

**Partenariat 2009 – Domaine Ecotechnologies et Pollutions**  
*Action 27-1 « Recherche de compacité des filières extensives de traitement des eaux usées »*



# ***Étude des filtres plantés de roseaux dimensionnés pour des campings***

*Rapport final*

*Catherine BOUTIN (Cemagref)  
Stéphanie PROST-BOUCLE (Cemagref)  
Marc BOUCHER (CG 24, SATESE)*

*Mars 2010*

## Contexte de programmation et de réalisation

---

Les activités touristiques estivales à très fortes variations de charge (hydraulique et organique) génèrent des pollutions très variables dans le temps, avec des pointes très marquées en été et une activité quasi nulle en hiver. Il est d'intérêt de s'assurer que la filière « filtres plantés de roseaux à 2 étages à écoulement vertical », mais d'un dimensionnement réduit, réponde aux besoins de cette activité. L'analyse va porter sur des installations réalisées pour des campings mais les résultats seront applicables à toute situation touristique similaire, y compris en contexte tropical.

## Les auteurs

---

Catherine BOUTIN  
Ingénieur traitement des eaux usées  
[catherine.boutin@cemagref.fr](mailto:catherine.boutin@cemagref.fr)  
UR Milieux Aquatiques, Ecologie et Pollutions, Cemagref de Lyon

Stéphanie PROST-BOUCLE  
Ingénieur d'études  
[stephanie.prost-boucle@cemagref.fr](mailto:stephanie.prost-boucle@cemagref.fr)  
UR Milieux Aquatiques, Ecologie et Pollutions, Cemagref de Lyon

Marc BOUCHER  
Ingénieur SATESE  
[marc.boucher@cg24.fr](mailto:marc.boucher@cg24.fr)  
Conseil Général de Dordogne, SATESE

## Les correspondants

---

Onema : Stéphane GARNAUD, Direction de l'Action Scientifique et Technique,  
[stephane.garnaud@onema.fr](mailto:stephane.garnaud@onema.fr)

Cemagref : Catherine BOUTIN, Cemagref de Lyon, [catherine.boutin@cemagref.fr](mailto:catherine.boutin@cemagref.fr)

<b>Droits d'usage :</b>	<i>Accès libre</i>
<b>Couverture géographique :</b>	<i>Département de la Dordogne</i>
<b>Niveau géographique :</b>	<i>National</i>
<b>Niveau de lecture :</b>	<i>Professionnels, experts</i>
<b>Nature de la ressource :</b>	<i>Rapport final d'étude</i>

***Étude des filtres plantés de roseaux dimensionnés pour des campings***  
*Rapport final*  
*Boutin C., Prost-Boucle S. et Boucher M.*

**SOMMAIRE**

<b>Résumé .....</b>	<b>4</b>
<b>Abstracts .....</b>	<b>5</b>
<b>Synthèse pour l'action opérationnelle (rapports finaux) .....</b>	<b>6</b>
<b>Corps du document .....</b>	<b>10</b>

**Étude des filtres plantés de roseaux dimensionnés pour des campings**  
*Boutin C., Prost-Boucle S. et Boucher M.*

**RESUME**

RESUME

---

Cette étude présente les éléments clés issus d'une étude de 3 ans sur 4 campings, dont l'un des sites a fait l'objet d'une instrumentation spécifique plus poussée au cours de la saison estivale 2009. Les 4 campings traitent leurs eaux usées de manière individuelle et sont chacun équipés de stations de traitement des eaux de type Filtres Plantés de Roseaux à écoulement vertical (FPRv) dont les dimensionnements sont différents.

Cette étude décrit notamment les caractéristiques des eaux usées brutes. Nous confirmons la corrélation entre la charge hydraulique traitée et le taux d'occupation du camping. Les eaux usées, recueillies dans un réseau privé court, sont naturellement concentrées. Ces éléments qualitatifs et quantitatifs permettent de définir l'« équivalent campeur » selon une charge de pollution journalière d'environ 100 L d'eau consommée, 90 g de DCO, 35 g de DBO<sub>5</sub>, 40 g de MES, 11 g de NK et 1,4 g de P<sub>t</sub>. Il s'agit d'un effluent très fortement chargé en azote. Ce paramètre est produit très majoritairement par le corps humain et cette qualité d'eaux peut s'expliquer par une moindre activité ménagère.

Le fonctionnement de chaque station est analysé : au cours des 5-6 semaines de fréquentation maximale, la totalité du 1<sup>er</sup> étage reçoit une charge organique d'environ 200 g DCO/m<sup>2</sup>/j et 25 g NK/m<sup>2</sup>/j (soit 2 à 3,5 fois plus que les charges classiques appliquées en FPRv en France). En dépit de ces fortes charges, l'élimination de la DCO reste constante (91 %) au cours de la saison. Lors du pic estival de fréquentation, la nitrification décroît fortement mais le rendement se maintient à environ 60 %.

L'étude démontre la robustesse des FPRv face à une augmentation progressive des charges appliquées et nous permet de définir un dimensionnement approprié, étage par étage, en accord avec les objectifs de qualité concernant le paramètre azote. Les comparaisons entre les 4 sites étudiés attestent de la nécessité d'une construction et d'une exploitation du système dans les règles de l'art. De tels niveaux de qualité ne peuvent être atteints qu'à conditions de respecter scrupuleusement les cycles d'alimentation/repos des filtres.

Toutefois, cette étude ne modifie en rien les règles de dimensionnement applicables aux petites collectivités. Par contre, elle propose un dimensionnement dédié aux activités de camping permettant d'atteindre une nitrification moyenne pondérée sur la totalité de la saison évaluée à plus de 75 %.

MOTS CLES

---

Campings ; caractéristiques des eaux usées ; dimensionnement ; filtres plantés de roseaux vertical ; nitrification ; variations de population

***Robustness of vertical reed bed filters facing variations of organic loads:  
the particular case of campsites***  
*Boutin C., Prost-Boucle S. and Boucher M.*

**ABSTRACT**

ABSTRACT

The report presents the main elements of a study led during 3 years on 4 campsites; one of them was instrumented specifically during the totality of the 2009 summer season. Those 4 campsites treat individually their wastewater and are all equipped with Vertical-Flow Constructed Wetlands (VFCW) of different size.

