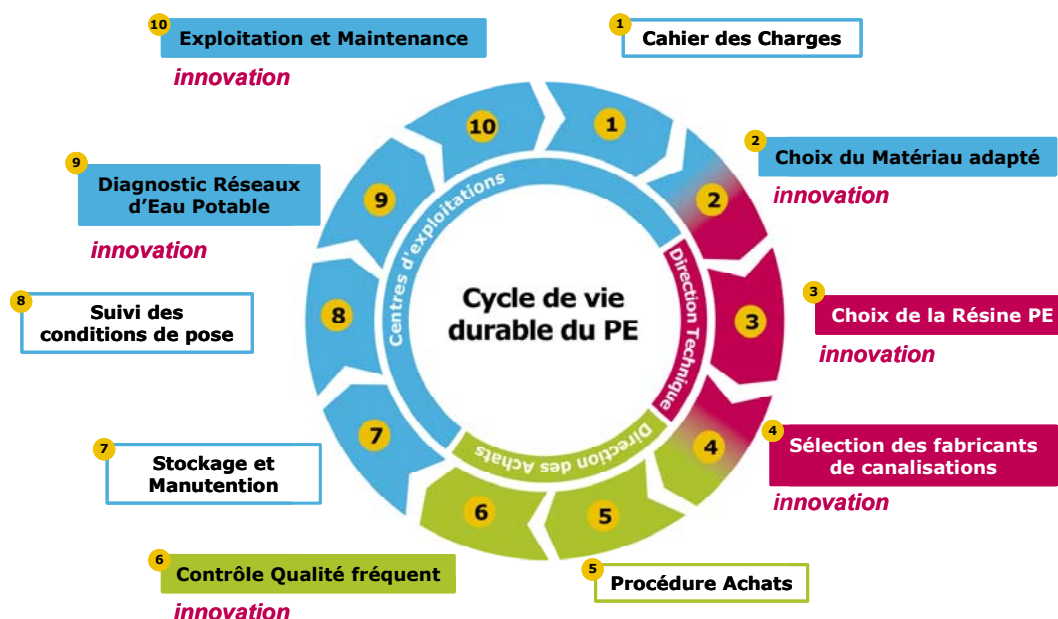


M. ROZENTAL-EVESQUE * B. RABAUD* D. GEOFFRAY * G. BOULANGER **	LE CYCLE DE VIE DU POLYETHYLENE
* SUEZ-ENVIRONNEMENT 38 rue du Président Wilson 78230 LE PECQ FRANCE ** LYONNAISE-DES-EAUX 11 place Edouard VII 75316 PARIS Cedex 9 FRANCE	Table des matières : Résumé..... 1 1. Introduction..... 3 2. Identifier les facteurs a risque et choisir le materiau adapte..... 4 3. Sélectionner les produits adaptes 5 3.1 Choix de la résine PE 5 3.1.1 Banc de vieillissement accéléré..... 5 3.1.2 Benchmark des résines polyéthylène 6 3.1.3 Un outil discriminant..... 7 3.2 Sélection des fabricants de tubes (extrudeurs) 7 4. Optimiser les conditions d’installation..... 8 4.1. Mise en place d’un contrôle qualité : l’essai Nol Ring..... 8 4.2. Stockage, Installation, Sous-traitance 8 5. Instaurer une gestion patrimoniale pérenne..... 9 5.1. Diagnostic Réseaux..... 9 5.2. Optimiser le renouvellement de branchements 9 Conclusion 10 Bibliographie..... 11 ANNEXE 1 : impact des désinfectants en conditions de vieillissement accelere (40°C, 6 bar) pour un PE80 standard 12

RESUME



Ce document est la propriété de Suez-Environnement

SUEZ ENVIRONNEMENT et LYONNAISE-DES-EAUX a mis en évidence que la durée de vie des branchements d’eau potable réalisés en PEHD (noir ou à bandes bleues) était fortement réduite sous l’action cumulative des 3 facteurs suivants :

- température de l’eau élevée;
- nature et concentration du désinfectant (chlore ou dioxyde de chlore) ;
- forte pression (y compris pour des pressions inférieures à la pression de service).

Ces conditions étant spécifiques à chaque contrat, un outil d'auto-évaluation du niveau de risque, a été développé pour permettre de connaître très rapidement la situation d'un réseau.
A ces 3 critères, il faut également rajouter l'effet non négligeable des conditions de pose et de la qualité des matériaux sélectionnés.

Estimer la durée de vie d'un réseau en polyéthylène ne peut pas se résumer à fournir une garantie de 50 ans à 20°C si l'on prend en considération l'impact et la variabilité de ces paramètres d'un site à l'autre. Dans ce contexte, SUEZ-ENVIRONNEMENT a défini le CYCLE DE VIE DU POLYETHYLENE comme la démarche adaptée pour assurer une meilleure gestion patrimoniale à chaque contexte local. Celle-ci contribue à la concrétisation de la politique de développement durable de LYONNAISE-DES-EAUX et de SUEZ-ENVIRONNEMENT.

Même si dans certaines conditions d'exploitation la durée de vie peut être fortement réduite, le polyéthylène reste un matériau fiable, économique et facile à installer qui peut être utilisé dans la plupart des cas pour autant que chaque maillon du cycle de vie ait été optimisé en conséquence.

MOTS-CLES : Polyéthylène, Durée de vie, Cycle de vie, Température, Désinfectant, Pression.

