

## Gestion patrimoniale des infrastructures liées aux eaux urbaines : la méthodologie et l'approche AWARE-P implémentée au Portugal et en Norvège

Dans un environnement de pression financière conjugué à des défis environnementaux et sociaux, les services d'eau potable et d'assainissement ont besoin d'outils pour gérer judicieusement leurs réseaux et leurs prestations afin d'optimiser la valeur du service rendu dans une perspective à long terme. Après une présentation des principes et des caractéristiques d'AWARE-P, une approche systémique dotée d'outils logiciels pour la gestion patrimoniale des infrastructures liées aux eaux urbaines, cet article s'intéresse à son utilisation au Portugal et en Norvège.

# D

ans le monde entier, d'importants investissements ont été réalisés dans les infrastructures liées à l'eau urbaine pour fournir des services pour les eaux urbaines (par exemple : l'eau potable, l'eau usée, l'eau pluviale) et pour garantir leur qualité. Ces services sont essentiels pour la protection de la santé publique, du bien-être de la population, du développement durable des communautés et de la protection de l'environnement. La nécessité d'une évaluation précise de l'état des infrastructures liées à l'eau (conduites d'eau potable et d'assainissement) s'accroît de par le monde afin de gérer au mieux la dégradation des réseaux avec des ressources réduites. Des exemples de problèmes liés à la détérioration du patrimoine sont : les fuites et le risque de contamination pour les réseaux d'eau potable, des effondrements importants de canalisations dus à l'infiltration des eaux souterraines et l'exfiltration des eaux usées dans les eaux souterraines et le sol environnant provoquant une pollution environnementale significative et durable. Les fissures, affaissements, intrusions de racines d'arbres et autres perturbations qui se développent dans la durée détériorent les canalisations et les autres infrastructures enterrées, réduisant la qualité du service rendu et la fiabilité structurelle du patrimoine (Ugarelli *et al.*, 2007).

L'exigence de fournir un service en continu, impose, quand les infrastructures sont vieillissantes, la nécessité d'une gestion patrimoniale des infrastructures (GPI) de plus en plus durable. Atteindre et conserver des niveaux adéquats de service, dans une perspective à long terme, exige que la GPI prenne en compte que les réseaux d'eaux urbaines ont des durées de vie longues, et que soit établi un équilibre entre les facteurs de performance, de risque et de coût (Coelho *et al.*, 2013).

Cet article présente AWARE-P<sup>1</sup>, un outil de GPI qui a été mis en œuvre au Portugal et en Norvège.

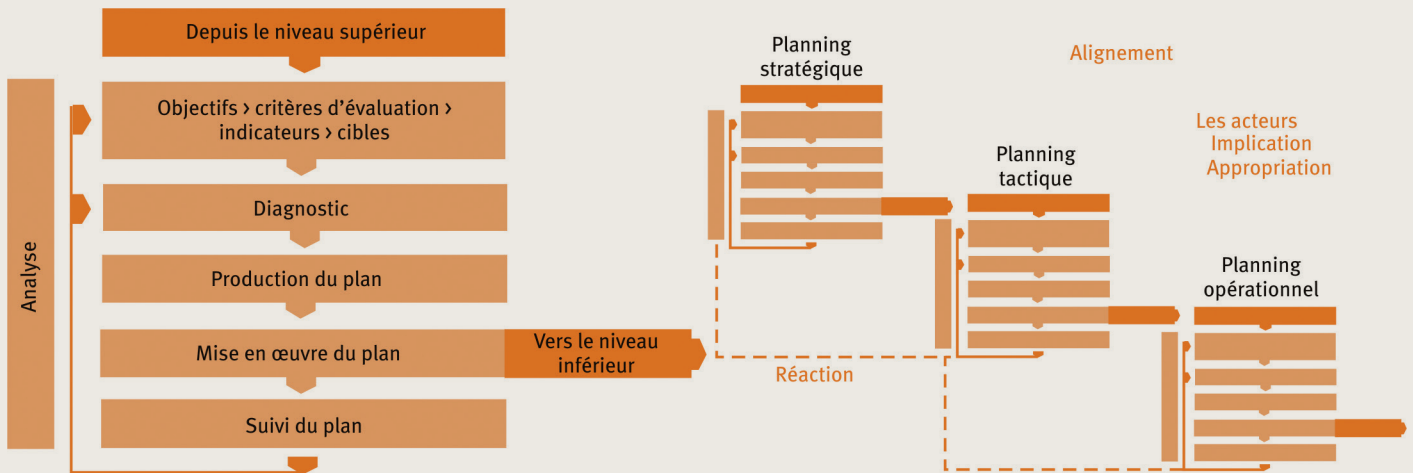
### Les principes d'AWARE-P

Le succès d'une planification de GPI nécessite de respecter les grands principes de la méthodologie, à savoir :

