

## Utilisation des outils de géo-localisation dans l'aptitude au service – Application au réseau de transport de gaz industriels

### Hervé Challiol

Air Liquide France Industrie

152 avenue Aristide Briand 92220 Bagneux

Tél. : +33 (1) 58 07 85 29

Fax : +33 (1) 58 58 60 06

[herve.challiol@airliquide.com](mailto:herve.challiol@airliquide.com)

### Résumé

L'analyse de risques se systématisent dans les entreprises. Ces analyses mettent en œuvre des outils et méthodes qui évoluent pour être le support d'aide à la décision. Pour prioriser les actions de surveillance et de maintenance qui permettent d'obtenir le niveau de disponibilité ou d'aptitude au service d'un moyen de livraison au client, la méthodologie proposée dans cette communication s'appuie sur un moyen moderne de système d'information qu'est l'outil de géo-localisation. L'intérêt est double par l'hébergement des données d'entrées nécessaires aux estimations de niveau de risques et par la restitution visuelle des résultats directement accessible à l'utilisateur. La souplesse d'édition des résultats permet de s'adapter aux différentes parties prenantes.

### Summary

The risk analysis systematizes in companies. These analyses implement tools and methods which evolve to be the support of decision-making support. To prioritize the actions of surveillance and maintenance which allow to obtain the level of availability or fitness for service of a way of delivery to the customer, the methodology proposed in this communication support on a modern way of information system that is the geo-localization tool. The interest is double by the hosting of input data necessary for risk estimations and by the visual return of the results directly accessible to the user. The flexibility of results' edition allows to adapt itself to the various stakeholders.

---

### Objectifs

L'objectif de cette communication est double :

- Montrer que les outils de géo-localisation tels que les Systèmes d'Information Géographique (SIG) permettent d'être une aide à la décision pour la priorisation des actions de maintenance du réseau de transport de gaz industriels par canalisations. L'utilisation du SIG permet d'une part d'exploiter ses capacités d'hébergement de données et d'autre part de restituer graphiquement les résultats. L'apport de cet outil facilite l'accès à la gestion des risques de systèmes industriels par une interface conviviale.
- Illustrer par une application au réseau de transports de gaz industriels.

### Contexte

Air Liquide France Industrie est une filiale du Groupe Air Liquide, qui réunit l'ensemble des activités de production et de commercialisation des gaz industriels du Groupe en France, avec trois branches d'activités : Grande Industrie, Industriel Marchand, Electronique.

La branche d'activité «Grande Industrie» fournit des gaz industriels (oxygène, azote, hydrogène, monoxyde de carbone, argon...) en exploitant des unités de production de grande taille, servant les clients dans les secteurs de la sidérurgie, de la chimie, du raffinage, de l'énergie, dont l'importante consommation de gaz justifie l'approvisionnement par usine dédiée ou par canalisations.

