
Gestion active de la qualité des eaux de baignade

Bathing Water Quality Forecasting and Management System

Olivier RAILLARD (SAFEGE), Christine GANDOUIN (SAFEGE),
Hugo BOURGEOIS (Lyonnaise des Eaux Centre Régional Côte
d'Azur), Laurent VIGIER (ACTIMAR)

RÉSUMÉ

Une évolution réglementaire européenne en matière de gestion des eaux de baignade impose désormais d'assurer une analyse et une maîtrise des risques auxquels les baigneurs sont exposés (un profil des eaux de baignade devant être établi d'ici le 24 mars 2011), une gestion active des eaux de baignade et une information du public, et un contrôle sanitaire différent.

SAFEGE et ACTIMAR ont très tôt décidé d'unir leurs forces vives de R&D et leurs compétences, pour mettre au point un outil très innovant de prévision et de gestion de la qualité des eaux de baignade. Qualicôte® est un outil de prévision, de gestion, de communication, qui diffuse pour une plage ou une portion de littoral, une information complète et précise sur l'évolution jusqu'à 48 h des conditions maritimes et de la qualité des eaux de baignade. Le système offre aux collectivités la possibilité de s'assurer préventivement de la bonne qualité de leurs eaux de baignade et de diffuser des informations d'une richesse inégalée à la population et aux professionnels de la mer.

Au moyen d'interfaces web conviviales et aisément configurables, le système s'adapte aux besoins des utilisateurs, qu'ils soient institutionnels, professionnels, ou grand public : gestion des plages, exploitation des réseaux, des cours d'eau, surveillance maritime, conchyliculture, pêche côtière, navigation, sports nautiques, ... Les prévisions effectuées en temps réel, sans intervention de l'utilisateur, sont consultables par internet, par téléphone, à terre ou en mer.

ABSTRACT

Public authorities have lately been required to assimilate a whole raft of regulatory requirements in respect of bathing water quality, requiring review and control the risks to bathers' health, for which purpose bathing water profiles must be established by 24 March 2011, adopt a more proactive approach to the management of beaches and the provision of information about bathing water quality, and adopt a new approach to monitoring the sanitary quality.

SAFEGE and ACTIMAR took the early initiative to combine their R&D expertise and capabilities, to develop an innovate tool for forecasting and managing bathing water quality. Qualicôte® is a forecasting, management and communication tool which, for a given beach or stretch of coastline, provides precise and comprehensive information about changes in ocean conditions and bathing water quality over the next 48 hours.

The system enables local authorities to ensure that their beaches are clean enough for swimming, and to issue valuable information both for the public and the maritime community.

Employing easy-to-use, easily configurable web interfaces, the system adapts to the needs of different categories of users, whether local authorities, professionals or the general public: management of bathing prohibitions, dynamic management of sewerage and drainage systems and water courses, coastal water surveillance, shellfish farming, coastal water fisheries, navigation and nautical sports, etc. Real-time forecasts are generated without any action on the part of the user and can be consulted online or by telephone both from land and offshore locations.

MOTS CLÉS

Baignade, gestion active, modélisation, prévision, profil, temps réel

1 CONTEXTE

1.1 Nouvelle directive

La directive de 1976 (76/160/CE) qui s'appliquait jusqu'alors et encadrait ces responsabilités nécessitait en effet des évolutions, compte tenu des nouvelles connaissances scientifiques en matière de qualité des eaux de baignade, du besoin d'information croissant des usagers, de l'accroissement de la population vivant en bord de mer, etc.

Une nouvelle directive communautaire sur les eaux de baignade a été adoptée le 15 février 2006 (2006/7/CE). Elle a fait l'objet d'une transposition en droit français dans le cadre :

- De la nouvelle loi sur l'eau de décembre 2006 (LEMA),
- D'un décret d'application (Décret n°2008-990 du 18 septembre 2008) et deux arrêtés adoptés les 22 et 23 septembre 2008,

qui sont venus compléter le dispositif réglementaire national en matière d'eaux de baignade.

Ces nouvelles dispositions qui s'imposent nécessitent pour les élus d'assurer :

- Une analyse et une maîtrise des risques auxquels les baigneurs sont exposés : il est exigé pour ce faire d'établir un profil des eaux de baignade et d'en assurer la transmission au préfet au plus tard le 1^{er} février 2011.
- Une plus grande réactivité avec une gestion active des eaux de baignade et une information du public

Une information au public devra être assurée sur le classement, la description des eaux de baignade, les risques en présence, la durée des épisodes et leurs raisons en cas de contaminations. Y sera ajoutée toute autre information pertinente relative au contexte spécifique des eaux de baignade des communes.