1. INTRODUCTION

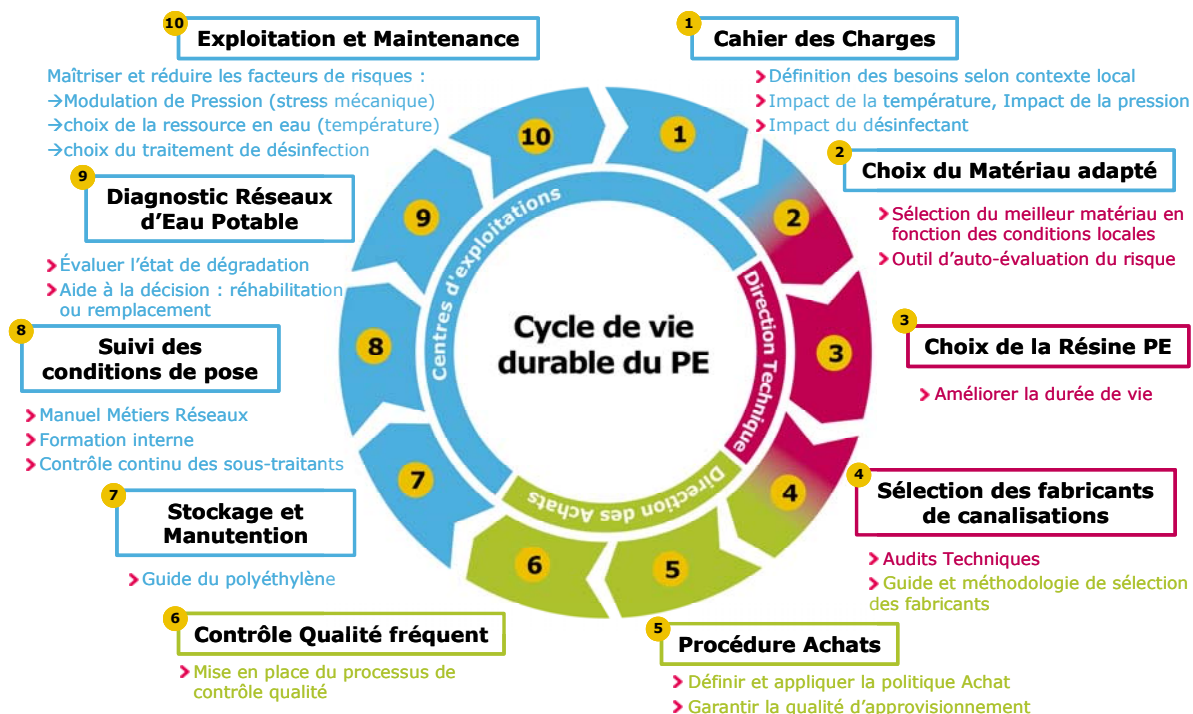
L'utilisation du polyéthylène (PE) se développe dans les réseaux d'adduction d'eau potable grâce aux nombreux avantages que présente ce matériau. Or depuis 2003, plusieurs distributeurs d'eaux et régions ont constaté des ruptures prématurées de branchements en PE notamment lorsque les réseaux sont désinfectés par un résiduel de dioxyde de chlore (ClO₂). La prise en considération de l'impact des oxydants utilisés en désinfection finale sur le vieillissement prématuré des conduites en polyéthylène s'est donc avérée nécessaire.

En 2004, SUEZ ENVIRONNEMENT s'est orienté vers la mise en place de partenariats de recherche alliant différents acteurs du marché du polyéthylène (laboratoires spécialisés, certification, résiniers, extrudeurs) en lançant un programme de recherche ambitieux sur 4 ans dont les objectifs étaient de :

- définir l'ampleur du phénomène,
- identifier des zones à risques et proposer des alternatives techniques,
- développer des essais et outils discriminants permettant le benchmark des produits et par conséquent de développer une stratégie achat bien adaptée au contexte local,
- instaurer une veille permanente au niveau des comités normatifs et des industriels pour l'amélioration constante de la performance des produits utilisés.

Aujourd'hui, grâce à cette initiative et à la démarche innovante engagée, SUEZ-ENVIRONNEMENT a pu :

- améliorer considérablement sa connaissance du cycle de vie du Polyéthylène, de l'achat à la mise en œuvre, et a mis en évidence que tous les polyéthylènes ne sont pas équivalents.
- développer des outils innovants et discriminants ainsi qu'une méthode d'évaluation de la dégradation ;
- être reconnu comme un acteur innovant du marché « polyéthylène », jusqu'alors insuffisamment maîtrisé, en étant moteur du développement des nouvelles générations de conduites PE pour l'eau potable.