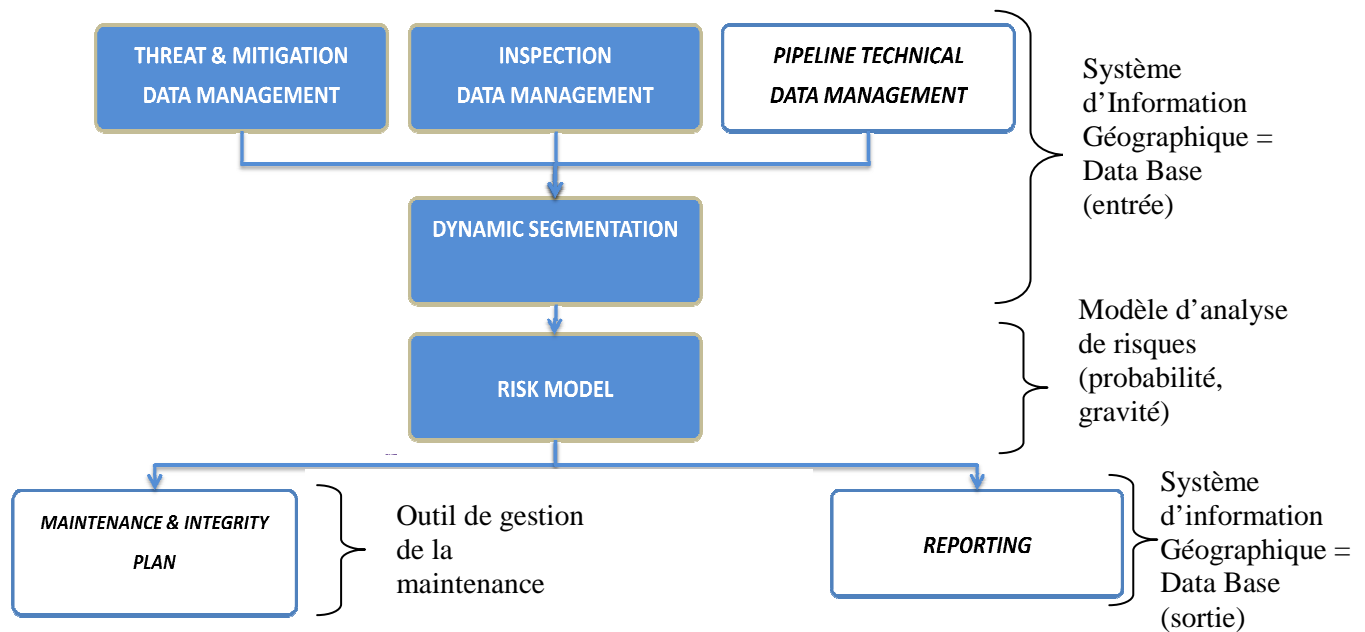
Ces canalisations doivent garantir la continuité de fourniture (disponibilité) avec un niveau de sécurité élevé pour les exploitants, populations, dans le respect de l'environnement. Le niveau extrêmement élevé de disponibilité des produits passe quant à lui par les caractéristiques, la surveillance et l'entretien permanent et régulier du réseau de canalisations. L'enjeu pour le transporteur Air Liquide France Industrie est donc de déterminer les zones de vulnérabilité afin de cibler et lisser dans le temps les investissements de maintenance.

### Méthode

La méthode proposée consiste à établir une priorisation des actions de surveillance et de maintenance du réseau de canalisations (où et quand intervenir) basée sur le risque industriel de

perte de confinement. Pour cela, il faut se définir des critères qui vont permettre de différencier les zones vulnérables pour éventuellement réparer les canalisations et planifier dans le temps ces interventions. Le choix de différenciation de ces zones s'est porté sur le niveau de risques en cohérence avec son analyse de dangers. Celle-ci identifie :

- Les menaces auxquelles la canalisation peut être soumise (agressions externes naturelles / humaines et internes), qui sont les sources de dangers,
- Les moyens de mitigation que sont les barrières de sécurité (techniques et organisationnelles),
- Le positionnement des scénarios dans une grille d'acceptabilité,
- Un plan de gestion des risques adaptés. Ce plan sera axé sur des actions de surveillance et de maintenance dans le cadre de la gestion de l'aptitude au service de la canalisation.



**Figure 1 : méthodologie générale de gestion de l'aptitude au service basée sur le risque**

Cette méthode d'analyse de risque est usuelle dans sa logique de déroulement ; elle est communément employée dans l'industrie. Nous nous focalisons dans cette présentation uniquement sur l'étape de segmentation et d'analyse de risques (pavés bleu en figure 1). Les autres composantes ne sont volontairement pas abordées car elles n'ont pas de particularité par rapport à cette problématique. Il convient de noter que le modèle d'analyse de risques est en cours de développement ; une validation sera nécessaire avant son utilisation par les exploitants des réseaux de canalisations d'Air Liquide France Industrie.