- considérer que les infrastructures se comportent comme un système, c'est-à-dire qu'une conduite d'eau potable individuelle ou d'assainissement n'est pas une unité fonctionnelle et donc ne fournit pas en soi un service et n'a pas de valeur (en termes de service rendu) en tant que telle ;
- planifier à long terme en admettant qu'une infrastructure réseau a une durée de vie longue et pas fixe, qui traverse les générations et par conséquent que toutes les

1. AWARE-P : *Advanced Water Asset Rehabilitation Project* (projet sur la réhabilitation patrimoniale avancée des infrastructures liées à l'eau), fonds de l'Espace économique européen (EEE), (2009-2012).

❶ Méthodologie de GPI avec AWARE-P : le processus à chaque niveau de planification et son alignement (Alegre et al., 2013).



phases du cycle de vie du patrimoine coexistent dans une infrastructure arrivée à maturité ;

- répondre aux attentes en matière de performance, de risque et de coût.

En outre, l'adéquation complète entre les plans développés de GPI et les objectifs de l'organisation est essentielle, en impliquant les différents niveaux décisionnels, du personnel de terrain aux cadres supérieurs. Pour chacun des trois niveaux de planification (figure ❶), stratégique, tactique et opérationnel, il est nécessaire de définir la granularité des plans (le niveau de détail), les compétences (services d'eau potable, d'assainissement ou de gestion des eaux pluviales), le type d'action (stratégique, tactique ou opérationnelle) et l'horizon temporel (court, moyen ou long terme).

En appliquant ces principes, l'objectif de la méthodologie AWARE-P est d'établir un équilibre entre performance, coût et risque, selon des perspectives à court et à long terme suivant une approche multidimensionnelle. Le projet européen AWARE-P (numéro de contrat PT 0043) coordonné par le LNEC<sup>2</sup> et impliquant le SINTEF<sup>3</sup> comme partenaire international, est le successeur direct de deux projets antérieurs, CARE-W<sup>4</sup> et CARE-S<sup>5</sup> (Sægrov, 2004 ; Sægrov, 2006) avec comme objectif de développer des produits opérationnels qui peuvent contribuer à l'amélioration des forces de coconstruction dans le domaine de l'eau et accompagner la procédure de planification.

Lors du développement de plans de GPI pour les services, on distingue typiquement trois niveaux de planification, à savoir les niveaux stratégique, tactique et opérationnel.

L'orientation générale d'un service et ses objectifs à long terme sont fixés par le **niveau stratégique**. Les objectifs sont accompagnés de critères d'évaluation des indicateurs et des cibles correspondant à chaque objectif. Le diagnostic résulte d'une analyse SWOT (forces – fai-

blesse – opportunités – menaces) et d'une mesure des écarts entre les valeurs des indicateurs pour la situation de statut quo que la cible a établie. Le décideur peut choisir quelles options stratégiques devraient être intégrées dans le plan stratégique, quel est leur impact attendu sur les indicateurs, et quelles sont les ressources financières, humaines et techniques nécessaires pour les mettre en œuvre. Un plan stratégique de GPI est généralement un plan d'une durée de dix à vingt ans avec un raisonnement au niveau du système.

Le plan du **niveau tactique** se base sur les stratégies et les objectifs définis au niveau stratégique et introduit des objectifs et des indicateurs à moyen terme plus spécifiques. Le système de gestion des eaux urbaines est divisé en secteurs d'analyse et un diagnostic est effectué pour chaque secteur. Ceci permet une première sélection des priorités d'intervention. Des analyses plus fines sont menées pour la priorité d'intervention la plus élevée. Des solutions alternatives d'interventions sont élaborées, analysées, évaluées, comparées et sélectionnées. Un plan tactique est habituellement établi sur un horizon de trois à cinq ans.

