

Développement des outils de modélisation PROSE/CAWAQS : mise en cohérence et validation de la version 4.0 de ProSe

Stéphanie EVEN¹, Nicolas FLIPO²

¹ : Stephanie.Even@ensmp.fr

Centre de Géosciences, Groupe Hydrodynamique et Réactions, École des Mines de Paris,
35 rue Saint-Honoré, 77 305 FONTAINEBLEAU cedex,

² : Stanford University, Geological & Environmental Sciences,

1. Introduction	1
2. Le bassin du grand Morin	2
2.1. La validation hydraulique	2
2.2. Modélisation du périphyton et biogéochimie	2
3. La Seine à la traversée de l'agglomération parisienne	5
4. Conclusion	6

1. Introduction

Le modèle ProSe est développé depuis les débuts du PIREN Seine et simule l'hydrodynamique, le transport et les réactions biogéochimiques au sein d'un réseau hydrographique complexe. Le modèle ProSe prend en compte tout type de rejets urbains, de temps sec (permanents) et de temps de pluie (transitoires), ainsi que les apports diffus (Even et al. 1998; Even et al. 2004; Even et al. 2005).

Afin d'améliorer la prise en compte des pollutions diffuses d'origine agricole, la plate-forme de modélisation CAWAQS a été développée durant cette phase du PIREN SEINE (Flipo 2005; Flipo et al. 2004; Flipo et al. 2005). CaWaQS consiste dans le couplage des modèles ProSe (écoulement en rivière), NEWSAM (écoulement pseudo-3D en aquifères), d'hydrologie de surface (REPSUR) et d'agronomie (STICS) ; l'ensemble de cette plateforme est couplée à des bases de données gérées sous SIG pour toutes les informations concernant le bassin (Flipo 2005). Tous les éléments du bassin sont pris en compte dans le modèle : sous-bassins versants élémentaires, sol, zone non-saturée, aquifères et rivières. Le modèle CaWaQS a été appliqué au Grand Morin sur la période 1986-2001 pour l'hydrologie et 1977-1996 pour les nitrates.

Le développement de la plateforme CaWaQS succède au travail réalisé par Éric Gomez, qui avait appliqué le modèle couplé MODCOU/STICS sur l'ensemble du bassin de la Seine (Gomez 2002; Gomez et al. 2003). Le travail réalisé avec CaWaQS consiste en une étude plus fine à petite échelle d'une part.

D'autre part, l'avancée de ce travail a consisté à prendre en compte une représentation plus réaliste des cours d'eau à l'aide du modèle ProSe.

L'architecture du modèle CaWaQS s'est appuyée en grande partie sur le modèle ProSe, version 3.4. Des améliorations ont dues être apportées au logiciel PROSE pour simuler le fonctionnement écologique de cours d'eau peu profonds et remonter jusqu'aux têtes de bassin d'un réseau hydrographique.

Nous mentionnons le fait que l'approche CAWAQS prévoit une utilisation modulaire, c'est à dire que le logiciel PROSE peut toujours y être utilisé indépendamment du couplage avec le bassin versant (utilisation « classique »).

Parallèlement, les développements sur le logiciel PROSE seul se sont poursuivis, en terme d'interfaçages (pré- et post-traitements) et de processus à prendre en compte dans la rivière. Nous en sommes actuellement à la version 3.5. Le travail réalisé pour l'interfaçage de PROSE a permis de développer un outil de génération automatique d'interface, l'outil GABI. Cet outil permet de générer automatiquement un éditeur de format de données pour tout logiciel de calcul basé sur des parsers. Il est à noter que les développements réalisés pour CAWAQS ont adopté cette approche.

Nous disposons aujourd'hui de deux versions de développement pour PROSE, situation qu'il n'est pas souhaitable de prolonger. Une mise en cohérence du logiciel ProSe a donc été réalisée. Par rapport à la version 3.5, le modèle hydraulique y a été modifié pour représenter les écoulements dans des cours d'eau peu profonds (ordres de strahler inférieurs à 3). Des bilans sont réalisés dans chaque compartiment (eau, périphyton, vase) et non plus seulement pour la colonne d'eau. Le modèle de périphyton avait déjà été implanté dans la version 3.5. Par ailleurs la version 3.4 de ProSe ne bénéficiait pas des modifications apportées au logiciel en vue d'un couplage avec l'interface de ProSe, ni des nouvelles variables (silice, phosphore inorganique) et processus qui avait été ajoutés dans le cadre de l'étude DCE pour assurer un couplage satisfaisant avec les modèles d'estuaire et de baie de Seine.

La nouvelle version 4.0 de ProSe a été testée sur des cas standards pour lesquels les logiciels PROSE et CAWAQS ont été mis en œuvre : Seine en aval de Paris, périphyton sur le Grand Morin, simulation de l'ensemble du bassin du Grand Morin. L'objectif de ce travail n'est pas de réaliser une analyse des résultats, mais de s'assurer que les résultats obtenus avec la nouvelle version restent cohérents avec les versions antérieures.

2. Le bassin du grand Morin

2.1. La validation hydraulique

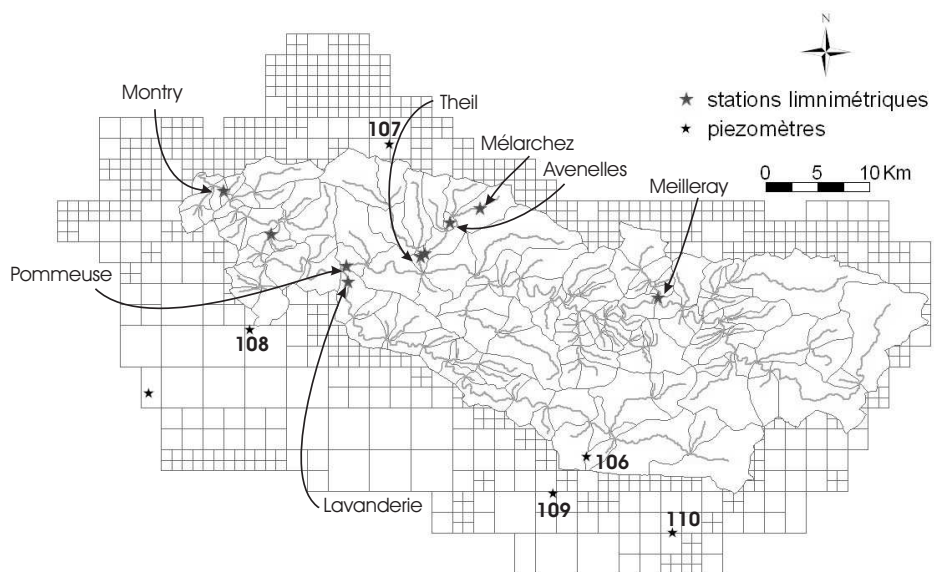
Nous avons repris la période de simulation 1986-1996 ayant servi au calage hydrologique du modèle CaWaQS. La mise en cohérence des deux versions de ProSe ayant conduit à des modifications majeures pour que le modèle d'hydraulique fonctionne dans tous les cas, nous nous assurons ici que les résultats restent inchangés. Les débits dans les rivières sont validés par comparaison avec les débits mesurés aux stations de jaugeage (tableau 1).