La présentation de la méthodologie est développée dans les deux chapitres suivants :

#### Segmentation dynamique / Dynamic segmentation


Par analogie avec une installation industrielle, nous allons « découper » cette canalisation en unités plus élémentaires (tronçons élémentaires) sur lesquelles sera conduite l'analyse de leur aptitude au service. Nous utilisons une méthode spécifique pour découper cet ouvrage ; il devient alors possible de quantifier un niveau de risques.

Un des enjeux réside dans cette segmentation dynamique qui repose sur un recueil de paramètres :

- Techniques propres à la canalisation (type de tube, épaisseur, diamètre, pression, type de revêtement...)
- Son environnement proche (type de sol, humidité, corrosivité...)
- Son environnement plus lointain (présence d'arbres, de voies de circulation, d'habitation...).

L'ensemble de ces paramètres est contenu dans des tables thématiques (cf. figure 2) qui constituent la base de données du SIG. Il décrit ainsi chaque objet constitutif le long de la canalisation : géoréférencement par identification des coordonnées de latitude et de longitude. Par exemple, une dalle de protection mécanique posée dans le sol au-dessus de la canalisation va être décrite par les champs de la table ainsi que par un jeu de coordonnées géographiques de début et de fin de pose. La

différence de coordonnées permet de définir la longueur de pose de cette mesure de réduction qui est un avertisseur de présence de la canalisation vis-à-vis du risque de travaux de chantier au-dessus.



AL_OWN_DATA.AL_PIPES_TECHNICAL	
P * ID_SEGMENT	NUMBER
F DIAMETER_CODE	VARCHAR2 (15 BYTE)
F PRESSION	VARCHAR2 (15 BYTE)
F CODE_COATING	VARCHAR2 (15 BYTE)
F GEO_PRECISION	VARCHAR2 (70 BYTE)
F MATERIAL_CODE	VARCHAR2 (15 BYTE)
F THICKNESS	NUMBER
F STATUS	VARCHAR2 (15 BYTE)
F ID_PIPES	VARCHAR2 (15 BYTE)
F GEO_LINE	SDO_GEOMETRY
F MI_STYLE	VARCHAR2 (254 BYTE)
F THICKNESS_MIN	NUMBER
F PIPES_TYPE	VARCHAR2 (15 BYTE)
F PRESSION_DESIGN	NUMBER
F PRESSION_TEST	NUMBER
F COATING_THICKNESS	NUMBER
F WELDING_COEFFICIENT	NUMBER
F DATE_CONSTRUCTION	DATE
F REGULATION_CODE	VARCHAR2 (15 BYTE)
F ORDER_CODE	VARCHAR2 (15 BYTE)
F STANDARD_DEPTH	NUMBER
F LAYOUT	VARCHAR2 (1 BYTE)
F NORM	VARCHAR2 (15 BYTE)
F CODE_ZONE_URB	VARCHAR2 (15 BYTE)
F DATE_URB	DATE
F PRESSION_MAX	NUMBER
F ATTRIB_OK	VARCHAR2 (1 BYTE)
F CATEGORIE_MAX	VARCHAR2 (4 BYTE)
F SUREPAISSEUR_A	NUMBER
F SUREPAISSEUR_B	NUMBER
F SUREPAISSEUR_C	NUMBER
F DATE_MODIFIED	DATE
F ASORIGIN	NUMBER

AL_OWN_DATA.AL_PIPES_PROTECTIONS	
P * ID_PIPES_PROTECTION	NUMBER
F ID_PIPES	VARCHAR2 (15 BYTE)
F PK_DEBUT	NUMBER
F PK_FIN	NUMBER
F LONGUEUR	NUMBER
F MEASURE_CODE	VARCHAR2 (15 BYTE)
F MEASURE_SUBCODE	VARCHAR2 (15 BYTE)
F THICKNESS	NUMBER
F NORM	VARCHAR2 (64 BYTE)
F COMMENTS	VARCHAR2 (1024 BYTE)
F MI_STYLE	VARCHAR2 (254 BYTE)
F GEO_LINE	SDO_GEOMETRY
F ATTRIB_OK	VARCHAR2 (1 BYTE)
F DATE_MODIFIED	DATE
F EXISTINGMCS2008	VARCHAR2 (150 BYTE)
F EPAISSEUR_MTEXISTING2008	NUMBER (20,5)