Ce document est la propriété de Suez-Environnement

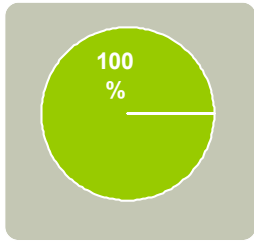
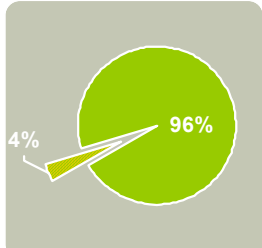
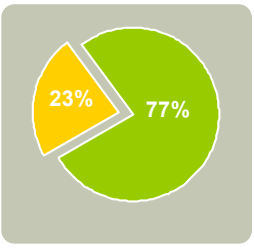
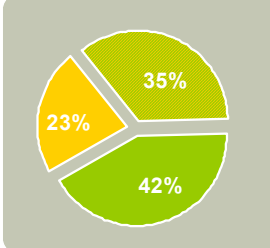
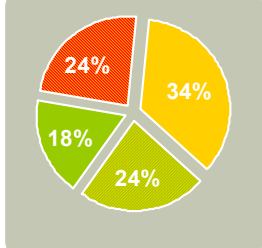
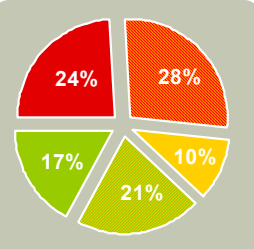
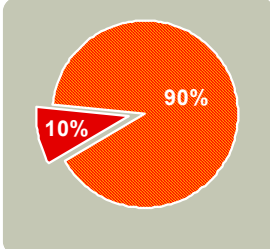
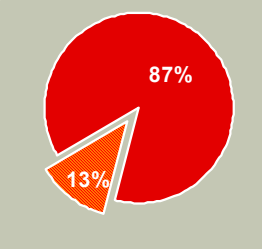
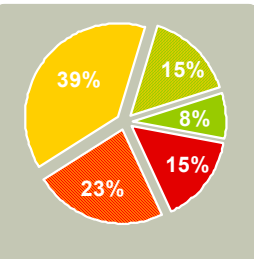
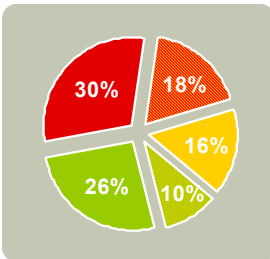
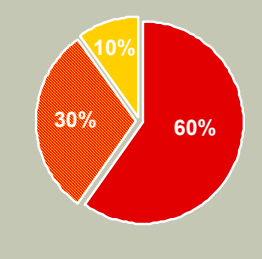
Figure 1 : Etapes du cycle de vie à maîtriser pour assurer une meilleure gestion patrimoniale du polyéthylène

Une vraie stratégie est doré et déjà déployée chez LYONNAISE-DES-EAUX et en cours de déploiement au sein de SUEZ ENVIRONNEMENT basée sur la maîtrise de chaque étape du cycle de vie en fonction du contexte local et illustré par la figure ci-dessus.

2. IDENTIFIER LES FACTEURS A RISQUE ET CHOISIR LE MATERIAU ADAPTE

Dans le cadre du projet, 201 échantillons en service prélevés sur 45 réseaux de distribution d'eau potable dans 7 pays différents ont été analysés et classés par niveaux de dégradation (Tableau 1).

Tableau 1 : Niveaux de dégradation observés sur le terrain pour des échantillons PE en service (de 0 à 25 ans) - valeurs moyennes Température/Désinfectant/Pression

Degradation  Zone (nombre échantillons) : Désinfectant (Résiduel libre) : Température de l'eau : T°C Pression P ou PN tube :		
	France (3) Sans désinfectant T°C : 17 – 20°C, PN 16 bar	Europe du Nord (27) Chlore + NH ₂ Cl : 0.2 – 0.9 ppm T°C : 10 – 14°C, PN 12.5 bar
		
Europe de l'Est (13) Chlore : 0.2 – 0.3 ppm T°C : 11 – 14 °C, P : 2.5- 10 bar	France (31) Chlore : 0.01 – 0.3 ppm T°C : 12 – 18 °C, P: 3 – 10 bar	Europe du sud (17) Chlore : 0.15 – 0.2 ppm T°C : 12 – 15 °C, P : 2 – 7 bar
		
Europe du Sud (29) Chlore : 0.7 – 0.8 ppm T°C : 6 – 30°C, P : 2 – 9 bar	Contexte tropical (10) Chlore : 0.2 – 0.5 ppm T°C : 25 à 28 °C, P: 4 – 6 bar	Maghreb (8) Chlore : 1 ppm T°C jusqu'à 25°C, P : 3 – 6 bar
		
Europe du Sud (13) ClO ₂ : 0,3 – 0,4 ppm T°C: 10 – 15 °C, P : 3 – 10 bar	France (50) ClO ₂ : 0,01 – 0,35 ppm T°C: 9 – 22,5 °C, P: 2 – 10 bar	US (10) ClO ₂ puis Chlore : 0,9 – 3,2 ppm T°C: 14 – 15 °C, P : 2,5 – 7,5

Il est apparu que la durée de vie des branchements en polyéthylène en conditions normales d'exploitation pouvait être fortement réduite sous l'action cumulative de 3 facteurs :

- température de l'eau élevée;
- nature et concentration du désinfectant (chlore ou dioxyde de chlore) ;
- forte pression (y compris pour des pressions inférieures à la pression de service).

A partir de ces critères et d'un outil d'auto-évaluation du niveau de risque pondérant leur impact, il est désormais possible de déterminer très rapidement le risque global d'un réseau comme l'illustre schématiquement le tableau 2.

Tableau 2 : Représentation schématique du risque global

Niveau de risque par critère	Température	Désinfectant	Pression
Risque faible	Niveau de risque Température	Niveau de risque Désinfectant	Niveau de risque Pression
Risque moyen			
Risque élevé			
Risque critique			
Risque global	Combinaison des trois niveaux de risque obtenus		

Intégrer ce résultat dès l'étape du cahier des charges permettra à l'exploitant de mieux cibler le matériau adapté à son contexte, ici en l'occurrence les gammes d'utilisation du polyéthylène en réseau de distribution d'eau potable.