Les résultats sont présentés sur la figure 1. Ils sont tout à fait cohérents avec les résultats obtenus avec la version précédente de CaWaQS (Flipo 2005).

2.2. Modélisation du périphyton et biogéochimie

Le modèle périphytique de ProSe a été validé sur le Grand Morin. Le contexte de la simulation est décrit plus en détail dans (Flipo et al. 2004; Flipo 2005). Le domaine simulé correspond au 40 km

Tableaux 1: Stations de jaugeage de débit sur le bassin du Grand Morin pour lesquelles existent des mesures entre 1986 et 1996.



Station	Rivière	Surface (km ²)	Origine
Mélarchez	Ru du Fossé Rognon	7,1	CEMAGREF
Les Avenelles	Ru des Avenelles	24,7	CEMAGREF
Le Theil	Ru de l'Orgeval	104	CEMAGREF
Lavanderie	Aubetin	270	CGE
Pommeuse	Grand Morin	770	Banque HYDRO
Crécy la Chapelle	Grand Morin	1070	Banque HYDRO
Montry	Grand Morin	1190	Banque HYDRO

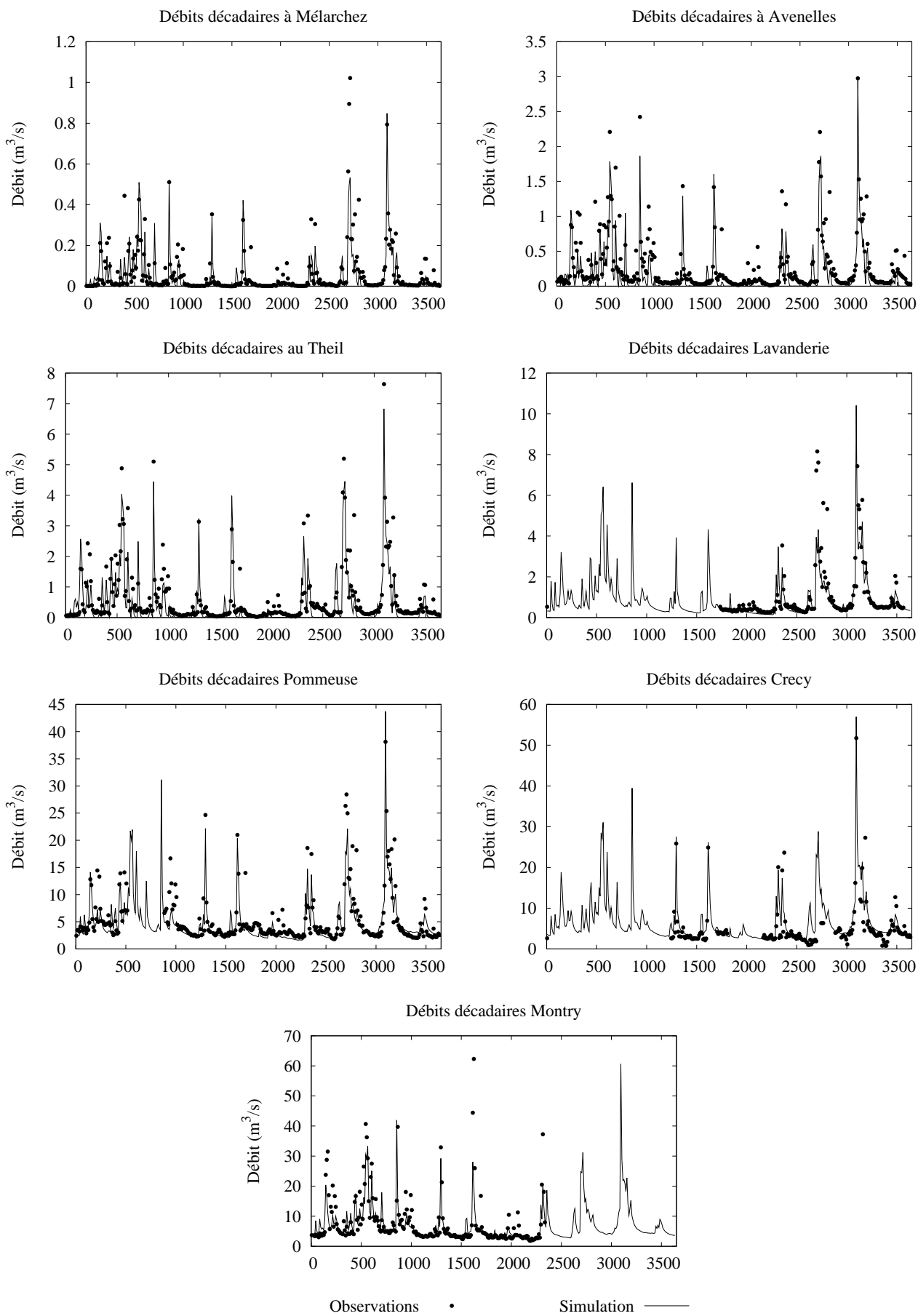


Figure 1: Débits simulés aux stations de jaugeage pour la période 1986-1996.