- Un contrôle sanitaire des eaux de baignade différent

Elles imposent également aux services déconcentrés du ministère chargé de la santé (DDASS) de réaliser un contrôle sanitaire des eaux de baignade différent. Les mesures ne concerneront plus que 2 paramètres, mais les seuils de qualité seront plus contraignants qu'à présent pour l'essentiel des plages en France.

Les seuils de tolérance pour *Escherichia Coli* sont divisés par 4. Un seuil obligatoire pour les entérocoques apparaît et les coliformes totaux ne sont plus suivis. Ces modifications font état d'une double volonté :

- Recentrer le suivi des eaux de baignade sur le risque sanitaire (abandon des paramètres physico-chimiques et ajout du paramètre « entérocoques »).
- Simplifier le suivi des eaux de baignade.

La période de prise en compte pour les classements évolue également :

- Ancienne directive : prise en compte des mesures de l'année.
- Nouvelle directive : prise en compte des mesures des 4 dernières années (ou 3 années sur décision de l'Etat).

Toutes ces évolutions ne permettent donc pas de reclasser directement une plage à partir de l'ancienne réglementation vers la nouvelle. Mais les différentes études menées (étude réalisée par l'AFSSET, publiée en septembre 2007 et étude de la Surfrider Foundation Europe de juin 2008) démontrent qu'un nombre significatif de plages en France risque un déclassement, voire une fermeture. En effet, toutes les eaux de baignade doivent être de qualité « suffisante » en 2015. Pour les eaux de qualité « insuffisante », des mesures de gestion et de réduction des pollutions doivent être prises. Si ce classement se maintient pendant 5 années consécutives, une interdiction permanente de baignade est introduite.

Directive 76/106/CEE	A (bonne)	B (moyenne)	C (momentanément polluée)	D (mauvaise)
Escherichia Coli	80% < 100 95% < 2000	95% < 2000	de 5% à 33% > 2000	plus de 33% > 2000
Entérocoques intestinaux	90% < 100			
Coliformes totaux	80% < 500 95% < 10000	95% < 10000	de 5% à 33% > 10000	plus de 33% > 10000

↓

Directive 2006/7/CE	Excellente	Bonne	Suffisante	Insuffisante
Escherichia Coli	percentile 95 <= 250	percentile 95 <= 500	percentile 90 <= 500	percentile 90 > 500
Entérocoques intestinaux	percentile 95 <= 100	percentile 95 <= 200	percentile 90 <= 185	percentile 90 > 185

Seuils de qualité suivant la directive de 1976 et celle de 2006

1.2 Les réponses à la nouvelle directive

Pour répondre à l'évolution de la directive, et apporter de l'aide aux collectivités, plusieurs approches se développent :

- Réalisation des profils de plage basés sur un bon diagnostic de chaque plage
- Développement des méthodes d'analyse rapide de qualité des eaux
- Mise au point d'outils actifs et prédictifs d'évolution de la qualité des eaux.

Ces derniers s'affichent comme une aide à la décision pour les services des collectivités qui permettent d'anticiper un risque, de cibler en situation de crise la surveillance d'une plage en particulier par la réalisation de mesures rapides et prendre ses décisions sur base de constats établis.

2 L'OUTIL DE GESTION ACTIVE DE LA QUALITE DES EAUX DE BAINNADE

2.1 Concept

L'outil de gestion active de la qualité des eaux de baignade développé par SAFEGE/ACTIMAR – Qualicôte® - est un système opérationnel de prévision météorologique, de prévision des débits et niveaux d'eau attendus dans les réseaux et de prévision de la qualité des eaux de baignade, qui permet aux autorités d'anticiper les situations à risque. Le système a adopté comme principe général de s'approcher au plus près de la réalité des phénomènes. Il ne schématise pas les facteurs agissant et simplifie au minimum la modélisation des phénomènes en jeu. Les interfaces de visualisation permettent de fournir en temps réel toutes les informations nécessaires à la prise de décision.

Ainsi Qualicôte® prend en compte la variabilité spatiale et temporelle des conditions météorologiques (vent, pluie), modélise le fonctionnement des réseaux et simule en 3D et de manière complète les phénomènes hydrodynamiques et bactériologiques qui régissent la qualité des eaux littorales.