3. SELECTIONNER LES PRODUITS ADAPTES

3.1 Choix de la résine PE

3.1.1 Banc de vieillissement accéléré

SUEZ-ENVIRONNEMENT a créé son propre banc de vieillissement accéléré^(1,2) basé sur les facteurs de dégradation identifiés (Température, Désinfectant, Pression).

Bien que calibré à partir d'essais à haute température (80°C, 90°C)⁽³⁾ inspirés de la norme ASTM F2263 : 2003, l'approche choisie fut en totale rupture avec ceux-ci.

En effet, les conditions expérimentales furent volontairement fixées à 40°C afin de rester proche des conditions de terrain et de s'assurer que les mécanismes de vieillissement restent représentatifs de la réalité.

Le cahier des charges devait alors répondre aux quatre objectifs suivants :

- Reproduire les mêmes mécanismes de vieillissement que ceux constatés sur le terrain ;
- Différencier l'impact des désinfectants (chlore, dioxyde de chlore, monochloramine) sur le vieillissement prématuré du polyéthylène ;
- Comparer et classer les polyéthylènes disponibles sur le marché Européen ;
- Sélectionner les meilleurs matériaux (polyéthylènes et matériaux alternatifs).

Pour y répondre, 8 boucles de test furent nécessaires comprenant une capacité totale de 240 échantillons vieillis en parallèle sous 4 conditions de désinfection avec les deux qualités d'eaux les plus courantes (Cf. Figure 2). Après vieillissement, chaque échantillon fut caractérisé par la même méthodologie d'essais développée pour l'étude de la dégradation des échantillons terrain.

Une comparaison a été également réalisée par rapport à l'essai normalisé existant le plus utilisé à savoir l'essai de pression hydrostatique à 80°C.

Grâce à une collaboration technique avec 3 laboratoires de référence dans le domaine du polyéthylène (LNE, France ; Jana Laboratories, Canada ; Bodycote PDL, UK), plus de 2500 analyses ont pu être réalisées sur 20 types de matériaux plastiques différents soit plus de 400 échantillons.



Figure 2 : banc de vieillissement accéléré : 40°C, 6 bar, pH 7.2, 1 ppm ClO₂, 4 ppm HclO, 4 ppm NH₂Cl

3.1.2 Benchmark des résines polyéthylène

Après 3 ans de vieillissement accéléré, toutes les résines polyéthylène disponibles actuellement dans le marché du tube PE pour l'eau potable ont fissuré sur le banc de vieillissement avec le même type de rupture que celles observées sur le terrain.

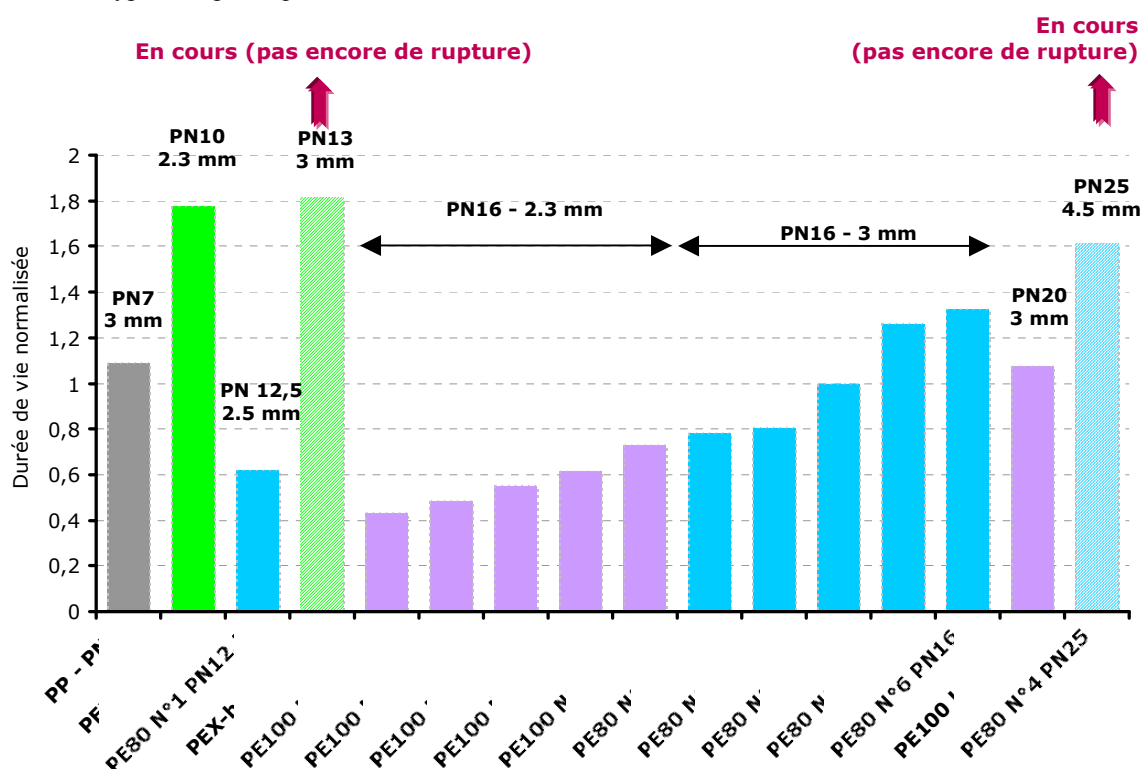


Figure 3 : Durée de vie de différents PE en condition de vieillissement accéléré (40°C, 6 bar, 1 ppm ClO₂). Les échantillons hachurés n'ont pas fissurés à ce jour, données du 12/05/09.