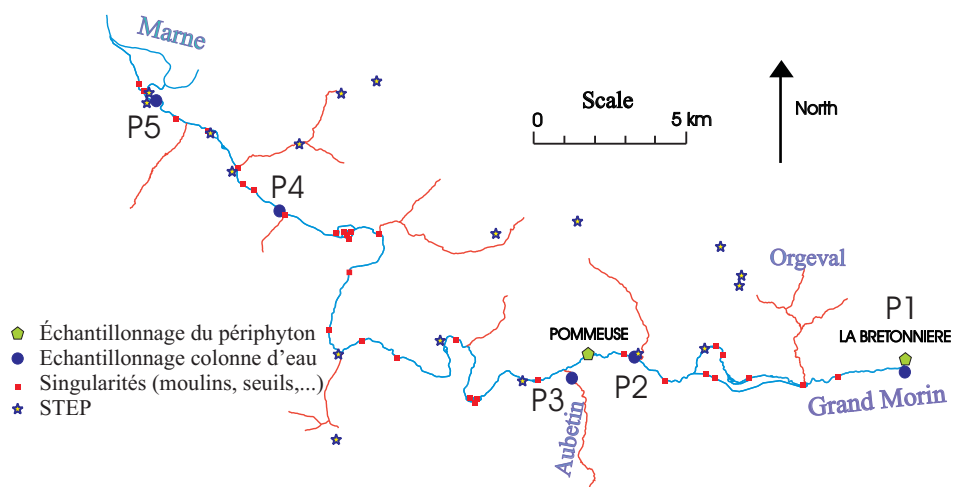


Figure 2: Carte du secteur aval du Grand Morin, échantillonné en 2001. Positionnement des ouvrages (seuils), STEPs et points de prélèvements.

aval du Grand Morin (figure 2). Les résultats du modèle sont confrontés aux mesures réalisées *in situ* entre le premier mai 2001 et le 30 août 2001 (figure 3).

Les résultats obtenus avec ProSe 4.0 pour la chlorophylle *a*, l'ammoniaque, l'oxygène et la biomasse périphytique sont reportés sur la figure 4.

Les courbes présentées ici sont tout à fait cohérentes avec les résultats présentés dans des travaux antérieurs (Flipo et al. 2004; Flipo 2005). Une des modifications apportées au logiciel ProSe est relative à la prise en compte des apports/rejets dès les premières mailles des biefs, contrairement aux versions précédentes. Ceci explique les écarts de valeurs entre mesure et simulations dès l'amont, la présence de l'Orgeval à 100 m de l'amont conduisant à une dilution de certaines variables (ici : ammoniaque).

3. La Seine à la traversée de l'agglomération parisienne

Pour tester les applications urbaines de ProSe (secteurs urbains), nous avons retenu des scénarios de la Directive Cadre Européenne sur le bassin de la Seine et plus particulièrement les scénarios pour l'année de référence 1996, particulièrement critique, compte tenu de la faiblesse des débits (Even et al. 2003).

Le secteur simulé s'étend de Choisy le Roi sur la Seine amont et Neuilly sur Marne jusqu'à Poses. L'impact de l'ensemble des rejets urbains, de temps sec et de temps pluie, de l'agglomération parisienne sont ainsi pris en compte.

Sur la figure 8 sont présentés les résultats du modèle ProSe pour le débit à Austerlitz et cotes de plan d'eau aux principaux barrages à la traversée de l'agglomération parisienne. Les barrages de Suresnes, Chatou/bougival et Andrésy/Dénouval étant tous situés sur des îles, les cotes de plan d'eau y sont calculées par le modèle ProSe à partir du fonctionnement simulé au barrage. Nous vérifions ainsi que les caractéristiques hydrodynamiques calculées par ProSe sont correctes. Pour tous les autres barrages, une loi simple de cote constante imposée est prise en compte.

Pour la biologie, les résultats sont présentés sur les figures 9 et 10, qui sont deux points de contrôle majeurs de la Seine aval : Chatou, à la sortie de l'agglomération parisienne et Poses, avant l'entrée dans l'estuaire. Les résultats obtenus sont tout à fait cohérents avec les résultats déjà publiés (Even

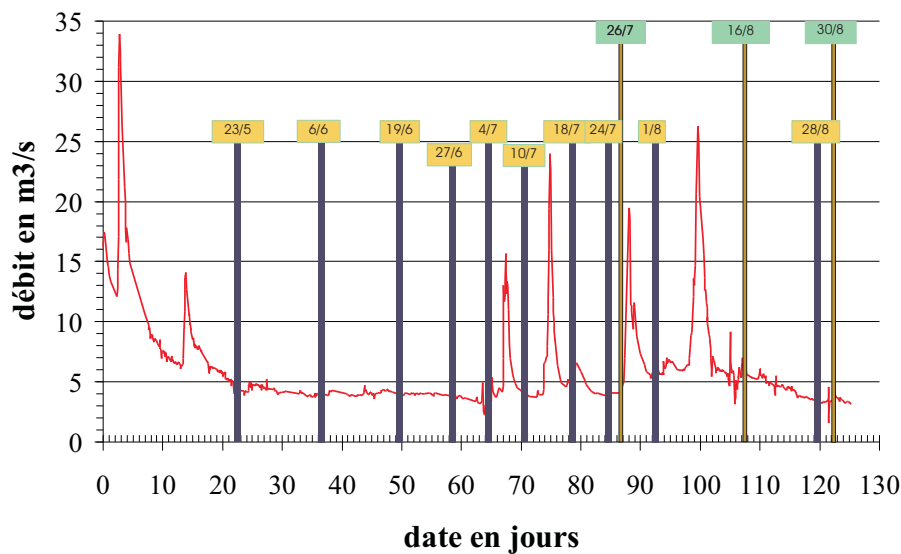


Figure 3: Hydrogramme à Pommeuse (jour 0 est le premier mai 2001) et dates d'échantillonnages. Barres noires : échantillonnage de la colonne d'eau ; barres grises : échantillonnage de l'épilithon.

et al. 2003; Even et al. 2005).

4. Conclusion

La version 4.0 de ProSe prenant en compte l'ensemble des développements récents a été mise au point et donne des résultats satisfaisants sur l'ensemble des cas testés. Nous disposons donc aujourd'hui d'une version unique de ProSe, à même de traiter tous les secteurs d'un réseau hydrographique. Certains processus ont été développés et sont aujourd'hui intégrés dans ProSe afin d'obtenir une représentation correcte de l'hydrodynamique et de la qualité de l'eau sur des linéaires de cours d'eau très contrastés.