Lorsque les solutions alternatives d'interventions ont été classées par ordre de priorité au **niveau tactique**, il est nécessaire de définir la manière de les mettre en œuvre et un **plan opérationnel** en exposera les grandes lignes.

2. LNEC : National Civil Engineering Laboratory.

3. La SINTEF (en norvégien : *Stiftelsen for industriell og teknisk forskning*, qui signifie « Fondation pour la recherche scientifique et industrielle ») est une organisation indépendante de recherche scientifique en Norvège.

4. CARE-W : *Computer Aided Rehabilitation of Water Networks* (Réhabilitation assistée par ordinateur des réseaux d'eau potable).

5. CARE-S : *Computer Aided Rehabilitation of Sewer Networks* (Réhabilitation assistée par ordinateur des réseaux d'assainissement).

▶ Par exemple, pour les éléments de patrimoine qui ont été classés comme prioritaires pour le renouvellement, il faut ensuite décider dans le plan opérationnel, quelle est la technologie la plus appropriée. Ce plan a un horizon à court terme, d'ordinaire de un à deux ans.

Il convient de signaler qu'il y a un effet de déclinaison en cascade d'un niveau de planification au niveau inférieur. La mise en œuvre du plan stratégique conduit à produire un ou des plan(s) tactique(s), et la mise en œuvre d'un plan tactique conduit à produire un ou des plan(s) opérationnel(s). Les détails des étapes de la procédure AWARE-P sont différents selon le niveau de planification où l'on se situe, puisque chaque niveau de planification est distinct des autres niveaux.

Le résultat de ce projet est de proposer un cadre à la GPI associé à une « boîte à outils » qui est fournie.

### Les outils logiciels GPI dans AWARE-P

Le projet AWARE-P a développé un ensemble d'applications logicielles pour faciliter et améliorer la procédure de planification dans les services d'eau potable et d'assainissement. La « boîte à outils » comprend **un module détérioration** pour évaluer la fiabilité et la durée de vie, **un module hydraulique** pour déterminer l'importance relative d'un composant et sa performance et **un outil d'aide à la décision multi-critères** pour évaluer différents scénarios de management et d'investissement.

La particularité de cet ensemble d'outils est que l'approche AWARE-P comprend l'utilisation et la production de différents outils qu'elle présente dans une plateforme web (<http://baseform.com/np4/home/>).

#### 1 Description des outils disponibles dans la boîte à outils d'AWARE-P.

##### Outils de planification de GPI

###### PLAN : comparer et décider

Un environnement d'aide à la décision dans lequel les solutions alternatives de planification ou les projets concurrents sont évalués, comparés et classés par ordre de priorité via des indicateurs traduisant les objectifs.

###### Indicateurs de performance

Un outil pour la sélection et le calcul d'indicateurs clés de performance (KPI), fondé sur des bibliothèques structurées, incluant les standards de l'industrie (IWA\*) et des bibliothèques développées par les utilisateurs.

###### Projet financier

Évaluer la valeur actuelle nette (VAN) et le taux de rendement interne (TRI) des placements de tout projet financier selon une perspective à long terme ou selon le cycle de vie du patrimoine.

##### Outils d'analyse spatiale et d'analyse de systèmes d'eaux urbaines

###### Modélisation du réseau EPANet

Le logiciel de simulation Epanet performant, programmé en Java, effectue une gamme complète de simulations hydrauliques et de la qualité de l'eau des réseaux de distribution d'eau potable, avec une visualisation avancée en 2D/3D et une intégration dans Google Earth.

###### SHAPE : SIG \*\* de Baseform™

Permet d'inclure des données géo-référencées dans l'environnement d'analyse, avec des services de cartographie pour aider à replacer les résultats d'analyse dans leur environnement.

##### Analyse du patrimoine et outils de prédiction

###### Analyse des défaillances

En exploitant les historiques de défaillances des composants du système, issus par exemple d'ordres de travail, l'outil prédit la probabilité actuelle et future de défaillance des conduites d'eau potable et d'assainissement.

###### Importance des composants

Modéliser la défaillance de chaque conduite dans un réseau de distribution d'eau potable pour mesurer son impact hydraulique sur les nœuds de consommation.