La pression nominale (PN) et l'épaisseur des tubes sont indiquées sur la figure.

Les résultats illustrés par la figure 3 mettent bien en évidence que :

- tous les polyéthylènes ne sont pas équivalents. Par conséquence, le bon choix de la résine polyéthylène peut permettre d'augmenter significativement la durée de vie ;
- l'épaisseur du tube est un facteur important. Ainsi, une sur-épaisseur pourra permettre d'augmenter la durée de vie en réduisant le stress mécanique subi par le matériau. Dans ce cas de figure, les branchements de petit diamètre seront d'autant plus impactés que l'épaisseur des tubes est fine.
- des solutions existent : les différences de durée de vie entre les polyéthylènes existants laissent à penser qu'une nouvelle génération de produits est possible pour résister aux désinfectants chlorés. Le PEX ou polyéthylène réticulé utilisé en eau chaude sanitaire présente également de bonnes performances.

3.1.3 Un outil discriminant

Deux ans et demi après le démarrage, le banc de vieillissement accéléré est considéré comme un vrai succès :

- les mêmes mécanismes de vieillissement que sur le terrain sont mis en jeu (mais en accéléré) ;
- l'impact des désinfectants a pu être bien identifié (Cf. Annexe 1), permettant d'améliorer le modèle de durée de vie proposé par l'ENSAM⁽⁴⁻⁷⁾ ;
- les conditions sous dioxyde de chlore ont pu être réutilisées à des fins de benchmark entre les polyéthylènes actuels et les matériaux alternatifs possibles ;
- plusieurs essais sont encore en cours pour tester des produits résistant aux désinfectants ;
- la comparaison des résultats du vieillissement accéléré aux essais de pression hydrostatique à 80°C a montré que tous les tubes ayant fissuré après vieillissement accéléré passaient les requis de l'essai normalisé comme l'illustre les résultats en tableau 3 ; L'essai de pression hydrostatique n'est donc pas un essai discriminant pour comparer les performances des polyéthylènes en présence de désinfectants .

Tableau 3 : Résultats des essais pression hydrostatique à 80°C sur tubes fissurés sur pilote

Conditions	Matériau	Etat de dégradation observé sur banc de vieillissement accéléré	Durée exposition t (heures)	Arrêt de l'essai à 80°C : si t > 1000h à 90°C : si t > 165h	Résultats
80°C 4 MPa	PE80 A	Echantillon fissuré	0	Eclatement	-
	PE80 B	Echantillon fissuré	1270	Arrêt volontaire	Conforme
	PE80 C	Echantillon fissuré	1392	Arrêt volontaire	Conforme
	PE80 D (Standard)	Echantillon fissuré	1393	Arrêt volontaire	Conforme
	PE80 F	Echantillon fissuré	1393	Arrêt volontaire	Conforme
90°C 4,5 MPa	PE80 E	Echantillon fissuré	239	Arrêt volontaire	Conforme

3.2 Sélection des fabricants de tubes (extrudeurs)

Une stratégie achat a été élaborée par LYONNAISE-DES-EAUX afin de sélectionner des extrudeurs de qualité. Une petite équipe d'auditeurs interne fut créée avec pour mission d'évaluer la performance des fabricants de tubes. Un barème de notation basé sur plus de 74 critères d'évaluation a été défini.

Grâce à cette démarche, une liste positive d'extrudeurs a pu être mise en place. Dorénavant, les achats sont réalisés soit auprès d'un unique distributeur qui a pour obligation de s'approvisionner chez les extrudeurs sélectionnés par LYONNAISE-DES-EAUX, soit directement chez un ou plusieurs extrudeurs approuvés en fonction du tonnage demandé. Cette politique d'achat a ainsi

permis de contrôler les approvisionnements de polyéthylène mais aussi d'acquérir une connaissance et une reconnaissance du marché par rapport à une démarche de qualité.

Basée sur cette première expérience, une méthodologie de sélection des fabricants de canalisations a été étendue au cadre international et est en cours de déploiement au sein des filiales de SUEZ-ENVIRONNEMENT.

Dans l'immédiat, la durée de vie des branchements nouveaux peut déjà être améliorée par le respect de spécifications d'achat strictes et l'application des préconisations de pose.

Déjà, la nouvelle politique achat de LYONNAISE-DES-EAUX a permis de fiabiliser 99% des approvisionnements en 2008.

4. OPTIMISER LES CONDITIONS D'INSTALLATION

4.1. Mise en place d'un contrôle qualité : l'essai Nol Ring

Pour s'assurer de la conformité des produits livrés à nos prescriptions un contrôle à la réception est indispensable.

Un test mécanique rapide, l'essai NOL Ring, a été développé par le Laboratoire National d'Essai en partenariat avec Suez-Environnement et consiste à effectuer un essai de traction radial sur un anneau découpé dans un tube⁽⁸⁻¹⁰⁾. Mis en œuvre en quelques heures, il permet d'apprécier les caractéristiques mécaniques d'un tube de petit diamètre.

La correspondance entre les résultats de cet essai et ceux d'essais d'éclatement sous pression de tubes PE montre que cet essai est bien représentatif des conditions de service des tubes et est mieux adapté pour mettre en évidence la détérioration des tubes d'alimentation en eau potable que les essais de traction classiques.