Figure 2 : exemple de deux tables descriptives des caractéristiques du tube et des mesures de protection avec les champs d'information (1<sup>ère</sup> colonne en noir) et le format de chaque champ (2<sup>ème</sup> colonne en vert)

Ainsi la description littérale de la canalisation passe par la création d'un tableau (cf figure 3) :

- En lignes : des éléments descriptifs (tube de la canalisation, sol, environnement humain...) le long du tracé de la canalisation selon le début et la fin de chaque tronçon. Par exemple, du point 0 km au point 8 km, l'épaisseur du tube (thickness) est de 0,25 pouce et du point 8 km au point 18 km, son épaisseur est de 0,5 pouce.
- En colonnes : des champs des tables (figure 2) les caractérisant.

Début	Fin	Éléments descriptifs	Valeur
0	8	Épaisseur du tube	0,25
8	18	Épaisseur du tube	0,5
18	20	Épaisseur du tube	0,25
0	15	sol	5
15	20	sol	10
0	5	Environnement humain	10000
5	7	Environnement humain	100000
7	20	Environnement humain	10000
0	20	Protection cathodique / type de revêtement du tube	100 %

Figure 3 : exemple de description linéaire (début-fin) de la canalisation - base de la segmentation

La création de ce tableau (figure 3) est l'étape intermédiaire indispensable qui permet la mise en forme de l'ensemble des données contenues dans toutes les tables élémentaires (figure 2).

La segmentation dynamique consiste à créer des tronçons élémentaires de canalisation sur lesquels chacun d'eux est caractérisé par la constante de l'ensemble de ses paramètres. A partir de l'exemple de la figure 3, on obtient six segments élémentaires, correspondant chacun à une ligne du tableau, pour quatre paramètres (éléments descriptifs) les décrivant. Le dernier paramètre étant déjà constant sur la longueur totale (de 0 à 20 km), il ne crée pas de segmentation. Cependant à chaque segment lui sera allouée la même valeur du paramètre (ici l'efficacité de la protection cathodique contre la corrosion externe par rapport au revêtement du tube).

Début	Fin	Epaisseur du tube	sol	Environnement humain
0	5	0,25	5	10000
5	7	0,25	5	100000
7	8	0,25	5	10000
8	15	0,5	5	10000
15	18	0,5	10	10000
18	20	0,25	10	10000

Figure 4 : exemple de segments générés à partir de la description linéaire de la figure 3

Une illustration du principe de segmentation dynamique est donnée en figure 4.

Les critères de segmentation sont très nombreux (supérieurs à 100) ; ils sont représentatifs de phénomènes caractérisant :

- les sources de dangers (corrosion, activités humaines, milieux traversés...) à prendre en compte,
- les conséquences environnementales (habitations, sites industriels, collectivités...).

L'outil de segmentation a été développé pour automatiser ce traitement sur l'ensemble du linéaire de canalisations.

#### Modèle de risques / Risk Model

L'homogénéité élémentaire de chaque segment va permettre d'être «l'équipement» sur lequel on va estimer un niveau de risque estimé par le produit de sa probabilité de défaillance (PoF) et de la gravité des conséquences (CoF).

- Estimation de la Probabilité de Défaillance (PoF)

L'étape d'estimation de la PoF de chaque segment élémentaire repose sur un modèle probabiliste qui prend en compte, pour chaque défaillance, trois dimensions :

- La menace ou exposition est la source de danger de la canalisation qui par retour d'expérience d'incident se traduit par grandes catégories :
  - o travaux de tiers,
  - o corrosion,
  - o piquages en charges,
  - o défauts de construction...