###### Demande non satisfaite

Quantifier le risque d'interruption du service de distribution d'eau potable en estimant la réduction du service attendu à partir du volume des demandes non satisfaites sur une période donnée.

###### Analyse des inspections

En exploitant les enregistrements d'évaluation de l'état du réseau, à partir des inspections télévisées ITV, prédire l'état actuel et futur d'une conduite d'assainissement, et orienter intelligemment l'effort d'inspections à réaliser (actuellement en version beta).

###### Indice de valeur de l'infrastructure

Analyser le degré de vieillissement d'une infrastructure à partir du rapport entre les valeurs actuelles et les valeurs de remplacement de ses composants, et prévoir les besoins d'investissements à court et à long terme.

###### Indices de performance

Évaluation reposant sur une simulation de la performance technique détaillée, de la capacité, de la qualité de l'eau et du comportement énergétique du réseau.

\* IWA : International Water Association (Association internationale de l'eau).

\*\* SIG : système d'information géographique.

La plateforme logicielle AWARE-P est conçue pour la gestion patrimoniale des infrastructures et la planification des systèmes de gestion des eaux urbaines. Elle fournit les outils pour une évaluation quantitative de l'impact à long terme des projets de gestion patrimoniale et d'interventions continues d'exploitation et maintenance (O&M) d'une manière aisément défendable, reproductible et transparente. AWARE-P soutient la planification de GPI axée sur le service, en promouvant les exigences clés de l'ISO 55000 et l'examen complet de comportement du système pour à la fois les actifs linéaires et non linéaires des systèmes d'eau potable et d'assainissement. La plateforme AWARE-P comprend un portefeuille d'outils modulaires pour la planification de la GPI, l'analyse spatiale, le diagnostic et la prédiction de l'état de santé du patrimoine en utilisant des données disponibles (inventaire d'actifs, bases de données spatiales, indicateurs clés de performance (kPI<sup>6</sup>), financiers et opérationnel).

Le tableau 1 répertorie les outils disponibles dans la boîte à outils AWARE-P et fournit une brève description de chaque outil.

### La GPI au Portugal

Les infrastructures des services publics de l'eau au Portugal avaient, dans les années 1970, un niveau de développement nettement inférieur à celui de la moyenne en Europe. Des efforts importants entrepris dans les années 1980 et 1990 ont permis d'augmenter sensiblement ce niveau de développement et peu avant l'an 2000, toute la population vivant dans les zones urbanisées avait pleinement accès aux services de distribution d'eau potable et d'assainissement. Depuis 1993, quelques réformes institutionnelles, une nouvelle législation et un système de régulation très efficace font que le Portugal est devenu

un modèle de réussite. Toutefois, la période du début des années 2000 a montré que cette croissance rapide n'a pas été assortie d'un niveau de maintenance satisfaisant des infrastructures plus anciennes, ni d'un investissement suffisant pour la majorité des services. Un changement considérable de la mentalité des gestionnaires de l'eau urbaine était nécessaire. Ce besoin de changement a été le moteur principal du projet AWARE-P, qui a également eu un impact sur les politiques publiques nationales et les réformes institutionnelles.

Depuis 2011, l'approche AWARE-P en matière de GPI est déjà appliquée dans de nombreux services présentant une grande diversité de tailles, de niveaux de développement, de modèles institutionnels ou de motivations pour la gestion patrimoniale ; ses concepts fondamentaux sont même transférables à d'autres infrastructures réseaux similaires, comme les routes ou les conduites de gaz.