Plusieurs optimisations ont ensuite été réalisées sur la méthode permettant de caler le protocole d'essai et d'identifier 5 catégories de propriétés mécaniques en fonction du niveau de dégradation observé. Plus de 120 échantillons terrain ont été testés dans ce cadre.

Aujourd'hui, il est dorénavant possible de déterminer et de contrôler efficacement les performances mécaniques des branchements en polyéthylène. Avec cet essai, un contrôle qualité peut être mis en place pour s'assurer du respect des exigences.

4.2. Stockage, Installation, Sous-traitance

Le tube de polyéthylène est relativement résistant, élastique et léger donc facile à manutentionner. En revanche, il est très sensible aux agressions par des objets pointus, rayures et poinçonnements, comme aux effets de la température et aux rayonnements solaires (UV). Pour cela une manutention soigneuse est à respecter de la réception jusqu'à la pose sur les chantiers.

Avec son « Manuel Métier Réseaux », LYONNAISE-DES-EAUX fournit à ses équipes les bonnes pratiques permettant d'optimiser la maîtrise des conditions de pose. Les préconisations faites pour assurer une manutention correcte de tubes de polyéthylène doivent être respectées lors du transport, au contrôle de livraison, pendant le stockage et lors du déchargement des tubes et raccords de polyéthylène sur les dépôts et sur les chantiers. Leur application doit être obligatoire pour garantir la durée de vie des tubes.

Dans le cas d'utilisation de sous-traitants pour la pose et/ou le renouvellement des branchements en PE, il est impératif de pouvoir maîtriser l'approvisionnement des matériaux afin de garantir la qualité des produits posés, d'exiger le même niveau de performances et d'en contrôler la bonne application sur les chantiers.

5. INSTAURER UNE GESTION PATRIMONIALE PERENNE

5.1. Diagnostic Réseaux

Une nouvelle méthodologie de caractérisation de la dégradation a été développée catégorisant le vieillissement du polyéthylène en 3 étapes:

- le vieillissement chimique (la structure du polyéthylène se modifie et s'oxyde),
- la fragilisation de la paroi interne (le polyéthylène devient cassant),
- la dégradation des propriétés mécaniques (conduisant au final à la rupture).

Pour chaque étape, plusieurs essais normalisés ont été testés afin d'identifier les plus discriminants. Si les essais chimiques se sont avérés fiables et relativement simples à mettre en œuvre, ceux concernant la qualification de la fragilisation et la quantification de la dégradation l'ont été beaucoup moins.

Pour répondre aux objectifs fixés, deux essais ont été développés inspirés de normes américaines existantes:

- le Reverse Bend Back Test (fragilisation),
- le Nol Ring (propriétés mécaniques).

La mise au point et la validation de ces 2 essais n'ont pu être possible que par le biais de partenariats avec des laboratoires compétents et innovants dans ce domaine : Jana Laboratories et le LNE.

Au final, la méthodologie proposée par SUEZ-ENVIRONNEMENT offre un panel de 5 indices⁽¹¹⁾ de dégradation (correspondant à 5 essais) classifiant la dégradation en 5 niveaux de risque (Cf. Figure 4) pour chacun d'entre eux.

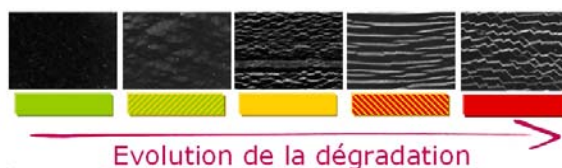


Figure 4 : Indice RBBT : Evolution de la dégradation du polyéthylène par niveaux de risque (obtenu après Reverse Bend Back Test)

C'est l'intégration de l'essai Nol Ring à cette méthodologie qui a permis de distinguer les matériaux vieillis par l'action des désinfectants de ceux de mauvaise qualité ayant des performances initiales médiocres.

Cette approche ainsi optimisée a eu pour avantage de pouvoir transcrire facilement les résultats d'essais techniques complexes simplifiant ainsi la compréhension des recommandations opérationnelles proposées sur le terrain.

A partir de ces essais et outils, des échantillons prélevés sur le terrain peuvent être facilement expertisés pour définir le niveau de dégradation du réseau polyéthylène existant tout en identifiant la cause :

- pas d'oxydation chimique et bonnes performances mécaniques,
- oxydation chimique présente mais sans impact sur les performances mécaniques,
- forte oxydation corrélée à de faibles performances mécaniques,
- pas d'oxydation mais faibles performances mécaniques (mauvaise qualité de matériau).

5.2. Optimiser le renouvellement de branchements

Pour optimiser le renouvellement de branchements, la connaissance de l'état de dégradation du réseau est un atout précieux. Une sectorisation des zones à risque accompagnée de quelques diagnostics permettre de mieux cibler les zones les plus critiques et donc de définir des priorités dans les plans de renouvellement.

Une action bien ciblée permettra de réduire les fuites de manière significative et en peu de temps.

A moyen-terme, une étude spécifique sur les facteurs de risque que sont :

- la température de l'eau (choix des ressources en eau par exemple),
- le désinfectant (choix du traitement et de sa concentration)
- la pression (réguler la pression pour diminuer le facteur de stress mécanique)

permettra d'évaluer les actions éventuelles à réaliser pour optimiser la durée de vie du réseau en polyéthylène.