The report describes the characteristics of raw wastewater. We confirm the correlation between the hydraulic load and the occupation rate of the campsite. Wastewater, gathered in a very short private network, is naturally concentrated. These qualitative and quantitative elements allow to define a "camper equivalent" as a daily polluting load of about : 100 L, 90 g COD, 35 g BOD<sub>5</sub>, 40 g SS, 11 g KN and 1.4 g P<sub>i</sub>. Hypotheses are emitted to explain the presence of so high load of nitrogen

The functioning of each plant is analysed: at the maximum of attendance during 5-6 weeks, the totality of the first floor receives an organic load about of 200 g COD/m<sup>2</sup>/j and 25 g KN/m<sup>2</sup>/j (2 to 3.5 times more than the usual loads applied on French vRBF). In spite of these strong loads, the COD removal remains constant (91 %) throughout the season. In summer, during the peak of campsite frequenting, nitrification falls but stays above 60 %.

This study demonstrates the robustness of vFCW facing a progressive load increase. It allows us to define the appropriate sizing, stage by stage and according to several levels of quality objectives concerning nitrogen. Comparisons between the various sites show the necessity of a rigorous implementation according to the known rules of art. Such quality levels can be obtained only if the cycles of feeding/rest periods are strictly settled.

This study modifies not at all the sizing rules applied for small communities. It proposes a sizing dedicated to the activities of campsite allowing to reach a nitrification weighted average on the totality of the season estimated at more than 75 %.

KEY WORDS

Campsites; design; nitrification; variation of population; vertical flow Constructed Wetlands; wastewater characterisation

**Étude des filtres plantés de roseaux dimensionnés pour des campings**  
*Boutin C., Prost-Boucle S. et Boucher M.*

**SYNTHESE POUR L'ACTION OPERATIONNELLE**

Les campings sont marqués par une extrême saisonnalité. Généralement, la pleine saison se réduit aux deux mois d'été et les installations sont fermées au public en hiver. Pour des raisons économiques évidentes, il semble donc pertinent de rechercher un optimum de dimensionnement tout en répondant aux objectifs de qualité du rejet fixés par la réglementation. C'est ainsi qu'ont été installés, dans le cadre d'une expérimentation, plusieurs filtres plantés de roseaux à écoulement vertical (FPRv) de dimensionnements variés mais qui respectent les règles de l'art de construction classiques recevant des eaux usées brutes, simplement dégrillées.

**Recueil de données**

Les données sont issues de 4 FPRv recevant la totalité des eaux usées émises par 4 campings situés en Dordogne. Ces campings, de catégorie 3 ou 4 étoiles, ont une emprise de plusieurs hectares. Les campings partenaires de cette étude ont comptabilisé chaque jour le nombre de nuitées acquittées assimilé au nombre de personnes présentes au sein du camping. L'évaluation des charges de pollution émise par campeur (organique et hydraulique) est estimée à partir de la charge entrante sur la station ramenée au nombre de nuitées de la même journée.

Les FPRv ont fait l'objet de 23 bilans de mesures (prélèvements en continu pendant 24 h reconstitués proportionnellement au débit) ; les premiers ont eu lieu dès l'année de mise en service des installations et les derniers en 2009, 2 ans plus tard. Naturellement, ils se sont déroulés majoritairement pendant la pleine saison touristique, quelques-uns seulement à la mi-juin et fin août. Les efforts ont porté essentiellement sur les sites 1 et 2 du fait de leurs dimensions restreintes. Seuls 2 bilans ont été réalisés sur chacun des sites 3 et 4. Un soin tout particulier a été apporté aux prélèvements d'eaux usées brutes, que l'absence de transformation par un transit rapide en réseau court rend particulièrement délicat. Le choix a porté sur un emplacement adéquat de la crépine de prélèvement associé à des prélèvements syncopés à chaque bâchée. Chaque étage de traitement a été évalué en suivant les paramètres DCO, DBO<sub>5</sub>, MES, NK, N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub>, P<sub>i</sub> et P-PO<sub>4</sub> selon les méthodes normalisées (AFNOR, 2008). La nitrification est évaluée à partir de l'abattement de la charge en NK. Au site 1, dès la saison 2007, l'enregistrement en continu du fonctionnement des pompes préalablement tarées permet de connaître l'évolution des débits.

**Caractéristiques des eaux usées émises par l'activité camping**

Saisonnalité de l'activité « camping » - Sans grande surprise, la fréquentation du camping évaluée à partir des nuitées quotidiennes et la quantité journalière d'eaux usées à traiter sont étroitement liées. Le suivi de 3 années consécutives du site 1, confronté aux analyses de courte durée sur les 3 autres sites, a permis d'élaborer la courbe théorique de l'évolution des débits au cours du temps. Il ressort :

- une absence totale d'eaux usées à traiter entre le 15 octobre et le 1<sup>er</sup> avril,
- un maximum de fréquentation d'une durée de 5-6 semaines entre le 10 juillet et le 15 août,
- une montée en charge très rapide, en 10 jours début juillet, d'un facteur supérieur à 3,
- la diminution de charge est équivalente pendant les 15 derniers jours d'août.

Ces variations sont relativement drastiques et il convient de s'assurer que les techniques de traitement des eaux usées installées sont aptes, non seulement à supporter les pointes de charges estivales, mais également à démarrer rapidement à la suite de la pause hivernale.

Quantité d'eaux usées émises par l'activité « camping » - Les quantités d'eaux à traiter émises par campeur varient sensiblement d'un camping à l'autre : les moyennes par site varient de 80 L à 110 L/campeur. Les consommations les plus faibles sont obtenues lorsque les sanitaires et les douches sont équipés de systèmes d'économie d'eau (Presto® par exemple). En conclusion, on retient une moyenne journalière de 94 L arrondie à 100 L/campeur, réduite éventuellement à 80 L/campeur si un programme d'économie existe sur tous les points de consommation d'eau potable.