Les développements doivent cependant être poursuivis sur de nombreux aspects pour améliorer la robustesse et la validité de l'outils dans ses nouveaux champs d'application.

Bibliographie

- Even, S., J.-M. Mouchel, M. Seidl, P. Servais, et M. Poulin, 2004. Oxygen deficits in the Seine river downstream of combined sewer overflows: importance of the suspended matter transport. *Ecological modelling* **173**(2-3): 177–196.
- Even, S., J. M. Mouchel, P. Servais, N. Flipo, M. Poulin, S. Blanc, M. Chabanel, C. Paffoni, et S. Duchesnes, 2005. Modeling the impacts of Combined Sewer Overflows on the river Seine water quality. *Sciences of the Total Environment*. *Accepté*.
- Even, S., M. Poulin, J. Garnier, G. Billen, P. Servais, A. Chesterikoff, et M. Coste, 1998. River ecosystem modelling: application of the PROSE model to the Seine river (France). *Hydrobiologia* **373**: 27–37.
- Even, S., M. Poulin, et B. Thouvenin, 2003. Evolution prospective de la qualité des eaux de surface. Scénario tendanciel de la Directive Cadre Européenne de l'agglomération parisienne à

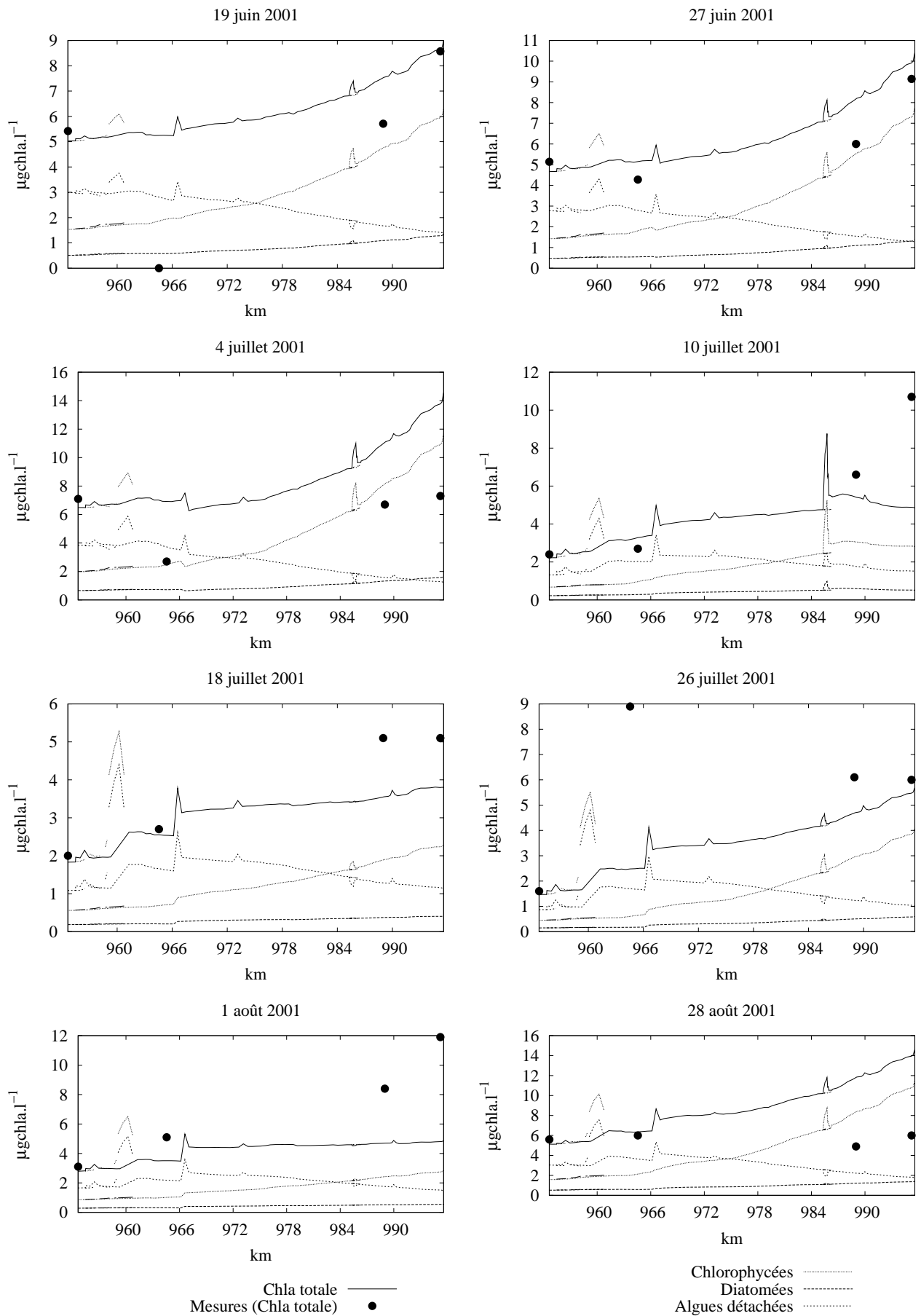


Figure 4: Chlorophylle a totale dans la colonne d'eau entre la Bretonnière et la confluence avec la Marne (jour 0 est le premier mai 2001) dans les axes principaux et annexes. Comparaison des résultats de simulation et des mesures. Distinction des biomasses de chlorophycées, diatomées et algues benthiques détachées.