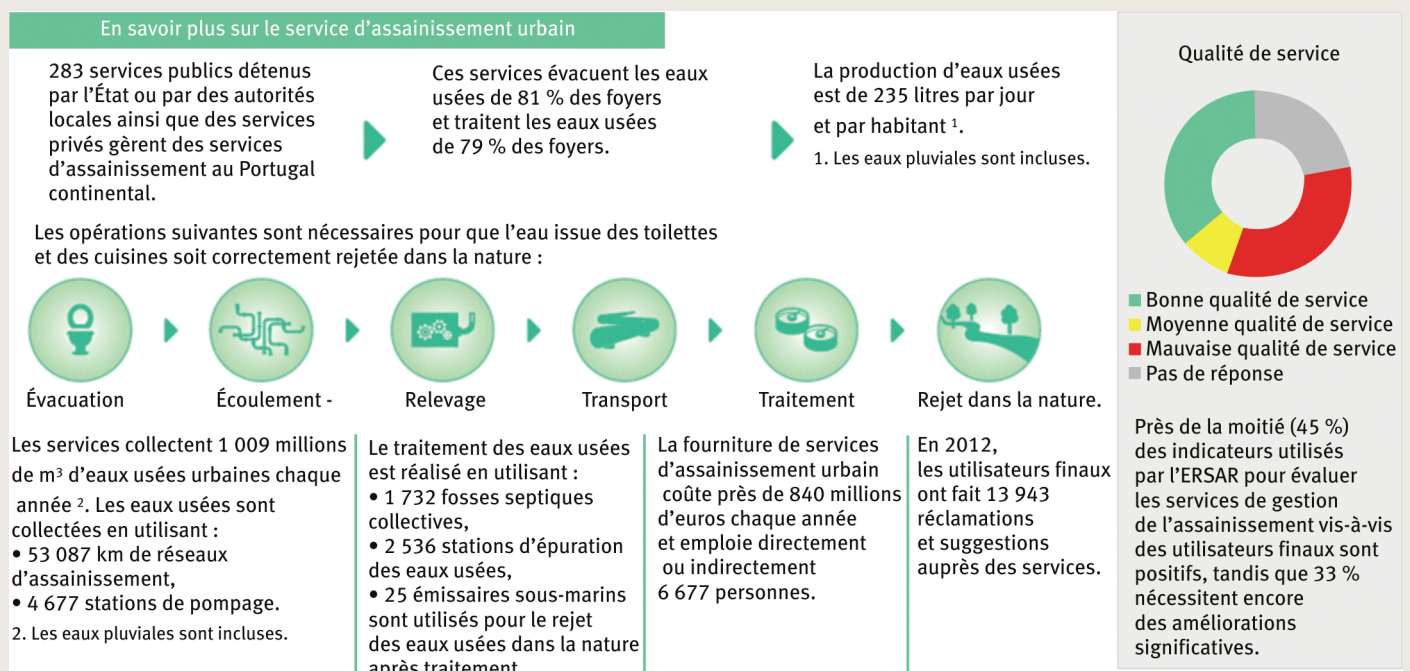
L'iGPI<sup>7</sup> (première édition d'avril 2012 à octobre 2013 ; seconde édition de décembre 2014 à janvier 2016, cf. <http://igpi.aware-p.org/np4/home>), ainsi qu'une initiative semblable menée par une holding privée (AGS) ont été lancées pour contribuer à élargir l'impact de la méthodologie AWARE-P et de ses produits, et pour entrer en contact avec les services dans tout le pays de manière significative. Ces initiatives avaient pour objectif d'aider un échantillon représentatif de services de taille et de contexte divers à développer leurs propres systèmes et plans de GPI grâce à un programme commun de formation et d'appropriation. Les résultats sont présentés sur la figure 2 (cf. également [www.ersar.pt](http://www.ersar.pt)).

6. kPI : Key Performance Indicator (indicateur clé de performance).

7. *Iniciativa Nacional para a Gestão Patrimonial de Infraestruturas* (Initiative pour la gestion patrimoniale des infrastructures au Portugal).

## 2 Résultats de l'iGPI, l'Initiative pour la gestion patrimoniale des infrastructures au Portugal

(source : Learn more about the portuguese water and waste services, brochure ERSAR, [www.ersar.pt](http://www.ersar.pt), 2013).



### ▶ La GPI en Norvège

Les 41 000 km de conduites d'eau potable et les 52 000 km de canalisations d'assainissement en Norvège sont gérés par environ 1 100 services d'eau et sont relativement récents avec un âge moyen de trente à quarante ans. Cependant, leurs performances ont été classées comme « très faibles » dans le rapport « État de la Nation » publié par RIF, l'Association des ingénieurs-consultants en 2010 et après une révision en 2015. Les infrastructures liées à l'eau et en particulier celles liées à l'assainissement, ainsi que les routes communales ont été classées parmi les infrastructures ayant un état critique.