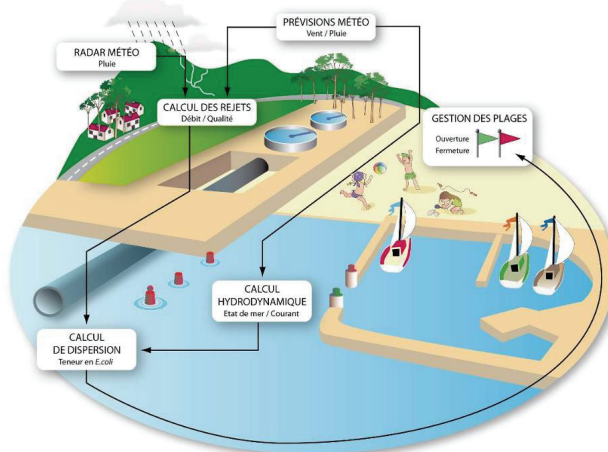
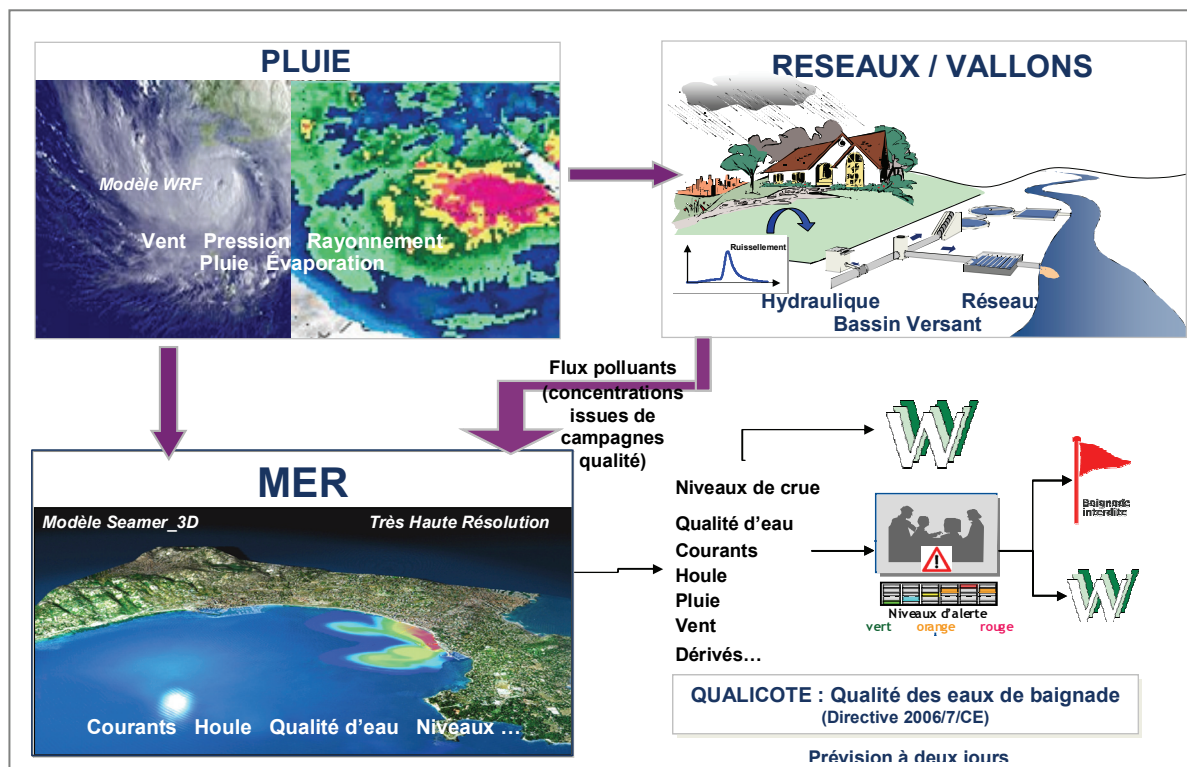


Schéma fonctionnel du système Qualicôte®

2.2 Description technique synthétique de l'outil

Le système Qualicôte® est un système opérationnel complet d'aide à la décision intégrant un ensemble de modèles mathématiques couplés, capables de fonctionner en temps réel. Le schéma fonctionnel du système est donné ci-dessous. Le modèle de prévision météorologique constitue la première étape du calcul. Il prédit le vent et la pluviométrie à l'horizon de 48 heures. La lame d'eau radar (pluie mesurée sur les 6 dernières heures) et sa prévision immédiate (1 heure) servent également de données d'entrée aux modèles de réseaux (eaux usées, pluviales) et apports diffus (vallons) qui calculent les apports polluants s'effectuant dans le milieu marin. Le calcul hydrodynamique qui tient compte du vent, de l'état de mer et de la circulation générale, permet de simuler la dispersion en mer des rejets et de calculer les teneurs en germes bactériens sur l'ensemble du domaine d'étude. C'est une composante essentielle du système, dont la précision et la rapidité permettent l'existence de Qualicôte®.