Qualité des eaux usées émises lors de l'activité « camping » - Les concentrations sont plus ou moins homogènes. Les économies d'eau pratiquées sur le site n°1 entraînent des concentrations plus importantes, et ce pour la totalité des paramètres. Pour les paramètres caractéristiques de la matière organique, les moyennes correspondent à un effluent normalement concentré transitant dans un réseau court. Les eaux sont équilibrées et les ratios moyens en DCO/DBO<sub>5</sub>, N-NH<sub>4</sub>/NK, DCO/MES respectivement 2.4, 0.8 et 2.3 sont classiques pour une eau domestique. Par contre, les eaux sont très fortement concentrées en azote : la moyenne de 120 mg NK/L est très élevée, soit presque deux fois supérieure à la concentration usuelle estimée à 65 mg NK/L.

Illustration 1 : Qualité des eaux usées émises lors de l'activité « camping »

		Concentrations (mg/L)					
		DBO <sub>5</sub>	DCO	MES	NK	N-NH <sub>4</sub>	P <sub>t</sub>
Moyenne pondérée sur	les 4 sites	355	837	387	117	94	16
Médiane	des 23 bilans	345	789	362	113	93	15
Maximum		680	1 300	740	170	130	33
Minimum		220	529	160	79	51	9
<b>Valeurs retenues</b>		<b>360</b>	<b>840</b>	<b>390</b>	<b>120</b>	<b>95</b>	<b>16</b>

Evaluation de la charge polluante émise par un campeur - La moyenne de 32 g DBO<sub>5</sub>/j par campeur est très inférieure à la charge organique biodégradable de 60 g/j définie comme un Equivalent Habitant par la Directive Européenne de 1991. Les charges en DCO, MES et P<sub>t</sub> continuent de témoigner d'un effluent équilibré de type domestique. En proportion, la charge en azote réduit est importante. Cette valeur concorde précisément avec les besoins physiologiques humains (Calloway *et al.*, 1971) et les taux d'excrétions (Verbrancq *et al.*, 1984). Dans un camping, les repas sont généralement simples et génèrent moins d'eaux ménagères : la matière organique est donc en proportion réduite vis à vis de l'ammonium, véhiculé majoritairement par les urines. Pour certains paramètres, les sites 1 et 2 fournissent des valeurs supérieures à la moyenne. Ainsi, les valeurs retenues comme base pour un dimensionnement futur sont, par sécurité, légèrement réévaluées.

Illustration 2 : Charge polluante équivalente à un campeur

		Pollution journalière émise par un campeur						
		Volume (L)	Pollution (g)					
			DBO <sub>5</sub>	DCO	MES	NK	N-NH <sub>4</sub>	P <sub>t</sub>
Moyenne pondérée sur	les 4 sites	94	32	77	36	11	9	1.4
Médiane	des 23 bilans	91	32	81	37	11	8	1.4
Maximum		131	44	117	68	15	12	2.8
Minimum		68	23	47	14	8	5	0.9
<b>Valeurs retenues</b>		<b>100</b>	<b>35</b>	<b>90</b>	<b>40</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>1,4</b>

### Efficacité globale des 4 FPRv

Les mesures ont eu lieu pendant des périodes de grande fréquentation et expliquent les taux de charges appliqués particulièrement élevés comparés aux taux classiques : plus de 2.5 fois supérieur pour la DCO et plus de 3.5 fois supérieur pour le NK.

**Rendements** - Dans ces conditions, le traitement de la DCO reste stable (indépendant des caractéristiques des 4 sites et des taux de charges) et très satisfaisant. Le rendement moyen est de 91%. Pour l'azote, le rendement moyen en NK est évalué à 65 %. On note un décrochement des rendements à partir d'une charge appliquée située entre 5 et 7 g NK/m<sup>2</sup>/j. En dessous de cette valeur, les rendements sont très proches de 100 % et confirment une nitrification complète. Au delà, le niveau de traitement sur le paramètre NK faiblit et montre une forte hétérogénéité.

**Qualité des rejets** - La qualité des rejets est globalement bonne pendant le pic saisonnier. Ce rejet est très satisfaisant sur les paramètres de pollution carbonée (DBO<sub>5</sub> et DCO) et particulaire (MES). De faibles à très faibles concentrations, faiblement dispersées, sont observées pour ces 3 paramètres. Concernant l'azote, les résultats indicateurs de la nitrification sont assez parsemés. Le rejet moyen reste encore concentré en NK (44 mg/L) du fait de la forte concentration initiale des eaux brutes et malgré une moyenne des rendements de 60 %. L'azote organique est entièrement oxydé. La production de nitrates, variable entre 8 et 110 mg N-NO<sub>3</sub>/L, atteint une valeur moyenne de 40 mg N-NO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup>.

Illustration 3 : Qualité du rejet (mg/L) pendant la pleine saison

	DBO <sub>5</sub>	DCO	MES	NK	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	P <sub>t</sub>
<b>Moyenne</b>	<b>13</b>	<b>84</b>	<b>20</b>	<b>44</b>	<b>43</b>	<b>41</b>	<b>13</b>
Médiane	11	80	19	47	47	30	11
Maximum	25	120	43	64	63	110	26
Minimum	6	43	9	7	7	8	7
Ecart-type	6	21	9	14	14	30	5
Nombre de valeurs	17	17	17	17	17	17	17

Dès le mois de juin, alors que la station est en nette sous-charge, la qualité du rejet est excellente. Au cours de la saison, une tendance à l'accroissement des concentrations résiduelles en DBO<sub>5</sub>, DCO et MES est à noter sans nuire significativement à la qualité du rejet qui reste excellente et systématiquement inférieure à 25 mg DBO<sub>5</sub>/L, 120 mg DCO/L et 45 mg MES/L. L'azote semble plus difficile à traiter durant la pleine saison : la concentration de sortie en ammonium s'accroît sensiblement entre juin et juillet. Une forte production de nitrates en juin témoigne d'une bonne oxygénation des médias filtrants qui diminue ensuite du fait des fortes demandes en oxygène associé à un fonctionnement hydraulique mal optimisé. La nitrification est donc variable au cours de la saison.