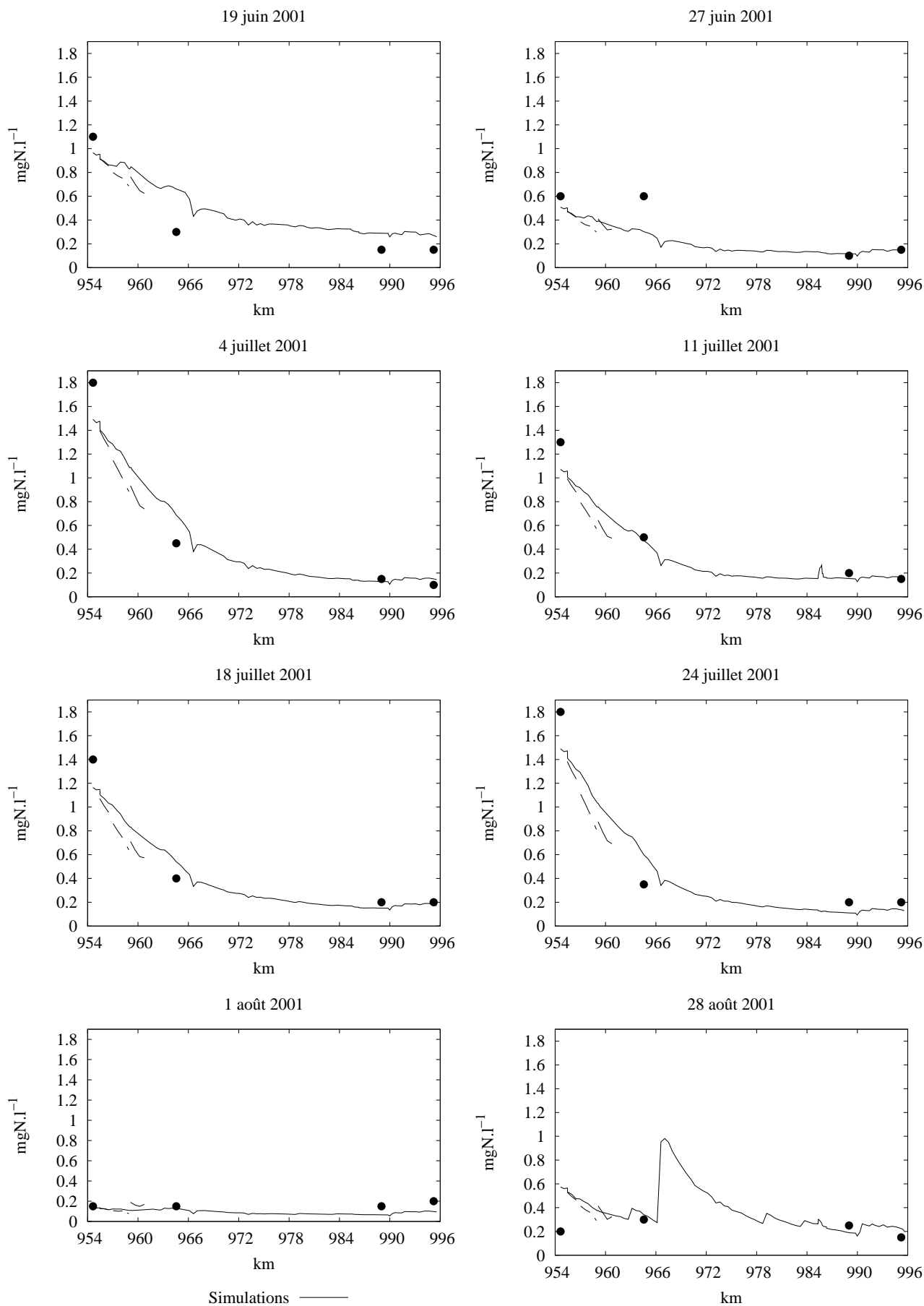


Figure 5: Ammoniaque dans la colonne d'eau dans le cours principal et les bras annexes entre la Bretonnière et la confluence avec la Marne (jour 0 est le premier mai 2001). Comparaison des résultats de simulation et des mesures.