Un tiers de l'eau brute disparaît sous forme de fuites et les canalisations d'assainissement qui suintent ont tendance à contaminer des plans d'eau. Outre la perte de ressources, les canalisations d'eau fuyardes provoquent indirectement une augmentation de consommation de produits chimiques et d'énergie dans les stations d'épuration : l'analyse coût-bénéfice pour déterminer quelle serait l'attractivité d'un éventuel retour sur investissements plus élevé de la réhabilitation des canalisations (considérant des économies en produits chimiques et en coûts d'énergie) n'est pas dans la mentalité de la planification en Norvège.

① Photographie issue de l'inspection télévisée (ITV) d'un réseau d'assainissement.



Chaque fois que des incidents affectant la santé sont associés à de l'eau contaminée ou que des pertes de vie marine sont liées au rejet d'eaux usées non traitées ou mal traitées, la question se pose de savoir quelle quantité est préjudiciable. Cependant la motivation première est de prendre toutes les précautions possibles pour éviter des incidents semblables à l'avenir. L'épidémie de dysenterie à Bergen due à la présence de *giardia lamblia* dans l'eau potable était suffisamment grave pour alerter toutes les municipalités d'une survenue possible de cette maladie si des mesures adéquates n'étaient pas prises.

De mauvaises pratiques d'installation dans les années 1950 et 1960 et de faibles taux de fréquence d'interventions, d'exploitation et de maintenance menacent la fonctionnalité des infrastructures de l'eau en plus du changement global déjà à l'œuvre. Les évolutions des exigences de la société, de l'industrie, de l'agriculture sont seulement quelques-uns des facteurs qui auront une influence sur les services d'eau potable et d'assainissement à l'avenir.

Une analyse de risque et de vulnérabilité intervient fréquemment dans les projets de GPI financés par les services d'eau norvégiens au profit d'instituts de recherche comme le SINTEF : à Oslo, une analyse de risque a été menée d'abord en 2010 puis une nouvelle fois en 2015 en utilisant des principes de modélisation développés dans CARE-W qui sont aussi mis en œuvre actuellement dans la plateforme AWARE-P (analyse du patrimoine et outils de prédiction). La demande de projets portant sur l'évaluation de l'état de santé du patrimoine est également en hausse : le nouveau schéma directeur de GPI des eaux usées à Oslo repose sur une évaluation innovante des résultats d'inspections télévisées (photo ①) avec le programme informatique GompitZ développé dans CARE-S et encore optimisé depuis lors par Irstea (France). En raison d'une large diffusion des résultats de ce projet, le même type d'étude est actuellement en cours dans les villes de Trondheim, Bergen et Tromsø.

Une attention particulière et croissante est accordée aux systèmes intelligents, sur site, dans les réseaux d'eau potable afin d'améliorer les connaissances et le contrôle de la gestion de la demande en eau et la réduction des fuites.

Cependant, l'application de solutions de GPI demeure encore très parcellaire, et même si des solutions spécifiques de modélisation sont très prometteuses, il est souvent difficile de pouvoir appliquer une solution intégrée qui corresponde aux solutions informatiques adoptées par les services d'eau d'une part et à la nature conservatrice des services d'eau souvent fragmentés.

Afin de faciliter l'appropriation de l'approche de GPI en Norvège, un projet de recherche national, appelé DiVA (*Digital VA-forvaltning*) a été cofinancé par le Conseil norvégien de la recherche et des entreprises de conseils et d'ingénierie. DiVA est un projet d'une durée de quatre ans impliquant divers experts professionnels de l'industrie de l'eau, travaillant ensemble au niveau national pour optimiser les approches de gestion des infrastructures liées à l'eau en Norvège. Dans DiVA, des recommandations pour fixer des objectifs, des critères et des indicateurs, et donc pour choisir des solutions de modélisation pertinentes, des instructions étape par

étape de GPI sont présentées sous forme de guide à suivre selon les besoins spécifiques des services d'eau norvégiens ; la fonction principale de DiVA est la sélection d'une procédure de mise en œuvre de GPI appropriée qui s'appuie sur la méthodologie AWARE-P mais qui soit taillée sur mesure pour les services d'eau norvégiens, avec des enjeux spécifiques.