CONCLUSION

Ces dernières années, SUEZ-ENVIRONNEMENT et LYONNAISE-DES-EAUX ont considérablement amélioré leur connaissance du cycle de vie du PE, de l'achat à la mise en œuvre, et mis en évidence qu'il y a une grande variété de PE. Aujourd'hui le respect de règles simples aux différentes étapes de ce cycle permet :

- d'optimiser la durée de vie des branchements et conduites en polyéthylène que nous installons,
- d'affirmer que le polyéthylène reste un matériau d'avenir, à la fois facile à mettre en œuvre et d'un prix compétitif.

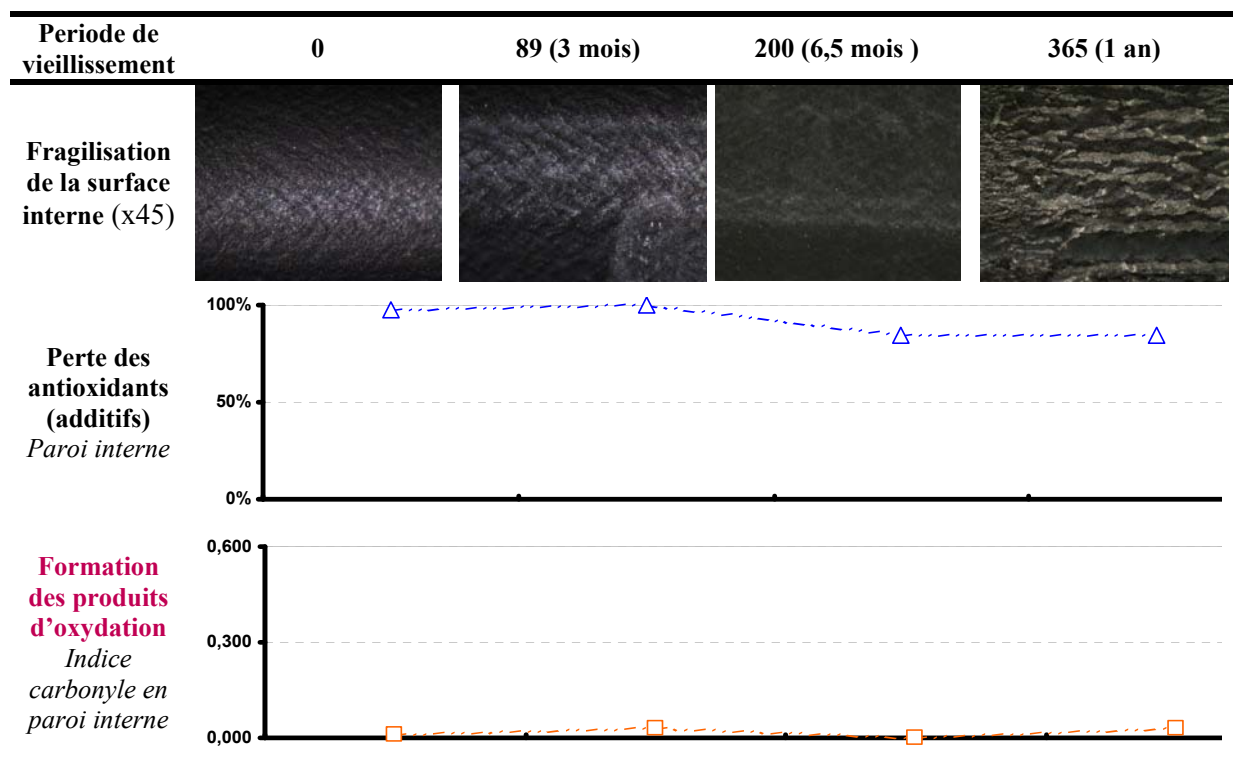
Les résultats obtenus dans le déploiement de cette démarche (cycle de vie durable du PE) s'inscrivent dans les objectifs de développement durable de SUEZ-ENVIRONNEMENT et de LYONNAISE-DES-EAUX ainsi que ceux de leurs clients, aussi bien en France qu'à travers le reste du monde .