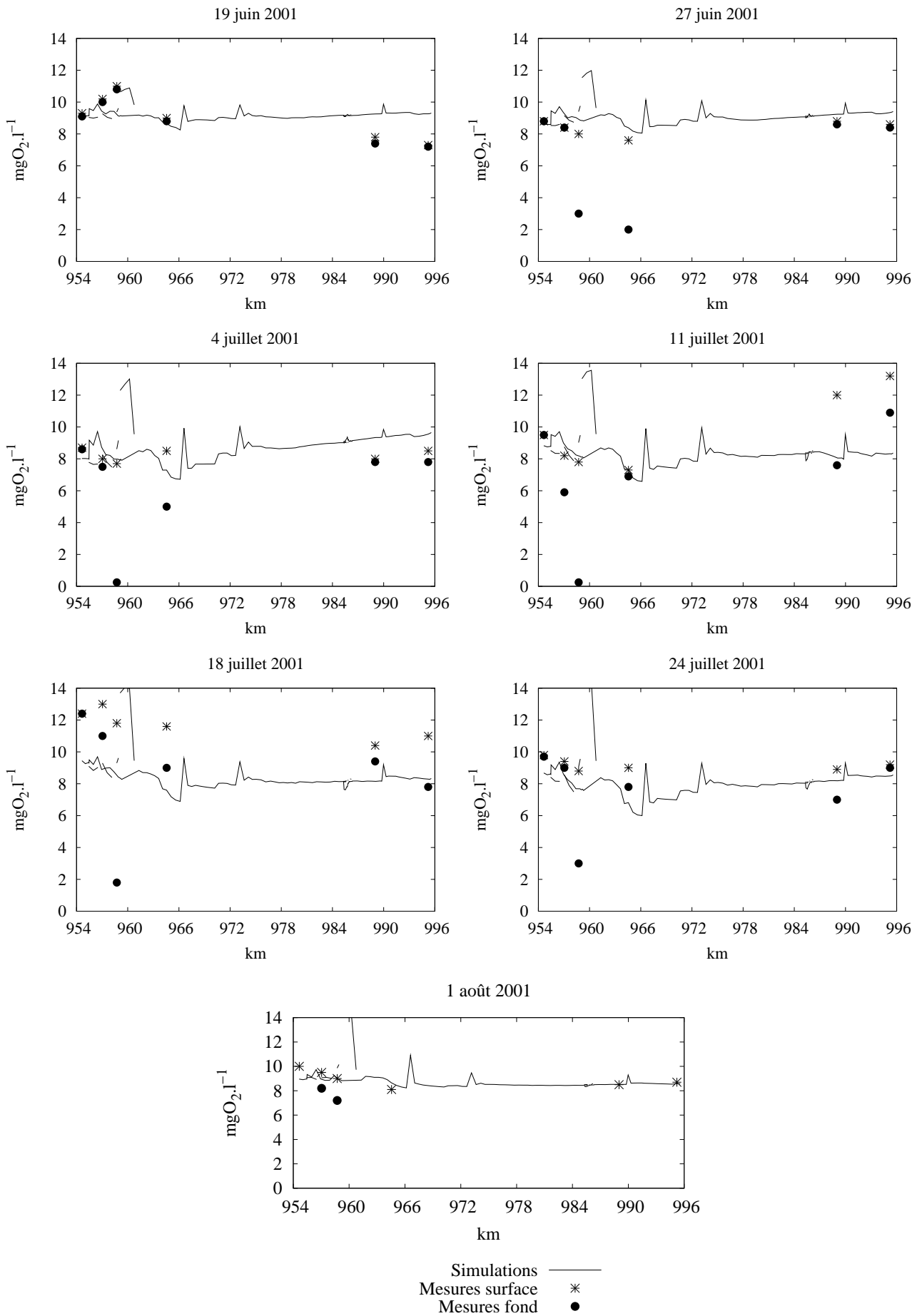


Figure 6: Oxygène dans la colonne d'eau entre la Bretonnière et la confluence avec la Marne (jour 0 est le premier mai 2001). Comparaison des résultats de simulation et des mesures.

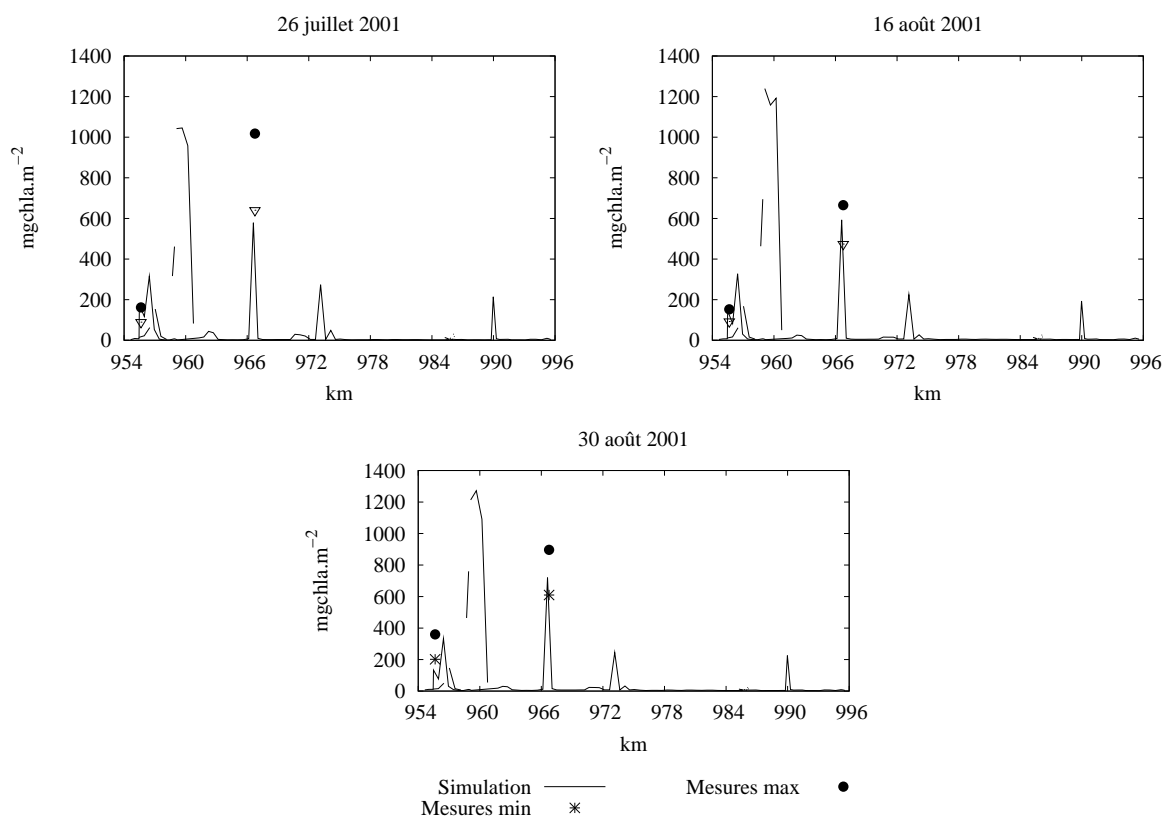


Figure 7: Chlorophylle a périphytique entre la Bretonnière et la confluence avec la Marne (jour 0 est le premier mai 2001), dans le cours principal et les bras annexes. Comparaison des résultats de simulation et des mesures.