Couplage des modèles pour une prévision à 48h

2.3 Les intérêts et atouts des outils de gestion active

Cet outil prédictif propose une grande souplesse d'utilisation. Il peut être piloté de manière semi-automatique pour permettre à l'opérateur de multiplier les tests précédant une prise de décision. Qualicôte® donne par exemple la possibilité aux opérateurs de positionner dynamiquement de nouveaux points de rejet et d'en évaluer les conséquences sur la qualité des eaux littorales (point fort pour simuler une casse de réseau, un rejet accidentel, un dégazage sauvage,...).

De par sa capacité à prévoir les conditions météorologiques et océaniques locales, le domaine d'application de Qualicôte® peut être facilement élargi à d'autres usages :

- Alerte de crues
- Gestion des organes de régulation sur réseau (bassins, DO,...)
- Autres usages maritimes (tourisme nautique, voile, plongée, etc.).

Ce type d'outil donne un temps d'avance aux exploitants et autorités sur les phénomènes, qui lui permettent de prévoir le déploiement de moyens en lieu et en quantité suffisante.

3 VALIDATION DE L'OUTIL DE GESTION ACTIVE

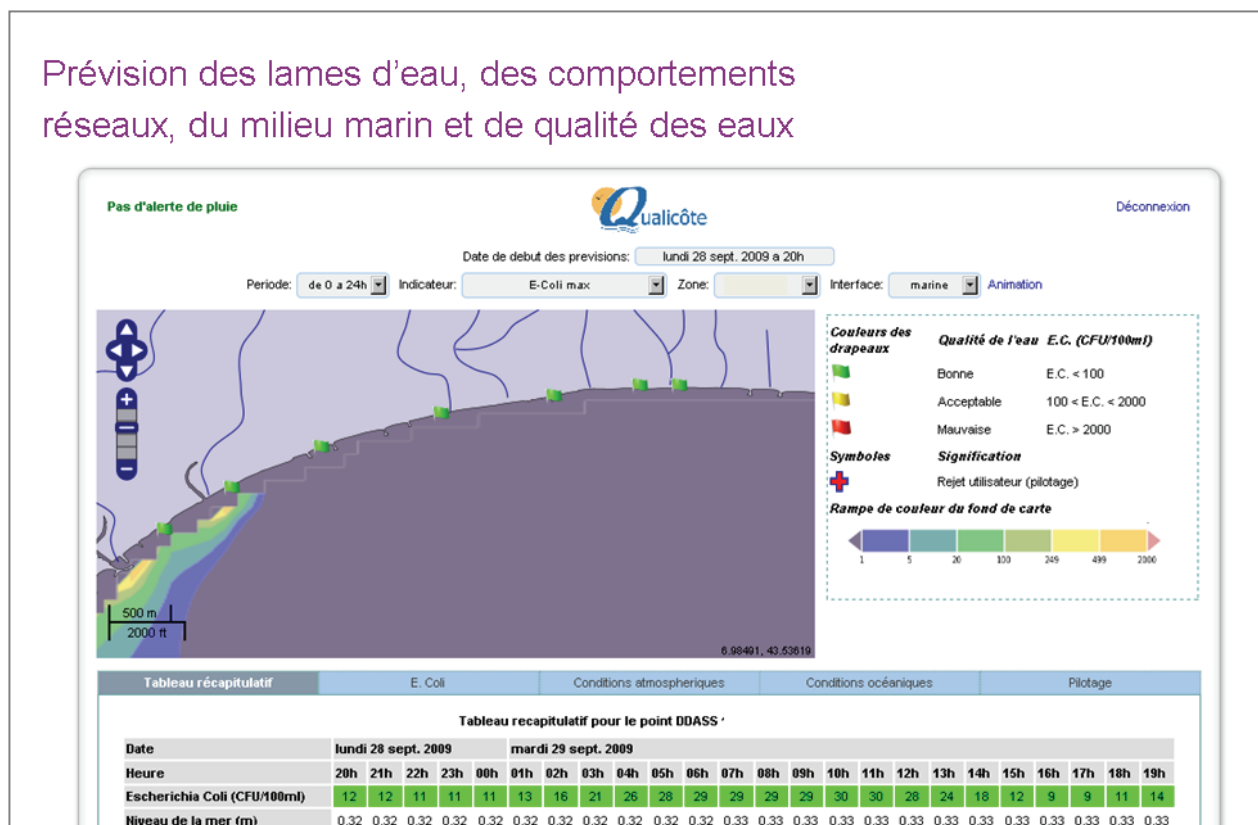
3.1 Les résultats mis à disposition

Les résultats livrés par l'outil sont :

- la prévision de pluie sur la zone d'étude ;
- Les niveaux max et débits max prévus sur les principaux points noirs du réseau à risque de débordement;
- Les chroniques des principaux rejets (débit, nature et quantité de bactéries) ;
- Une évaluation du risque de pollution (Nul, Moyen et Fort) sur chaque plage ;
- Les enveloppes des panaches à l'échelle du littoral ;
- Les concentrations maximales en bactéries sur une période donnée ;
- Les cartes de durée de dépassement des seuils réglementaires ;
- Une animation des panaches au cours de la journée ;
- Un tableau synthétique résumant pour chaque plage l'évolution heure par heure des conditions météo-océaniques, et du risque de pollution.