Elle se caractérise par des fréquences d'occurrence issues de bases de données d'accidents.

- La mitigation est la mesure de prévention et/ou de protection mise en place. Elle est technique ou organisationnelle et nécessite un suivi d'efficacité dans le temps. La valeur ajoutée de cette approche est de définir le type de surveillance et surtout sa fréquence de réalisation.
- La résistance est la capacité intrinsèque de l'ouvrage à résister / s'opposer à une menace de par ses caractéristiques mécaniques.

La probabilité de dommage et de défaillance (PoD / Probability of Damage ; PoF / Probability of Failure) est une fonction de l'exposition, de la mitigation et de la résistance selon les lois suivantes :

Probabilité de dommage (PoD) = f (exposition, mitigation)

**Probabilité de défaillance (PoF) = f(PoD, résistance)**

Exposition	}	PoD	}
Mitigation			
Résistance			

Ces lois sont codifiées dans un modèle global basé sur des lois physiques d'interactions de phénomènes physiques, chimiques, ... Un exemple de couplage de phénomènes physiques régissant la cinétique de corrosion est fourni en figure 5.

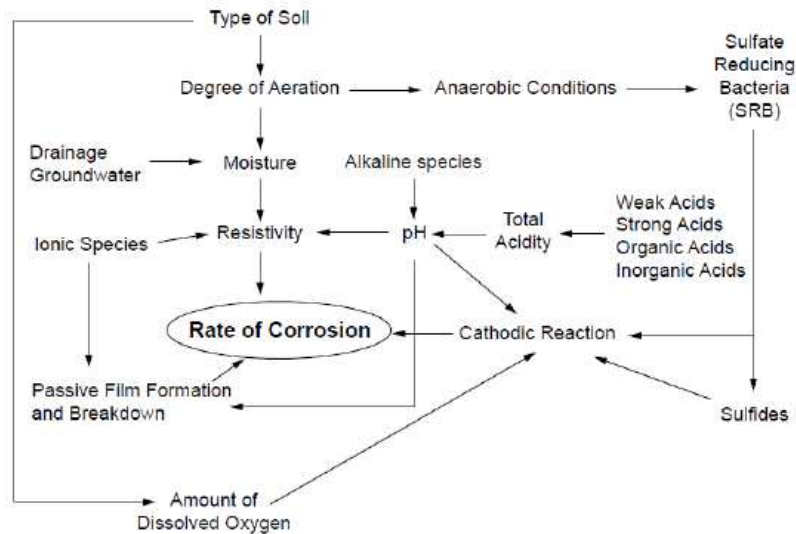


Figure 5 : Exemple de phénomènes physiques (couplage des paramètres) au voisinage de la canalisation

La quantification (PoF) se fait pour chaque segment par menace. Cela permettra de déterminer les contributions respectives de chacune d'elle le long du tracé exprimé en points kilométriques (Pk). Le résultat final est un tableau de valeurs qui, pour chaque segment, associe une probabilité de défaillance pour chaque facteur de risque. Ce tableau est restitué par un graphe (Cf. figure 6).