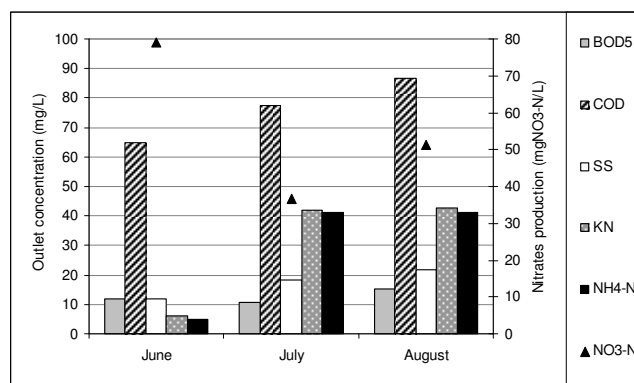


Illustration 4 : Evolution de la qualité du rejet au cours du temps

## Propositions de dimensionnement pour les campings

**1<sup>er</sup> étage** - La charge mesurée de 200 g DCO/m<sup>2</sup>/j appliquée à la totalité des filtres du 1<sup>er</sup> étage constitue un maximum, 2 fois supérieure à la valeur conventionnelle utilisée en traitement d'eaux usées domestiques. Le rendement attendu sur la DCO est de 77 %, celui sur le NK est voisin de



40 %. L'application de telles surcharges momentanées est possible grâce à l'absence d'apport pendant une longue période et à la minéralisation quasi complète des dépôts en surface. Après 3 ans de fonctionnement, la hauteur des dépôts en début de saison n'excède pas 1 cm alors qu'une petite dizaine de cm s'accumule pendant chaque saison touristique.

2<sup>ème</sup> étage - L'azote est considéré comme le facteur limitant, ainsi que la charge hydraulique appliquée au filtre en fonctionnement. La charge maximale applicable à la totalité du 2<sup>ème</sup> étage est fixée à 20 g NK/m<sup>2</sup>/j<sup>1</sup>. La charge hydraulique journalière admissible sur le filtre en fonctionnement est fixée à 66 cm. Le rendement minimum attendu sur le paramètre NK est évalué à 55 % en période de pointe.

Illustration 5 : Dimensionnement des FPRv pour les campings

	Surface		Charge maximale admissible			
			sur l'étage		sur le filtre en fonctionnement	
	m <sup>2</sup> /campeur	étage	total	g/m <sup>2</sup> /j	DON	NK
						hydraulique
1 <sup>er</sup> étage	0.15	0.45	200	-	-	-
2 <sup>ème</sup> étage	0.15	0.30	-	20	-	0.66
Total	-	0.75	-	-	-	-

Sur la base d'une pollution journalière par campeur équivalente à 35 g DBO<sub>5</sub>, 90 g DCO et 11 g NK, il ressort un dimensionnement global à 0.75 m<sup>2</sup>/campeur. Un tel dimensionnement, sous réserve d'une mise en œuvre selon les règles de l'art établies fournit un rejet d'excellente qualité pour les paramètres DCO, DBO<sub>5</sub> et MES. Par contre, la nitrification est variable selon la saison et devient incomplète l'été : ce dimensionnement conduit à accepter un rejet d'une teneur maximale à 35 mg NK/L pendant la pointe estivale, et ce, malgré un rendement au moins égal à 75%. Si toutefois les exigences du milieu imposaient un rejet plus strict sur la nitrification cinq semaines par an, il conviendrait d'adapter le dimensionnement en réduisant les charges appliquées et augmentant les surfaces mises en jeu.

Illustration 6 : Performances attendues des FPRv, pour un effluent brut concentré à 840 mg DCO/L et 120-140 mg NK/L

	Rendement attendu (%)		Qualité du rejet (mg/L)	
	DCO	NK	DCO	NK
1 <sup>er</sup> étage	77	40	-	-
2 <sup>ème</sup> étage	60	55	-	-
Total - Rejet	91	> 75	< 80	< 35

Pour atteindre ces performances, la mise en œuvre doit être conduite dans la plus stricte application des règles de l'art. Il faut insister tout particulièrement sur l'installation d'ouvrages hydrauliques permettant de **répartir** effectivement les eaux usées sur la totalité de la surface disponible ; le suivi des 4 sites a permis de démontrer cette nécessité.

Les consignes d'exploitation restent strictes et doivent respecter scrupuleusement les durées des phases d'alimentation et de repos des filtres: i) pour le 1<sup>er</sup> étage, 3-4 j d'alimentation / 7 j de repos, et ii) pour le 2<sup>ème</sup> étage, 3-4 j d'alimentation / 3-4 j de repos. Ce suivi est d'autant plus important en période de forte activité où il est important que le maître d'ouvrage s'engage réellement à un tel rythme de fonctionnement.

En résumé, la filière par FPRv peut répondre au cas particulier du traitement des eaux usées des campings. Le dimensionnement global de 0,75 m<sup>2</sup>/campeur est possible. Il génère un fonctionnement sous des charges appliquées surfaciques très fortes dont la fiabilité est totalement dépendante à la fois d'une mise en œuvre stricte mais aussi de consignes d'exploitation rigoureuses.