## Conclusions

L'approche AWARE-P et les outils d'aide à la décision répondent aux principales exigences des normes de la série ISO 55000, standards pour la gestion patrimoniale, au travers d'objectifs clairement définis et d'une évolution constante des bonnes pratiques de GPI appuyées, sur les conseils de l'IWA, sur les systèmes d'évaluation de performance. Associé à ce cadre de gestion de niveau supérieur, AWARE-P comprend des outils d'analyse de pointe, encourageant les services à intégrer toutes les informations pertinentes et l'analyse des résultats dans la chaîne de décision. Il a été conçu pour tirer profit des connaissances déjà existantes et pour couvrir quelques lacunes. AWARE-P est en soi un exemple de procédure d'amélioration en continu. Sa mise en œuvre dans de nombreux services de caractéristiques très diverses a permis de procéder à de nombreux ajustements et d'ajouter des nouveaux outils et spécificités.

Le cadre de planification de GPI est le fondement d'une recherche et développement approfondie et menée sur plusieurs fronts. Les algorithmes détaillés développés dans le projet AWARE-P pour aider à établir une planification tactique sont destinés principalement aux réseaux, et d'abord pour ceux de distribution d'eau potable. Le pendant concernant les méthodes pour les réseaux d'assainissement a été rétabli à l'aide de contributions de projets ultérieurs liés, telles que les deux éditions de l'iGPI, le projet TRUST du 7<sup>e</sup> PCRD<sup>8</sup> de l'Union européenne ou le projet INFR5R12 subventionné par l'USEPA/WERF<sup>9</sup>. Des développements actuels en cours incluent également la GPI des installations de traitement.

Les auteurs de cet article collaborent activement pour promouvoir l'application des approches de GPI développées ensemble depuis ces quinze dernières années, non seulement en Norvège et au Portugal, mais également dans toute l'Europe et dans le reste du monde. Les étapes franchies en cours de route ont été :

- la création d'un système d'aide à la décision (projets CARE-W/S, fonds du 5<sup>e</sup> PCRD de l'Union européenne) ;
- l'élaboration d'une méthodologie globale et l'alignement des outils d'aide sur cette dernière (AWARE-P, fonds de l'EEE) ;
- la validation de l'approche au niveau national (DiVA en Norvège, iGPI et PGPI<sup>10</sup> au Portugal) ;
- l'utilisation de l'approche comme un instrument du développement durable ([TRUST-baseform.org](http://TRUST-baseform.org), fonds du 7<sup>e</sup> PCRD et de l'EEE).

D'autres pays, services, chercheurs et universitaires, sociétés de conseil issues d'autres pays sont encouragés à explorer la méthodologie intégrée, en bénéficiant des nombreux documents accessibles au public, par exemple à partir de [www.AWARE-P.org](http://www.AWARE-P.org), et à partir de AWARE-P Suite Community Edition ([www.baseform.com](http://www.baseform.com)). ■

## Les auteurs

### Rita Maria UGARELLI

Prof. Dr. SINTEF Building and Infrastructure,  
Pb. 124 Blindern, NO-0314 Oslo, Norvège  
✉ [rita.ugarelli@sintef.no](mailto:rita.ugarelli@sintef.no)

### Helena ALEGRE

Senior Researcher at LNEC  
(National Civil Engineering Laboratory),  
Av. Brasil, 102, 1700-066 Lisboa, Portugal  
✉ [halegre@lnecc.pt](mailto:halegre@lnecc.pt)

8. PCRD : Programme cadre de recherche et développement.

9. USEPA/WERF : US Environmental Protection Agency/Water Environment Research Foundation.

10. PGPI : Programa de Gestão Patrimonial de Infraestruturas.

## EN SAVOIR PLUS...

📖 **COELHO, S.T., VITORINO, D., ALEGRE, H.**, 2013, *AWARE-P: a system-based software for urban water IAM planning*, 2013 IWA LESAM, Sydney, Australia.

📖 **SÆGROV, S.**, 2004, *CARE-W: Computer Aided Rehabilitation for Water Networks*, IWA Publishing, Alliance House, London.

📖 **SÆGROV, S.**, 2006, *CARE-S, Computer Aided Rehabilitation of Sewer Networks*, IWA Publishing, 160 p.

📖 **UGARELLI, R., DI FEDERICO, V., SÆGROV, S.**, 2007, Risk-based Asset Management for wastewater systems, *atti del convegno NOVATECH*, volume 2, p. 917-924, ISBN 2-9509337-8-5.