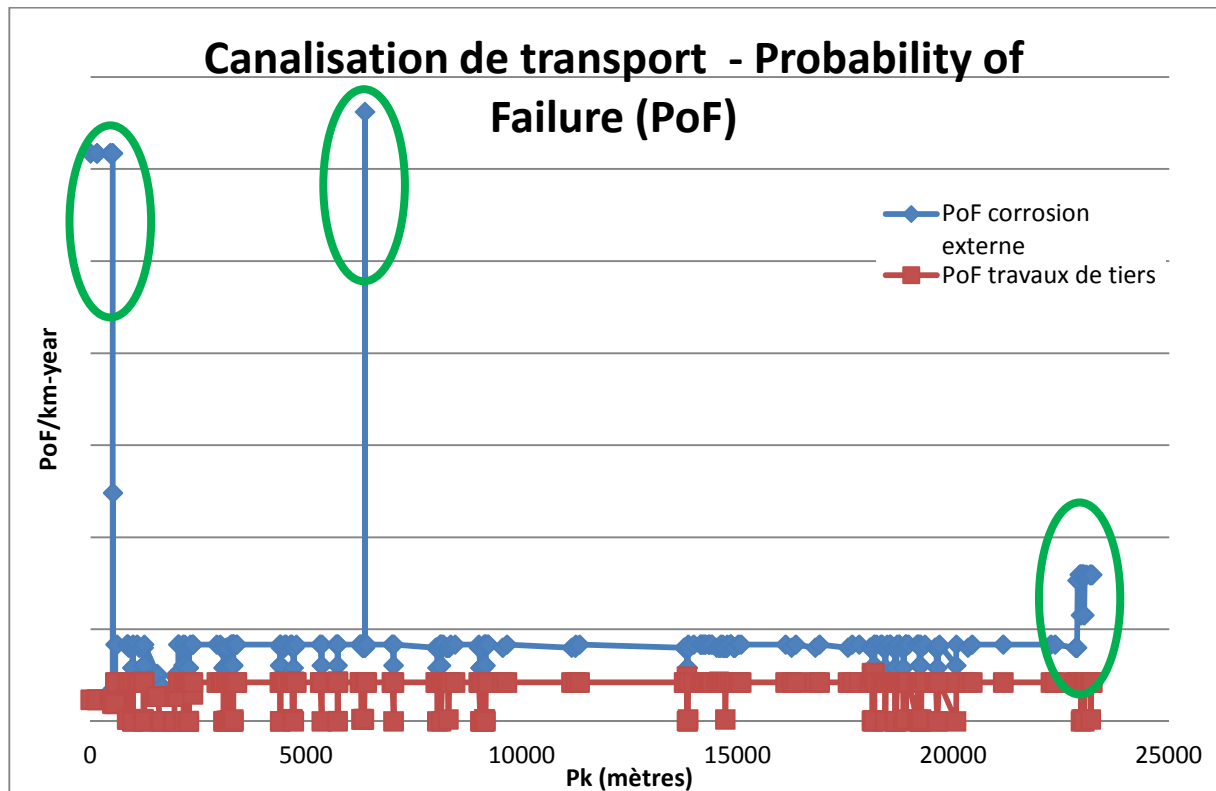


Figure 6 : exemple de profil de probabilité de défaillance pour une canalisation de transport

- Estimation de la gravité des conséquences (CoF)

Les conséquences (CoF) sont estimées sur les personnes et l'environnement et peuvent être élargies aux pertes d'exploitation par des pertes financières. Pour cette phase de test du modèle, nous avons restreint l'utilisation uniquement aux impacts humains.



Le modèle d'estimation du niveau de risque permet de fournir des informations d'aide à la décision de priorisation des zones à investiguer. Ces informations obligent le transporteur à se positionner sur un plan de gestion constitué :

- Des interventions à mener (réparations...) sur les zones à risque les plus élevées
- D'un planning de réalisation (délais de réparations : approche prédictive).

Ce processus initial propose un plan de maintenance qui devra être actualisé périodiquement grâce au recueil d'informations in-situ lors des interventions réalisées et ceci permet d'affiner par itérations les graphes de risques par une approche par apprentissage.

### **Premiers résultats – Application à un réseau de canalisations**

#### SIG et base de données

L'application de cette méthodologie est de pouvoir héberger l'ensemble des très nombreux paramètres nécessaires au remplissage du modèle de risque. Le recours au SIG permet d'obtenir les informations :

- techniques relatives à la canalisation (tube proprement dit) et à toutes les conditions qui l'environnent et qu'elle traverse (nature de sols et propriétés physico-chimiques...)
- sur les enjeux de population implantée au-dessus,
- liées à l'environnement (habitations, voies de circulation...).