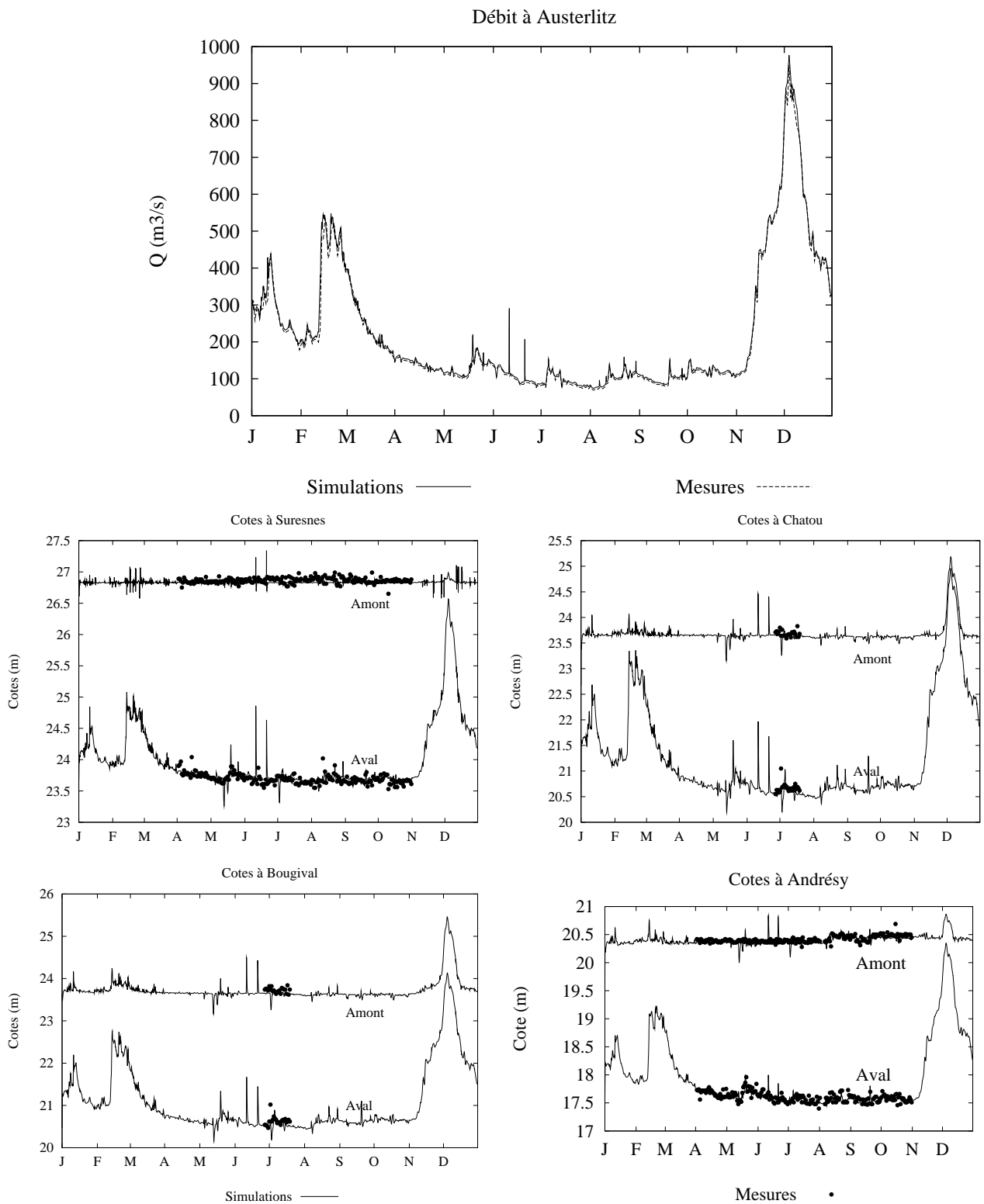


Figure 8: Comparaison des résultats de simulation avec ProSe, v4.0 et les mesures de débit à Austerlitz et des cotes amont et aval de Barrage à Suresnes, Chatou, Bougival et Andrésey pour l'année 1996.

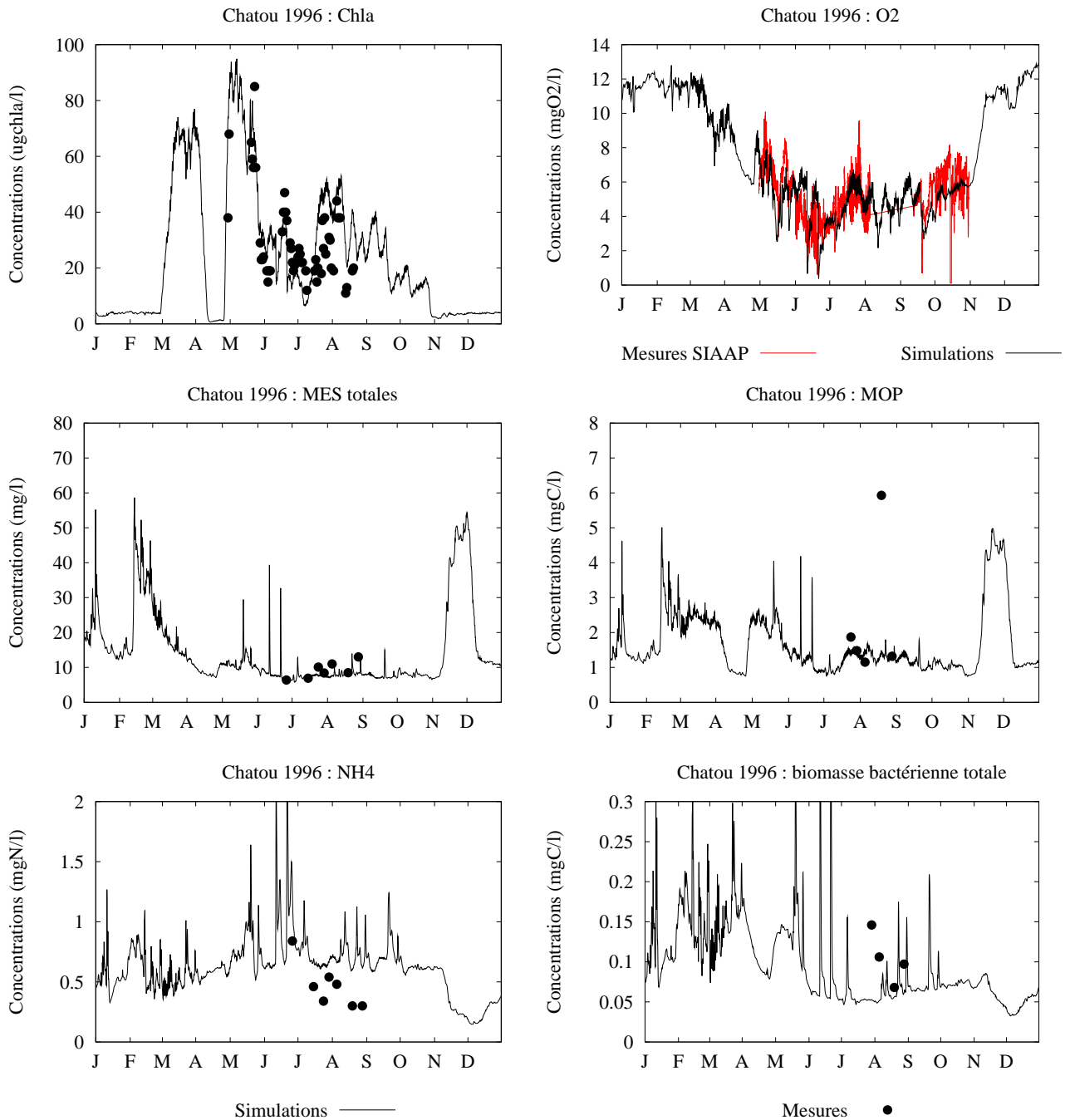


Figure 9: Comparaison des résultats de simulation avec ProSe, v4.0 et les mesures à Chatou pour l'année 1996.