D'autres paramètres découlant des variables d'état de la modélisation peuvent également être élaborés et intégrés (moyennes, écarts, etc.).

Prévision des lames d'eau, des comportements réseaux, du milieu marin et de qualité des eaux



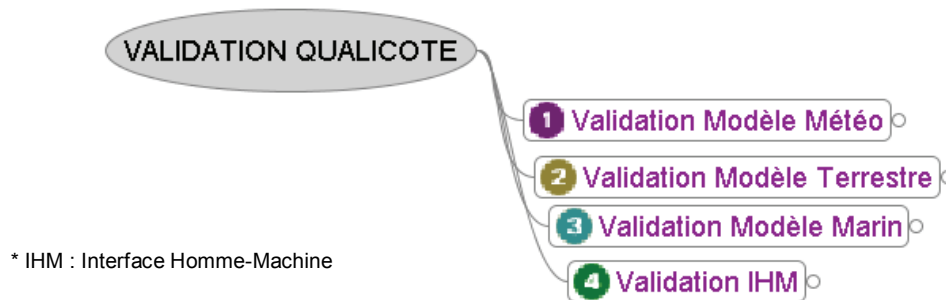
Interface marine : tableau synthétique et panache

3.2 L'étape de validation

L'outil est opérationnel depuis juin 2009 pour la Lyonnaise des Eaux, avec des résultats mis à disposition du client final de l'exploitant. La saison balnéaire 2009 a été l'occasion de valider l'outil pour quantifier la confiance de la réponse de l'outil.

Cette étape de validation s'appuie sur une comparaison des prévisions de chaque brique de l'outil et des mesures disponibles sur le secteur : données pluviométriques, données d'autosurveillance des

réseaux, mesures dans les vallons, mesures bactériologiques réalisées par la DDASS et mesures bactériologiques ciblées sur les plages à risques réalisées par l'exploitant pour le service de gestion des plages.

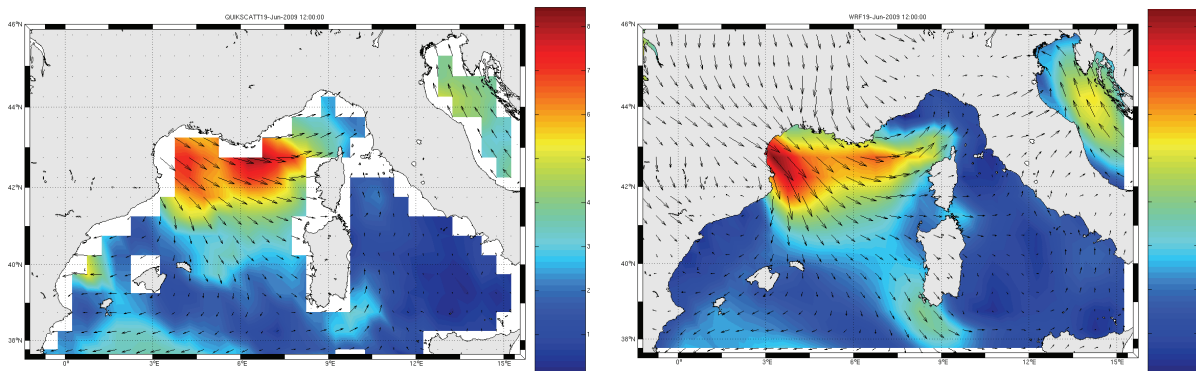


Logigramme du processus de validation

3.2.1 Validation du modèle de prévision météorologique

La validation porte sur les prévisions de vent et de pluie. Des comparaisons entre les mesures satellites de vent (QuikSCAT) à 25 km de résolution et les résultats issus du modèle WRF à 36km ont été réalisées afin de vérifier si les vents sont correctement reproduits sur la zone d'intérêt. Les mesures satellites sont des moyennes journalières. Les résultats de vent produits par WRF ont été moyennés sur la journée et interpolés sur la grille des données QuikSCAT.

La comparaison visuelle montre que les structures spatiales visibles dans les intensités de vent sont correctement reproduites par le modèle météorologique. Concernant les directions de vent, le modèle reproduit la tendance générale mais présente quelques écarts par rapports aux données à l'est de la Sicile pour le 19 juin 2009. Cela concerne une zone de vent faible. Ces écarts pourraient être réduits en augmentant la résolution spatiale du modèle météorologique.