La réussite de l'utilisation de cette information nécessite une actualisation de la base de données (tables) hébergée sur des serveurs informatiques. Ce processus de mises à jour est indispensable au maintien opérationnel de l'outil, garant de la fiabilité des données, et réduit l'incertitude des prévisions attendues.

Les valeurs de champs non tabulées sont issues de références bibliographiques ou feront l'objet de collectes lors d'investigations de terrain ; l'ensemble de ces données devra être intégré dans des tables à créer du SIG.

Un autre résultat concerne la restitution de cette analyse de risque dans le SIG. Le profil de risque est visualisable sur un fond de carte ; il aide à localiser directement ces zones vulnérables. Cette forme de restitution permet une appropriation par les différents acteurs qui sont parties prenantes de l'étude de l'aptitude au service de la canalisation. La valeur ajoutée du SIG permet aisément une consultation des résultats qui matérialise sur un fond de carte :

- le tracé de l'ouvrage dans son ensemble et pour différents niveaux de détail (effet de zoom) de cette vue « aérienne »,
- l'affichage (code couleur) des niveaux de risques

Les multiples possibilités du SIG permettent de créer une grande diversité de cartes (contrôle de couches de visualisation) en mettant en exergue l'information pertinente selon l'utilisateur.

#### Segmentation dynamique

Le nombre de segments n'est pas un objectif à atteindre mais il reflète la variabilité de la canalisation dans son environnement décrit.

Un des premiers enseignements de cette méthode n'est pas de chercher à augmenter le nombre de segments élémentaires par la recherche de caractéristiques in-situ coûteuses qui n'aboutirait pas à une augmentation de la précision du niveau de risque. La méthode est itérative, il est inutile de rechercher l'exhaustivité des informations pour l'analyse initiale. Les résultats acquis périodiquement par investigations enrichiront naturellement la base de données (cf. fig 3 et 4). Il est important dans ce type d'approche de chercher à exploiter le maximum de l'information disponible afin de cibler l'effort minimum qui sera à faire en termes d'investigations (connaissance complémentaire à acquérir).

#### Modèle de risque

Le résultat lié à la visualisation graphique est de fournir un profil de risque le long du linéaire de l'ouvrage afin de donner aux décideurs les clés d'une priorisation d'investissement immédiat (excavation de contrôle d'état du tube jusqu'à une réparation) ainsi qu'une projection dans la durée de

cet effort de maintenance (prévisionnel par estimation de vitesse d'altération donc de « durée de vie » restante).

Par exemple, la lecture du profil de risque, en figure 6, identifie trois zones à risque de corrosion externe (zones entourées en vert) :

- les deux zones de pose à l'air libre à chaque extrémité de la canalisation,
- un point de croisement de la canalisation avec une ligne électrique à haute tension.

### **Perspectives et axes d'améliorations**

#### SIG et bases de données

Une des perspectives identifiées est la création des tables manquantes afin d'avoir l'unicité et l'exhaustivité de la base de données. L'objectif sera d'avoir un SIG regroupant toutes les informations relatives à chaque réseau et son environnement ainsi que les données « terrain » recueillies au fil de l'eau. Le processus de mise à jour doit ensuite être mis en place.

#### Segmentation dynamique

Amélioration de l'outil dont nous disposons actuellement.

#### Modèle de risque

- Le choix du modèle de risque qui sera retenu et devra être implémenté et déployé auprès des opérationnels. Cette position doit être intégrée au niveau d'un processus décisionnel au niveau du Groupe Air Liquide afin de l'inclure dans une politique de gestion globale des risques et de gérer les différences d'exigences réglementaires.
- L'intégration de l'outil de gestion de l'aptitude au service au SIG utilisable directement sur les PC des utilisateurs comme par exemple le service de maintenance canalisation ou le risk manager.

### **Conclusion**

L'approche présentée ainsi que son illustration nous permettent de conclure sur son applicabilité dans les conditions de connaissance actuelle des informations disponibles. Les premiers résultats ont orienté l'exploitant sur les localisations sur lesquelles il fallait intervenir prioritairement.