BIBLIOGRAPHIE

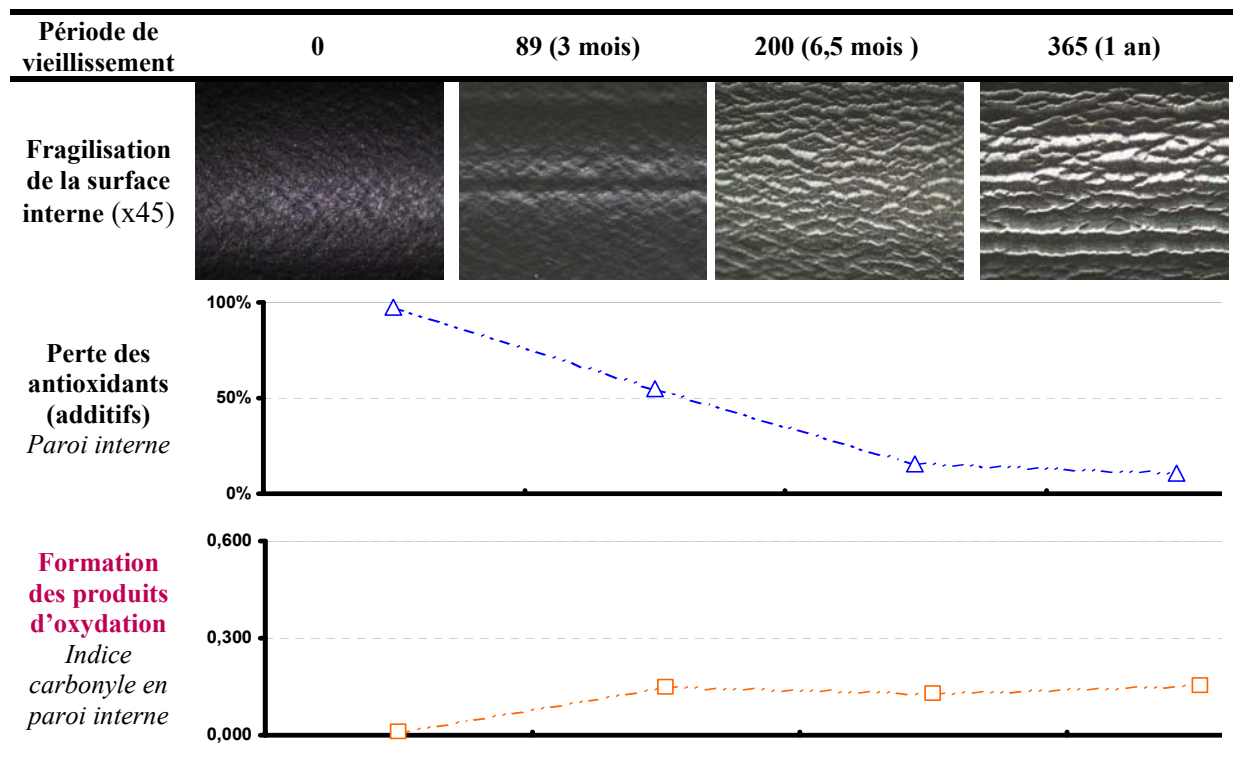
1. RABAUD B. and Rozental-Evesque, M, **2008**, “Interactions between polyethylene water pipes and disinfectants used in drinking water treatments: how to characterize the ageing?”, Actes de congrès Eurocorr conference, 7 – 11 Septembre, Edimbourg, Ecosse.
2. ROZENTAL-EVESQUE M., Rabaud B., **2008**, “A reliable bench testing for benchmarking oxidation resistance of polyethylene and plastic pipe material in disinfected water environments”, Actes de congrès PPXIV conference, 22 – 24 Septembre, Budapest, Hongrie.
3. CHUNG S., Li T., Oliphant K., Vibien P., Rozental-Evesque M. and Rabaud B., **2008**, “Characterizing long-term performance of plastic piping materials in potable water applications”, Actes de congrès PPXIV Conference, 22 – 24 Septembre, Budapest, Hongrie.
4. COLIN X., Audouin L., Verdu J., Rozental-Evesque M., Martin F. and Bourguine F., **2006**, “Kinetic modeling of the ageing of polyethylene pipes for the transport of water containing disinfectants”, Actes de congrès plastics pipes XIII conference, 02 – 06 Octobre, Washington DC, USA.
5. ROZENTAL-EVESQUE, M., Martin, F., Bourguine, F., Colin, X., Audouin, L. and Verdu, J., **2006**, « Etude du comportement de tuyaux en polyéthylène utilisés pour le transport d’eau potable en présence de désinfectant chloré ». Actes de congrès, ASTEE, Deauville, France, 02–06 Juin. *Techniques Sciences et Méthodes* **12**, p. 119-129.
6. COLIN X., Audouin L., Verdu J., Rozental-Evesque M., Martin F. and Bourguine F, **2007**, “Durability of polyethylene pipes transporting chlorine dioxide disinfected water: Kinetic modelling of embrittlement process”, Actes de congrès Plastic pipe fittings and joins conference, , 10 – 12 Décembre, Cologne, Allemagne.
7. COLIN X., Audouin L., Verdu J., Rozental-Evesque M., Martin F. and Bourguine F, **2008**, “Lifetime prediction for polyethylene pipes transporting chlorine dioxide disinfected drinking water under pressure”, Actes de congrès plastics pipes XIV conference, 22 – 24 Septembre, Budapest, Hongrie.
8. ASTM D 2290-04: 2000, Standard Test Method for Apparent Hoop Tensile Strength of Plastic or Reinforced Plastic Pipe by Split Disk Method.
9. ROZENTAL-EVESQUE M., Rabaud B., Sanchez M., Louis S. and Bruzek C-E, **2008**, “The Nol Ring Test: an improved tool for characterizing the mechanical degradation of non failed polyethylene pipe house connections”, Actes de congrès PPXIV conference, 22 – 24 Septembre, Budapest, Hongrie.
10. SANCHEZ M., Louis S., Bruzek C-E, Rozental-Evesque M., Rabaud B. and Glucina K., **2008**, “Development of a “Nol ring” test to study polyethylene pipe degradation”, Actes de congrès PPXIV conference, 22 – 24 Septembre, Budapest, Hongrie.
11. ROZENTAL-EVESQUE M., Rabaud B., Boulanger G., Glucina K., **2008**, « Intéractions entre les canalisations en polyéthylène et les désinfectants chlorés utilisés en traitement d’eau potable ». Actes de congrès ASTEE, Nîmes, France, 03 – 05 Juin.

ANNEXE 1 : IMPACT DES DESINFECTANTS EN CONDITIONS DE VIEILLISSEMENT ACCELERE (40°C, 6 BAR) POUR UN PE80 STANDARD

SANS DESINFECTANT



TRAITEMENT CHLORE (4 ppm)



TRAITEMENT DIOXYDE DE CHLORE (1 ppm)