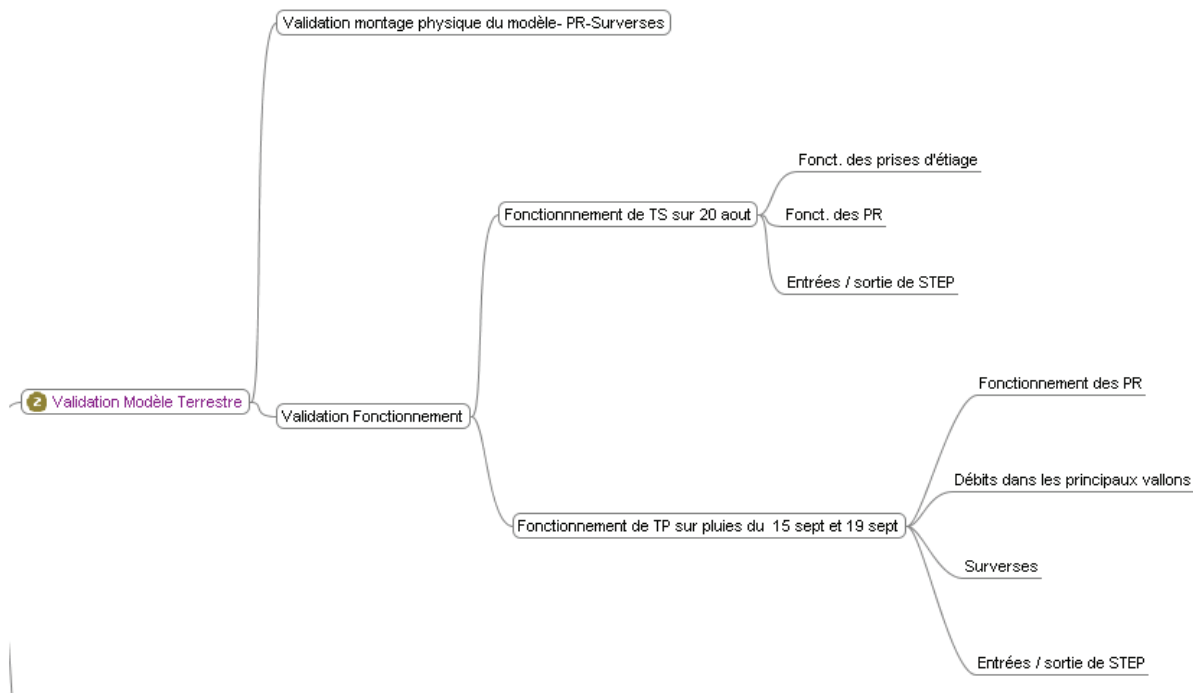


Direction et intensité du vent en m/s issues des données QuikSCAT pour le 19/06/2009 et du modèle météo de l'outil WRF le 19/06/2009

3.2.2 Validation du modèle terrestre

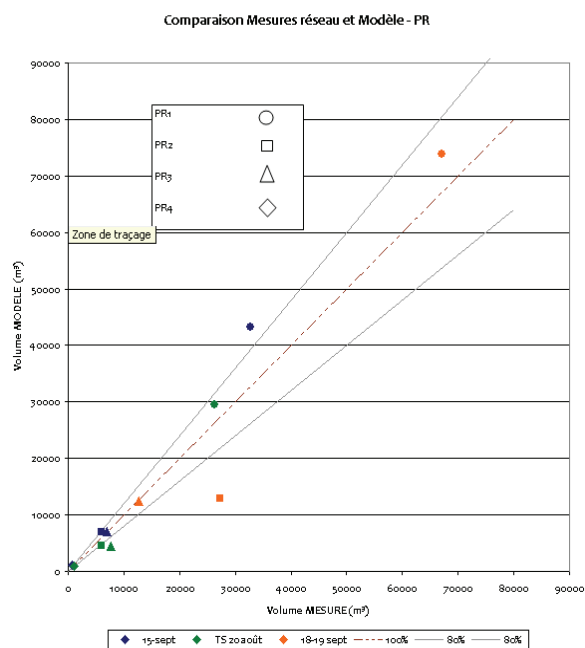
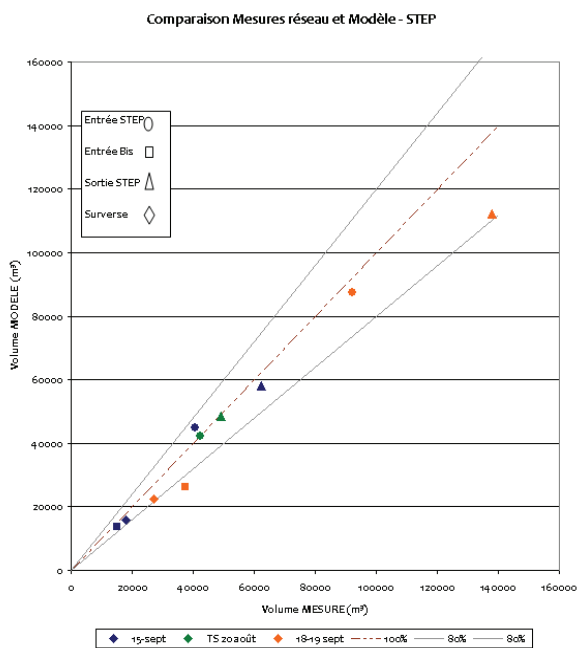
Quantité L'outil intègre une modélisation du réseau eaux usées, eaux pluviales vallons du secteur dans une configuration de réseau normale. Plusieurs modes dégradés sont pré établis pour permettre à l'utilisateur de préciser une anomalie de fonctionnement liée par exemple à une panne électrique. Si une configuration spécifique survient générant un déversement accidentel telle une casse, c'est par le pilotage manuel qui permet de saisir le point de rejet, le débit, la concentration et la durée du rejet que cela est pris en compte.