Au stade d'avancement, le recours à un modèle prédictif probabiliste fondé sur l'estimation d'un niveau de risque semble être indispensable pour permettre de prioriser les zones à investiguer et pour bâtir un plan de maintenance et de gestion de l'aptitude au service.

### **Remerciements**

Je tiens à remercier :

- l'ensemble de l'équipe de Recherche et Développement impliquée dans cette démarche de développement de l'outil de gestion de risque (phase pilote de test) pour notre filiale,
- la communication pour la relecture de cette communication.

### **Références**

[Système d'Information Géographique] – Wikipédia – fr.wikipedia.org/wiki/Système d'information géographique

- Système d'Information Géographique (SIG): définition et principes de base à l'adresse :

<http://seig.ensg.ign.fr/fichchap.php?NOFICHE=FP15&NOCONT=CONT3&NOCHEM=CHEMS005&NOLISTE=0&N=4&RPHP=&RCO=&RCH=&RF=&RPF>

[CEF-2001] CEFACOR, Canevas pour l'enseignement, Introduction à la Corrosion Electrochimique et à sa Prévention, février 2001

[COR-2008] Corpro Companies, Inc for PHMSA et U.S. Department of Transportation, Improvement to the External Corrosion Direct Assessment (ECDA) Process (WP#360) Cased Pipes (Project #241), contract No. DTPH56-08-T-000012, juin 2010

DIN 50929-Part 3: 1985, Corrosion of metals - Probability of corrosion of metallic materials when subject to corrosion from the outside - Buried and underwater pipelines and structural components, septembre 1985

[DZU-2011] D'ZURO D., JANEGA G., Lab & Field Test Derived Cased Pipe Corrosion Rate Estimation, Excerpts from NYSEARCH Project Summary, présentation octobre 2011

- [ING-2007] INGAA Foundation, Inc, by Southwest Research Institute, Statistical Analysis of External Corrosion Anomaly Data of Cased Pipe Segments, 2007
- [JAC-2011] JACK T. R., WILMOTT M.J., Corrosion by Soils, Uhlig's Corrosion Handbook, 3<sup>ème</sup> édition, édité par R. Winston Revie, John Wiley & Sons Inc., 2011, p. 333-349
- [MESA] MESA-Cathodic Protection and Integrity Solutions, Casing ECDA Indirect Inspection Tools
- [NIE-2005] NIELSEN L.V. et GALSGAARD F., Sensor Technology for On-line Monitoring of AC-induced Corrosion along Pipelines, NACE Corrosion 2005, papier n° 05375
- [PHM-2010] PHMSA, Guidelines for Integrity Assessment of Cased Pipe for Gas Transmission Pipelines in HCAs, revision 1, novembre 2010
- [ROB-2000] ROBERGE P.R, Soil Parameters Affecting Corrosivity, Handbook of Corrosion Engineering, p 143, publié par McGraw-Hill, 2000
- [RP0502-2002] NACE Standard RP 0502-2002, Pipeline External Corrosion Direct Assessment Methodology, item No. 21097, 2002
- [SON-2009] SONG F.M., BICHON B., FASSET B., BOSS T. and LU A., External Corrosion \_1 Study Investigates Damage to Cased Pipeline Segments, Oil & Gas Journal, April 6 Issue (2009) 56-63
- [SON-2011] SONG F., HE X., McFARLAND J., ECDA Techniques for Shorted and Non-Shorted Cased Crossing, préparé pour le PRCI par le Southwest Research Institute, Contract PR-015-073504, février 2011
- [SPI-2002] SPICKELMIRE B., Corrosion Consideration for Ductile Iron Pipe, Materials Performance, p. 16-23, juillet 2002

#### **Mots clés**

Analyse de risque, Système d'Information Géographique, SIG, risque sociétal, aptitude au service, gestion de l'intégrité, canalisation de transport, cartographie.