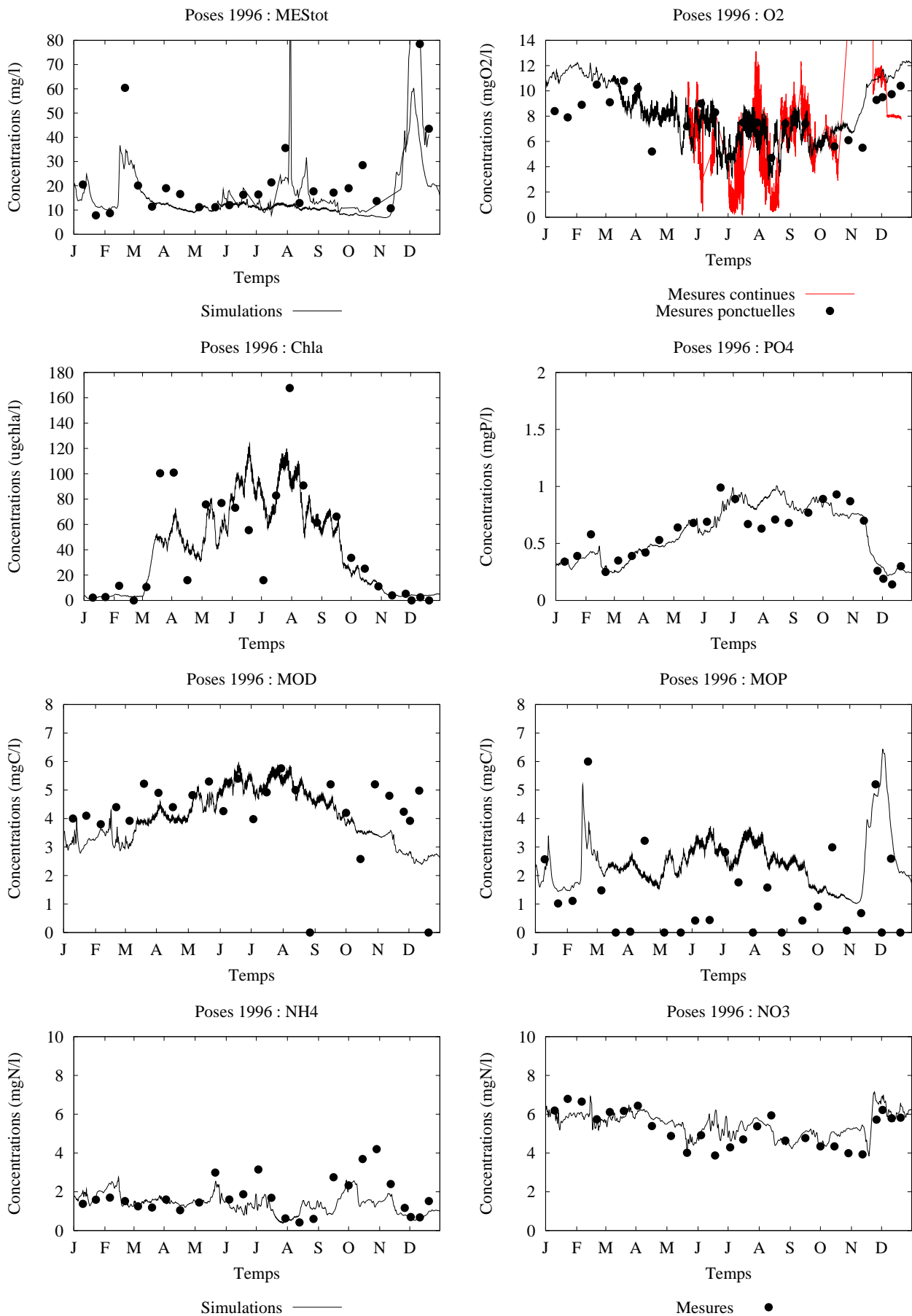


Figure 10: Comparaison des résultats de simulation avec ProSe, v4.0 et les mesures à Poses pour l'année 1996.

- l'estuaire. Rapport technique, PIREN Seine. <http://www.sisyphe.jussieu.fr/internet/piren/>.
- Flipo, N., 2005. Modélisation intégrée des transferts d'azote dans les aquifères et en rivière : application au bassin de Grand Morin. Thèse de doctorat, ENSMP.
- Flipo, N., S. Even, M. Poulin, et E. Ledoux, 2005. Modelling the nitrates fluxes at the catchment scale using the integrated tool CAWAQS. *Sciences of the Total Environment*. Soumis.
- Flipo, N., S. Even, M. Poulin, M.-H. Tusseau-Vuillemin, T. Améziane, et A. Dauta, 2004. Biogeochemical modelling at the river scale: plankton and periphyton dynamics: Grand Morin case study, France. *Ecological Modelling* **176**: 333–347.
- Flipo, N., M. Poulin, S. Even, E. Ledoux, C. Viavatten, et S. Théry, 2004. Modélisation intégrée du bassin du Grand Morin. Choix conceptuels. Description de la plate-forme Stics-Newsam-Prose. Contribution du Centre d'Informatique Géologique de l'École des Mines de Paris au Programme de recherche Piren Seine. Rapport LHM/RD/04/07. Rapport technique, École des Mines de Paris.
- Gomez, E., 2002. Modélisation intégrée du transfert de nitrate à l'échelle régionale dans un système hydrologique. Application au bassin de la Seine. Ph. D. thesis, École des Mines de Paris.
- Gomez, E., E. Ledoux, P. Viennot, C. Mignolet, M. B. C. Bornerand, C. Schott, B. Mary, G. Billen, A. Ducharne, et D. Brunstein, 2003. Un outil de modélisation intégrée du transfert des nitrates sur un système hydrologique : application au bassin de la Seine. *La Houille Blanche* **37**: 71–72.