La réponse du modèle terrestre (calé au préalable) doit être contrôlée en régime de temps sec, et en régime de temps de pluie.



Logique de validation du modèle terrestre

Sans retouche au modèle, les graphes comparent ce qui a été prévu par le modèle terrestre et ce qui a été mesuré dans les réseaux et aux exutoires. *A retenir* : la qualité du calage préalable à la mise en place de l'outil est essentielle pour la validité de l'outil.



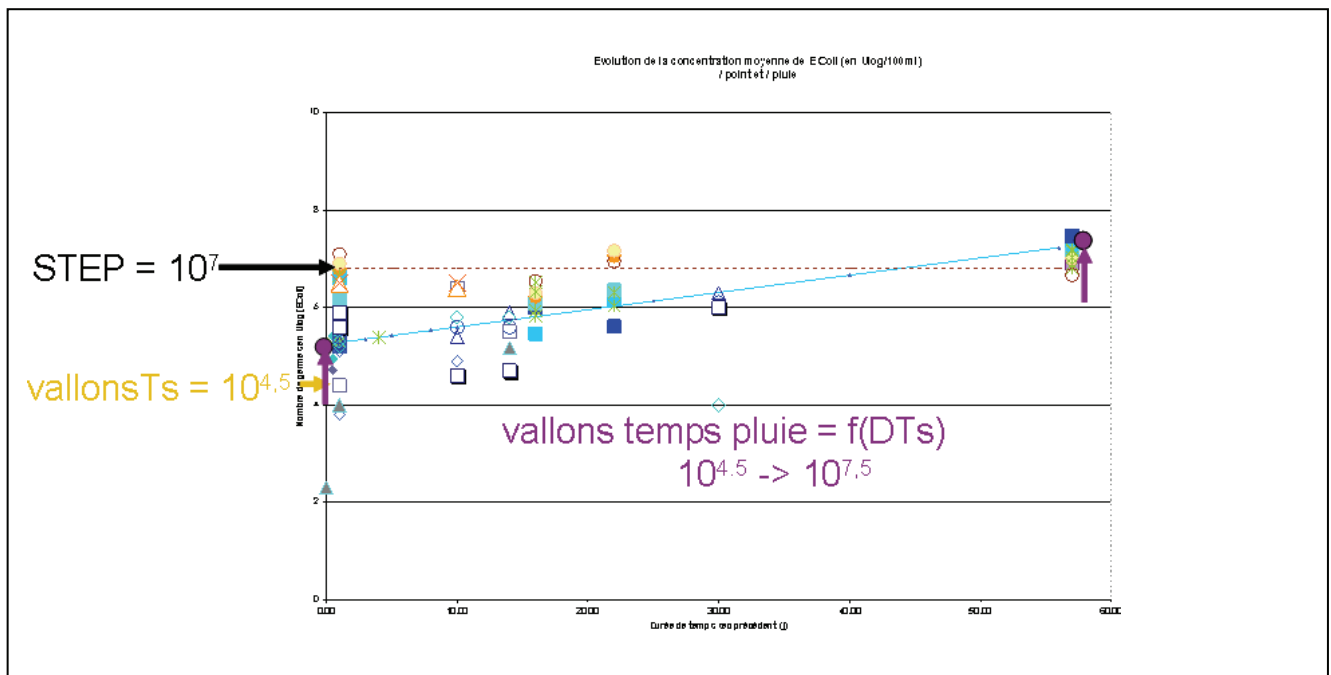
Comparaisons de la réponse du modèle terrestre aux mesures

Les prévisions de volumes pompés, volumes traités, volumes transités ou volumes surversés présentent des écarts de moins de 20%. La configuration du réseau prise en compte est donc stable et permet de prévoir les rejets au milieu.