**Étude des filtres plantés de roseaux dimensionnés pour des campings**  
Boutin C., Prost-Boucle S. et Boucher M.

## SOMMAIRE

1	FILTRES PLANTES DE ROSEAUX A ECOULEMENT VERTICAL .....	16
1-1	Principe de fonctionnement - dimensionnement.....	16
1-2	Performances épuratoires attendues.....	18
1-3	Charges appliquées et nitrification.....	19
2	CAMPINGS ETUDIÉS.....	20
2-1	Description des activités des campings.....	20
2-2	Méthodologie de l'étude.....	20
2-2-1	Suivi SATESE.....	21
2-2-2	Suivi Cemagref.....	21
2-3	Rappel de la législation en vigueur pour les campings.....	22
3	EAU USÉE PRODUITE PAR LES CAMPEURS.....	24
3-1	Volumes d'eaux usées à traiter.....	24
3-1-1	Lien entre la fréquentation et les volumes d'eaux usées .....	24
3-1-2	Analyse des émissions hydrauliques .....	25
3-1-3	Flux hydraulique par campeur.....	26
3-2	Qualité des eaux usées à traiter .....	27
3-2-1	Concentrations moyennes observées .....	27
3-2-2	Evolution sur la saison .....	29
3-3	Charges par campeur .....	30
3-3-1	Estimation des charges produites par campeur.....	30
3-3-2	Particularité de l'azote .....	31
4	FILTRES PLANTES DE ROSEAUX ETUDIÉS .....	33
4-1	Description technique des STEU par Filtres Plantés de Roseaux .....	33
4-1-1	Organisation de la station : site 1 .....	33
4-1-2	Description de la filière .....	33
4-1-3	Comparatif des dimensionnements des sites .....	34
4-2	Fonctionnement des 4 installations de traitement .....	35
4-3	Rejet.....	36
4-3-1	Qualité moyenne de haute saison.....	36
4-3-2	Evolution de la qualité de l'eau traitée dans le temps.....	37
4-3-3	Impact de la qualité des eaux sur le rendement obtenu .....	38
5	DISCUSSION .....	39
5-1	Fonctionnement du 1 <sup>er</sup> étage .....	39
5-1-1	Charges hydrauliques .....	39
5-1-2	Traitement de la DCO et du NK .....	39
5-1-3	Performances durant la période de forte fréquentation .....	40
5-1-4	Vitesses d'apport et lame d'eau .....	41
5-1-5	Qualité du rejet et lien avec les cycles d'alimentation.....	41
5-2	Fonctionnement du 2 <sup>ème</sup> étage.....	42
5-2-1	Charges hydrauliques .....	42
5-2-2	Traitement de la DCO et du NK .....	43
5-2-3	Performances durant la période de forte fréquentation .....	43
5-2-4	Qualité du rejet et lien avec les cycles d'alimentation.....	44
5-3	Analyse détaillée.....	45
5-3-1	Mesures d'oxygène .....	45
5-3-2	Fonctionnement en période de démarrage .....	47
5-3-3	Production de nitrates N-NO <sub>3</sub> .....	48
5-3-4	Impact des charges hydrauliques sur les rendements.....	51
5-4	Simulation théorique des performances .....	51

6 PROPOSITION DE DIMENSIONNEMENT .....	53
6-1 Premier étage.....	53
6-2 Deuxième étage .....	53
6-3 Rejet attendu tout au long de la saison touristique.....	53
Conclusion .....	55

## LISTE DES ILLUSTRATIONS

### FIGURES

Figure 1 : Schéma d'un filtre à écoulement vertical, d'après Groupe Macrophytes et traitement des eaux (2005).....	16
Figure 2 : Dispositif à étages successifs : filtres verticaux et caractéristiques granulométriques.....	18
Figure 3 : Extrait de l'arrêté du 22 juin 2007 : performances minimales des stations d'épuration des agglomérations devant traiter une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 120 kg/j de DBO <sub>5</sub> .....	22
Figure 4 : Coupe des filtres et emplacement des cannes de mesures de gaz .....	45
Figure 5 : Teneurs en O <sub>2</sub> avant la saison touristique .....	45
Figure 6 : Teneur en O <sub>2</sub> au cours de la saison touristique .....	46

### TABLEAUX

Tableau 1 : Performances épuratoires en FPR à chaque étage de traitement (Molle et al., 2004).....	18
Tableau 2 : Concentrations et charges appliquées à chaque étage .....	19
Tableau 3 : Descriptif des campings étudiés.....	20
Tableau 4 : Qualité des eaux usées brutes.....	28
Tableau 5 : Ratios pour les eaux brutes.....	29
Tableau 6 : Valeur moyenne des charges polluantes émises par campeur, habitant ou EH .....	31
Tableau 7 : Composition des eaux usées (selon EcoSan.org, cité par R. Otterpohl).....	32
Tableau 8 : Composition de chaque étage du site 1 .....	34
Tableau 9 : Surfaces comparée des 4 sites étudiés .....	34
Tableau 10 : Dimensionnement de chaque étage vs. EH et vs. campeur .....	35
Tableau 11 : Qualité du rejet en haute saison - Concentrations et rendements.....	36
Tableau 12 : Charges, concentrations et rendements du 1 <sup>er</sup> étage - Sites 1 et 2.....	40
Tableau 13 : Taux de charges hydrauliques, organiques et azotées, 1 <sup>er</sup> étage - Sites 1 et 2.....	40
Tableau 14 : Charges, concentrations et rendements du 2 <sup>ème</sup> étage - Sites 1 et 2 .....	43
Tableau 15 : Taux de charges hydrauliques, organiques et azotées, 2 <sup>ème</sup> étage – Sites 1 et 2.....	44
Tableau 16 : Surfaces préconisées et performances estimées de chaque étage (période de forte fréquentation).....	54
Tableau 17 : Qualité moyenne des eaux usées émises par l'activité « camping ».....	55
Tableau 18 : Charges polluantes émises par un « campeur ».....	55

### GRAPHIQUES

Graphique 1: Relation nuitées / volumes – Site 1 .....	24
Graphique 2 : Relation nuitées / volumes journaliers.....	24
Graphique 3 : Evolution horaire de la consommation hydraulique journalière (site 1).....	25
Graphique 4 : Coefficients de pointe journaliers sur la saison 2009 – Site 1.....	25
Graphique 5 : Simulation d'évolution des volumes journaliers au cours d'une saison .....	26
Graphique 6 : Charges hydrauliques moyennes par campeur pour les différents campings .....	26
Graphique 7 : Concentrations moyennes des paramètres classiques des eaux usées pour les 4 sites .....	28
Graphique 8 : Evolution par site des concentrations en DCO au cours de la saison .....	29
Graphique 9 : Evolution par site des concentrations en NK au cours de la saison .....	30
Graphique 10 : Charges polluantes par campeur et par site pour les paramètres DCO, DBO <sub>5</sub> , MES, P <sub>t</sub> et NK.....	31
Graphique 11 : Efficacité globale de la filière de traitement sur les paramètres DCO et NK.....	36
Graphique 12 : Qualité du rejet selon les périodes – Totalité des sites.....	37
Graphique 13 : Relation concentration-rendement en DCO et NK – Sites 1 et 2.....	38
Graphique 14 : Evolution de la charge hydraulique au 1 <sup>er</sup> étage – Totalité des sites.....	39
Graphique 15 : Efficacité du 1 <sup>er</sup> étage de traitement en DCO et NK – Totalité des sites .....	40
Graphique 16 : Influence du jour d'alimentation sur le traitement DCO et NK au 1 <sup>er</sup> étage – Sites 1 et 2 .....	42
Graphique 17 : Evolution de la charge hydraulique au 2 <sup>ème</sup> étage – Totalité des sites .....	42

