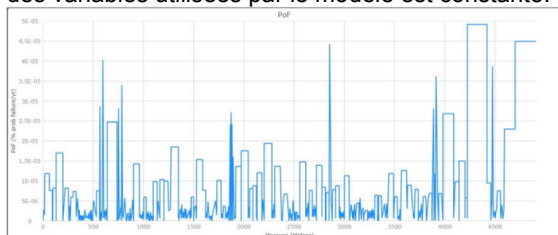


Figure 5. Evolution géographique de la probabilité de rupture le long d'un tronçon de canalisation.

Le risque pour chaque segment prend en compte les conséquences sociétales d'une rupture totale ou d'une brèche selon la matrice du guide GESIP pour la France ou tout autre prescription locale s'agissant d'autres géographies que la France. A titre d'illustration en Figure 6, on fournit pour le même tronçon de canalisation les deux diagrammes « Probabilités * Conséquences » pour les deux scénarii de rupture totale et de brèche pour le même seuil réglementaire qui définit les distances d'effets. Chaque segment est alors représenté par un point. L'acceptabilité du niveau de risque du segment dépend de la réglementation de chaque pays.

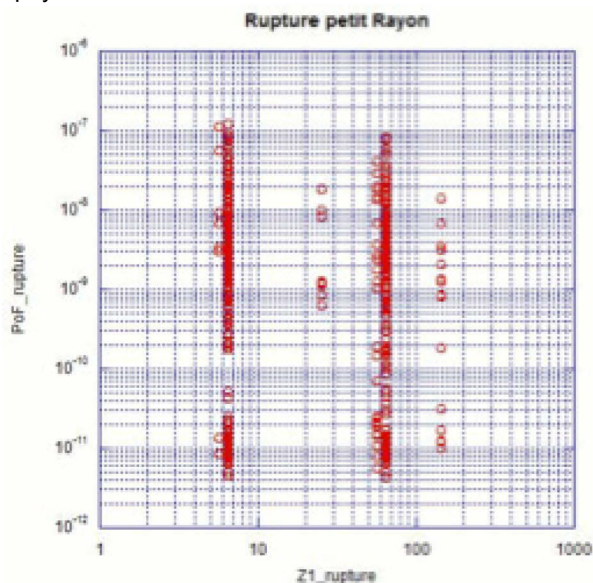
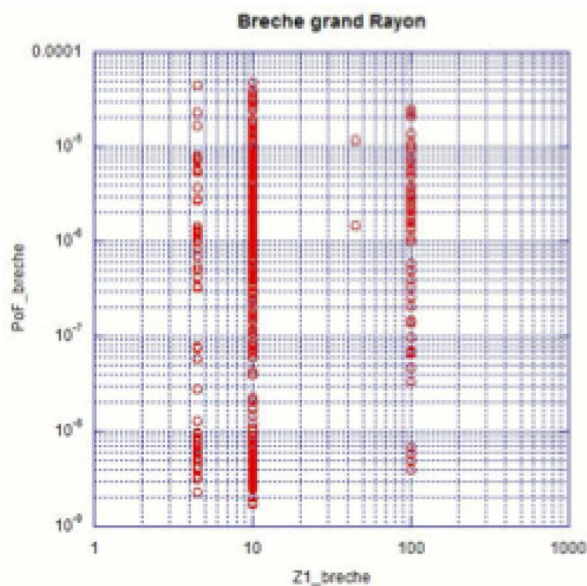


Figure 6. Diagramme de risque, scénario rupture pour deux distances d'effet.
6a Rupture seuil ELS,



6b Brèche seuil ELS

Conclusion

Cette approche s'appuie largement sur les moyens numériques et les outils mis à disposition en 2018 qui nous permettent maintenant de prendre en compte de manière concomitante de larges flux de données. Ces outils, la mise à disposition et l'enrichissement continu des bases de données, comme les moyens d'investigation mis à disposition sur le terrain : mesure de surface, capteurs intégrés, fibres optiques, racleurs instrumentés, drones et mêmes satellites, ont considérablement amélioré l'analyse du risque des canalisations de transport et ouvre à inclure l'ensemble des autres menaces pour aider le gestionnaire de l'intégrité à prioriser et prendre les actions adaptées en terme d'allocation de ressources pour optimiser les coûts par rapport au gain attendu de réduction du risque.

Références

"Pipeline Risk Assessment, The Definitive Approach and Its Role in Risk Assessment" : W. Kent Mulhbaer. ISBN 978-0-9906700-0-1

"Estimation des propriétés de rétention en eau des sols à partir de la base de données SOLHYDRO : Une première proposition combinant le type d'horizon, sa texture et sa densité apparente" : Ary Bruand, Odile Duval, Isabelle Cousin. **Etude et Gestion des Sols**, 2004, 11, pp.3, 323-334

"Corrosion des Aciers dans les Sols : mécanismes et cinétiques associés aux périodes transitoires d'humidification / séchage" : Rym Akkouche, thèse de doctorat.

Mots clés

Canalisations de transport, pédologie, corrosion externe, modèle de risque, probabilité, hydro morphologie