Qualité Sur la base des résultats des analyses réalisées sur les réseaux EU, déversoirs d'orage, et vallons au cours des campagnes de mesures sur le secteur, des lois de représentation des

concentrations en germes E Coli ont pu être mises au point.

Caractéristiques des rejets en E Coli en fonction de la durée de temps sec précédent en jours.



La figure précédente résume les résultats :

- Les concentrations observées sur les réseaux d'eaux usées par temps sec (sortie de STEP), comme par temps de pluie (surverses réseaux) sont représentées dans les tons orangés : on note une concentration quasi constante proche de 7 Ulog soit 10^7 germes d'E Coli dans 100ml quelles que soient les conditions (temps sec ou temps de pluie), c'est donc la concentration prise en compte pour caractériser les rejets de temps sec au niveau des STEP et aux éventuelles surverses du réseau EU.
- Les concentrations observées sur les réseaux d'eaux pluviales sont représentées dans les tons bleus : après analyse, il est apparu que le paramètre caractéristique le plus représentatif était la durée de temps sec précédant l'événement pluvieux. On note alors que les concentrations en E Coli dans les vallons varient entre 4,5 Ulog (par temps sec ou lorsqu'il a plu la veille) et 7,5 Ulog (lorsque la durée de temps sec précédente atteint 60 jours à minima). C'est cette loi qui est intégrée pour caractériser les concentrations en germes rejetées au milieu.

3.2.3 Validation du modèle marin

La confrontation aux mesures du modèle marin concerne le produit ultime de l'outil de gestion active (prédictions de qualité bactériologique sur les plages) et intègre donc toutes les sources d'erreur potentielles du système, dans ses compartiments météorologique, terrestre et maritime.

Temps sec Les mesures DDASS par temps sec sont très faibles (30, 15 CFU/100 ml, voire la valeur plancher « <15 ») ce qui est caractéristique d'un épisode prolongé de temps sec. Les résultats de Qualicôte® sont conformes aux mesures DDASS : les champs d'E Coli ne dépassent 20CFU/100ml, soit un signal très faible, fiable dès 48h à l'avance.

Temps de pluie Les prévisions de bactériologie ont été confrontées aux mesures DDASS par temps de pluie et aux mesures complémentaires ciblées déclenchées sur les plages à risque de dégradation. L'outil met clairement en évidence les champs d'E Coli qui atteignent plus de 24 000 E.Coli/100 ml lors des événements pluvieux. Le retour à un champ d'E Coli de temps sec nécessite 24h.

4 CONCLUSION

La mise au point d'un outil de gestion prédictive permet de disposer 48h à l'avance du risque pluie et des risques inondation et dégradation de la qualité des eaux de baignade qui peuvent en découler. Avec cette information, l'exploitant et la collectivité peuvent déclencher des actions préventives. Il peut s'agir de lancer des visites préventives des ouvrages d'évacuation des eaux pluviales aux points noirs du territoire, ou bien de lancer une campagne **ciblée** de suivi avec prises d'échantillons de qualité des eaux de baignade et analyse rapide sur les plages présentant un risque. L'exploitant ou la collectivité dispose ainsi d'un outil d'aide à la décision pour l'aider à gérer son risque inondation et son risque baignade. Après l'étape de validation sur la saison 2009 qui a permis de finaliser les modèles et leurs connexions, l'outil sera en phase opérationnelle sur la saison 2010.

BIBLIOGRAPHIE

Parlement européen (2006) *Directive 2006/7/CE du Parlement européen et du Conseil du 15 février 2006 concernant la gestion de la qualité des eaux de baignade*

Guyard C., Technosope. (2009) *Eaux de baignade – Eviter les pollutions et alerter au plus vite*. L'Eau, l'Industrie, les Nuisances, N°322, 59-68.

Rostkier-Edelstein, Liu, Roux, Givati et al. (2009), *High Resolution WRF-RTFDDA seasonal precipitation over complex terrain*, European Conference on Applications of Meteorology, Toulouse.

Takemi T, Tatsumi K, Ishikawa H. (2009), *A high-resolution numerical analysis of the effects of complex topography to disastrous rainstorm development over an urban area: a case study of the 28 July 2008 severe local rain events in the kinki region*, The seventh International Conference on Urban Climate, 29 June-3 July 2009, Yokohama, Japan