Graphique 18 : Efficacité du 2 <sup>ème</sup> étage de traitement en DCO et NK – Totalité des sites.....	43
Graphique 19 : Influence du jour d'alimentation sur le traitement DCO et NK au 2 <sup>ème</sup> étage – Sites 1 et 2.....	44
Graphique 20 : Suivi bandelettes 2009 en N-NH <sub>4</sub> et N-NO <sub>3</sub> - Site 1.....	47
Graphique 21 : Suivi bandelettes 2009 en N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> et N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - Site 2.....	47
Graphique 22 : Évolution des nitrates en juin 2009 aux 1 <sup>er</sup> et 2 <sup>ème</sup> étages – Site 1.....	48
Graphique 23 : Evolution des nitrates en juillet 2009 aux 1 <sup>er</sup> et 2 <sup>ème</sup> étages – Site 1.....	49
Graphique 24 : Evolution des nitrates en septembre 2009 aux 1 <sup>er</sup> et 2 <sup>ème</sup> étages – Site 1.....	50
Graphique 25 : Concentrations en nitrates de sortie en fonction de la charge en NK.....	50
Graphique 26 : Influence de la charge hydraulique sur le traitement – Site 1.....	51
Graphique 27 : Rendement en NK selon la charge hydraulique appliquée à 1 filtre du 2 <sup>ème</sup> étage.....	51
Graphique 28 : Simulation de fonctionnement pendant une saison touristique : rendements, concentrations, charge hydraulique appliquée à la surface d'un filtre du 1 <sup>er</sup> étage.....	52
Graphique 29 : Evolution des concentrations en NK d'entrée et de sortie station.....	54

## **LISTE DES ABREVIATIONS, UNITES ET SIGLES**

ANC	Assainissement Non Collectif
CCTP	Cahier des Clauses Techniques Particulières
CU	Coefficient d'Uniformité, rapport $d_{10}/d_{60}$
DBO <sub>5</sub>	Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours
DCO	Demande Chimique en Oxygène
DGO	Demande Globale en Oxygène
$d_x$	Diamètre de tamis laissant passer x % (x appartenant à l'intervalle ]0;100]) de la masse totale de l'échantillon
EH	Equivalent Habitant
FPR	Filtres Plantés de Roseaux
ha	Hectare
IWA	International Water Association
MES	Matières en Suspension
N <sub>2</sub>	Azote atmosphérique
NH <sub>3</sub>	Ammoniac
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ammonium
NK	Azote Kjeldahl
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Nitrites
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrates
O <sub>2</sub>	Oxygène
ONEMA	Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques
pH	Potentiel Hydrogène
P <sub>t</sub>	Phosphore total
SATESE	Service d'Assistance Technique aux Exploitants de Stations d'Épuration
SDHPAD	Syndicat d'Hôtellerie de Plein Air de la Dordogne
STEU	Station de Traitement d'Eaux Usées

## INTRODUCTION

Le Syndicat Départemental de l'Hôtellerie de Plein Air de la Dordogne (SDHPAD) est à l'origine de cette étude qui a débuté dès le début des années 2000. Le SDHPAD souhaitait apporter à l'hôtellerie de plein air une assistance technique incluant la gestion des eaux usées.

Ainsi, de 2007 à 2008, le SATESE de la Dordogne a effectué plusieurs campagnes de mesures et des suivis ponctuels sur des stations d'épuration de campings de type Filtres Plantés de Roseaux à flux vertical (FPRv). Les installations ont notamment été choisies pour leur dimensionnement réduit à environ 1 m<sup>2</sup>/hab tel que suggéré dans le document de 2005 issu du Groupe Macrophytes, au lieu des 2 m<sup>2</sup>/hab généralement préconisés pour le cas classique des collectivités émettant une pollution continue dans le temps. Ces mesures ont mis en exergue des phénomènes nitrifiants plus faibles lorsque le traitement s'intensifie au cœur de la saison touristique.

Il convient donc de s'assurer que les variations de charges estivales émises par les campings permettent de proposer un dimensionnement adapté à la filière de type FPRv, sans dégradation de la qualité du rejet, tout particulièrement vis à vis du paramètre azote.

C'est pourquoi le Cemagref et le SATESE de la Dordogne se sont coordonnés pour mener une étude plus poussée en 2009, instrumentant tout particulièrement l'un des sites.

Les partenaires de cette étude sont donc très nombreux, et qu'ils trouvent ici par le biais de ce document de synthèse nos sincères remerciements pour leur investissement et leur intérêt dans ce sujet. Il s'agit :

- du Conseil Régional d'Aquitaine,
- de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne,
- de l'ONEMA,
- du Service de Police de l'Eau du département de la Dordogne,
- du Syndicat Départemental de l'Hôtellerie de Plein Air de la Dordogne,
- du bureau d'études DEBAT qui a initié la réflexion dès les années 2000,
- des propriétaires des campings qui ont mis à disposition leurs installations de traitement d'eaux usées.

Le suivi en continu installé à demeure pendant la saison 2009 et la campagne de mesures du Cemagref n'auraient pu être conduites sans le soutien logistique et technique de Clément Crétollier, technicien au Cemagref de Lyon.

## 1 FILTRES PLANTES DE ROSEAUX A ECOULEMENT VERTICAL

La filière d'épuration « filtres plantés de roseaux à écoulement vertical » est en plein essor de nos jours. Même si son domaine d'application privilégié est principalement celui des petites collectivités, on rencontre désormais des installations de plus grande taille, allant jusqu'à 4 500 habitants.

### 1-1 Principe de fonctionnement - dimensionnement

Les processus de dégradation de la filière « Filtres Plantés de Roseaux » reposent sur le principe des cultures fixées sur supports fins ; le traitement des eaux usées se réalise donc par une filtration et une dégradation biologique aérobie au sein de plusieurs filtres.

Les filtres sont des excavations étanchées du sol et remplies de matériaux (sables ou graviers selon l'étage) de différentes granulométries organisées en couches horizontales. La Figure 1 illustre les éléments constitutifs principaux.

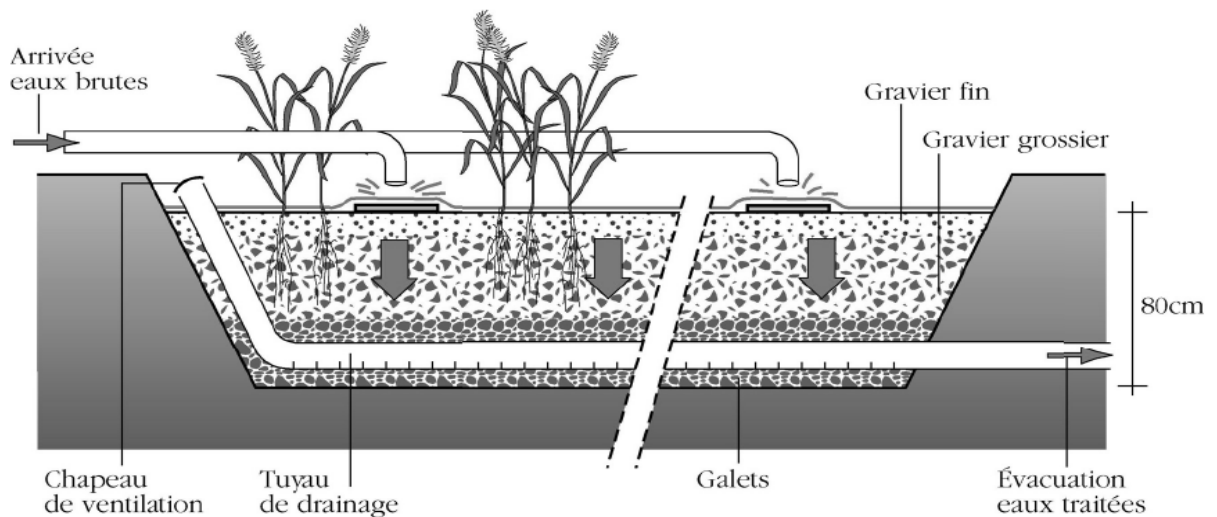
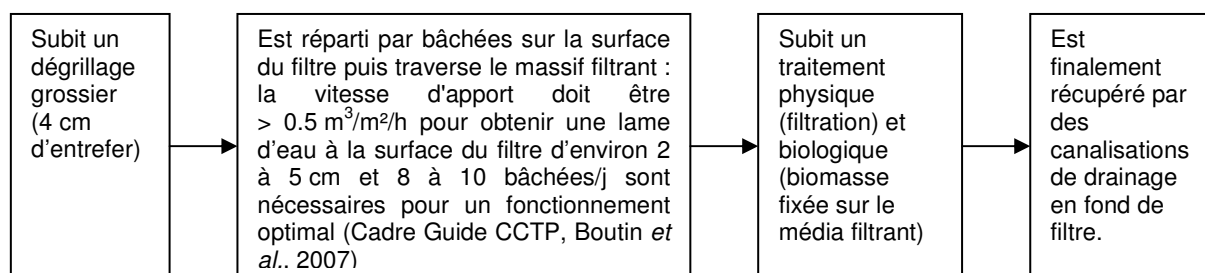


Figure 1 : Schéma d'un filtre à écoulement vertical, d'après Groupe Macrophytes et traitement des eaux (2005)

#### L'effluent brut :



#### Les MES accumulées à la surface du filtre du 1<sup>er</sup> étage :

- contribuent à former une couche de boues ;
- diminuent légèrement la perméabilité du matériau et augmentent ainsi le temps de séjour de l'effluent au sein du massif, améliorant donc la qualité de l'eau traitée ;
- sont minéralisées au cours des phases de repos, atténuant ainsi leur accumulation.



**L'oxygénation du massif** est indispensable aux réactions de dégradation de la matière organique et à la nitrification. Le maintien d'un milieu aérobie est totalement nécessaire pour éviter le colmatage du système. C'est une des raisons de la mise en œuvre de plusieurs filtres, fonctionnant de façon alternée en phase d'alimentation puis en phase de repos. L'oxygénation est obtenue grâce à :

- des mécanismes de diffusion d'oxygène atmosphérique en surface des filtres, principalement en phase de repos ;
- des mécanismes de convection lors de l'alimentation du filtre par bâchées ;
- un réseau de drains d'aération (drainage) disposés en fond de filtres.

**Le rôle des roseaux** est principalement d'ordre :

- mécanique : percement de la couche de dépôts superficiels par les effets du vent autour de la tige du roseau et facilitation de l'écoulement de l'effluent au travers du média filtrant. Les roseaux sont également des stabilisateurs de la surface du lit, par la suppression de passages préférentiels (crevasses) en surface et au sein du média filtrant ;
- biologique : libération d'oxygène par les radicelles, créant ainsi, autour des racines, des zones aérobies favorisant la création de niches écologiques propices au développement bactérien. Une des conséquence concerne la bonne minéralisation et déshydratation des dépôts de surface. L'ombrage des végétaux permet aussi d'atténuer les variations de température et un taux d'hygrométrie propice au développement bactérien ;
- esthétique.

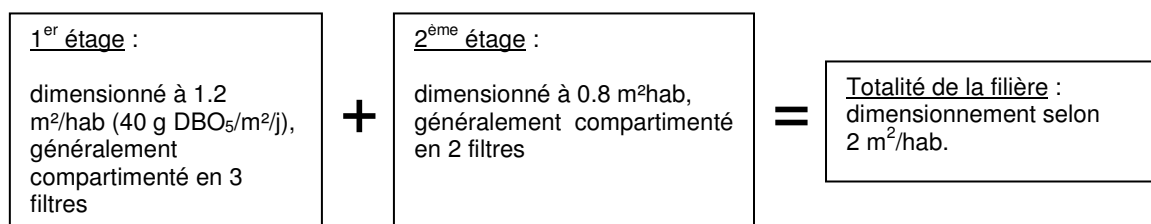
**Le rôle de la phase solide** réside dans le choix des matériaux, c'est à dire un compromis entre :

- une granulométrie suffisamment fine pour retenir les MES, mais n'entraînant pas un colmatage précoce du filtre ;
- une granulométrie suffisamment grossière pour assurer l'écoulement de l'eau ainsi que l'aération du massif.

**Les taches d'entretien particulières des filtres plantés** sont :

- le passage bihebdomadaire sur site pour réaliser le phasage des périodes d'alimentation/repos : rotation des 3 filtres du premier étage au rythme de 3 à 4 jours d'alimentation et 7 jours de repos. La phase de repos est indispensable afin de permettre une ré-oxygénation du filtre et favoriser la minéralisation des dépôts après leur essuyage, réduisant les risques de colmatage (régulation la biomasse accumulée dans les filtres) ;
- un faucardage annuel des roseaux, de préférence à l'automne.

**Le dimensionnement théorique** des 2 étages décrits Figure 2 est tel que :



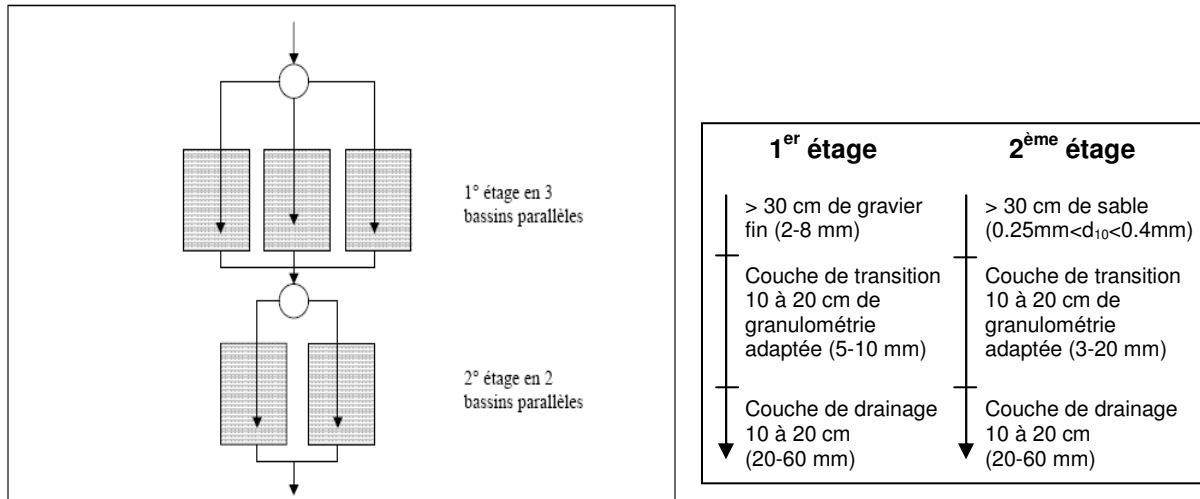


Figure 2 : Dispositif à étages successifs : filtres verticaux et caractéristiques granulométriques (Boutin et al., 2007).

### 1-2 Performances épuratoires attendues

Grâce à une enquête conduite en 2004 portant sur le parc français de filtres plantés de roseaux, il a été possible de constater que le rejet répond pleinement aux objectifs fixés par la réglementation. Plus précisément, lorsque les FPR reçoivent une charge hydraulique modérée issue de réseau unitaire (inférieure à 0.60 m/j) et un effluent de concentration classique (840 mg DCO/L en moyenne), les caractéristiques du rejet obtenu sont alors celles rassemblées dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Performances épuratoires en FPR à chaque étage de traitement (Molle et al., 2004)

	1 <sup>er</sup> étage		2 <sup>ème</sup> étage		Totalité de la filière
	concentration (mg/L)	rendement (%)	concentration (mg/L)	rendement (%)	
<b>DCO</b>	145 ± 24	82 ± 3	55 ± 8	60 ± 8	91 ± 3
<b>MES</b>	33 ± 7	89 ± 3	11 ± 4	72 ± 7	95 ± 2
<b>NK</b>	35 ± 7	60 ± 6	6 ± 2	78 ± 7	85 ± 5

Le rejet atteint classiquement au moins la qualité suivante :

- DBO<sub>5</sub> : 25 mg/L,
- DCO : 90 mg/L,
- MES : 30 mg/L
- NK : 10 mg/L en moyenne avec des pointes ≤ 20 mg/L, pointes fonction des phases d'alimentation / repos.

On observe une bonne nitrification (oxydation des ions ammonium sous forme de nitrates) sur la filière filtres plantés de roseaux en écoulement vertical pour les dimensionnements traditionnels. Le rejet d'azote sous forme nitrate (toxicité bien moindre que l'ammonium) fait partie des objectifs attendus de cette filière.

### 1-3 Charges appliquées et nitrification

Le Tableau 2 relate les charges surfaciques appliquées à chaque étage et permet de comparer des conditions de fonctionnement. Ces charges sont évaluées à partir des concentrations des eaux introduites multipliées par le débit journalier (150 L/hab) rapportées à la surface totale de l'étage considéré, c'est à dire 1.2 m<sup>2</sup> pour le 1<sup>er</sup> étage et 0.8 m<sup>2</sup> pour le 2<sup>ème</sup> étage pour 1 habitant.

Tableau 2 : Concentrations et charges appliquées à chaque étage

	1 <sup>er</sup> étage (1.2 m <sup>2</sup> /hab)			2 <sup>ème</sup> étage (0.8 m <sup>2</sup> /hab)		
	N-NK	DCO	DGO <sup>1</sup>	N-NK	DCO	DGO <sup>1</sup>
Concentrations de l'effluent appliqué (mg/L)	≈ 70	≈ 800	-	35 ± 7	145 ± 24	-
Charges organiques appliquées (g/m <sup>2</sup> /j)	≈ 5 - 6	≈ 100	≈ 80	≈ 3 - 4	≈ 12 - 18	25 - 35

On constate que les charges appliquées en DCO et DGO sont nettement différentes entre les 2 étages. Par contre, les charges appliquées en azote Kjeldhal (NK) se situent dans une gamme équivalente. Pour de telles charges appliquées, la concentration du rejet de la station en NK attendue est de 8 mg/L (Molle *et al.*, 2004).

Qu'en est-il des ouvrages de campings susceptibles de recevoir temporairement des charges appliquées bien supérieures, notamment en azote ?

<sup>1</sup> DGO ou Demande Globale en Oxygène quantifie le besoin complet en oxygène pour dégrader la DCO et oxyder l'Azote.  
 DGO = DCO + 4.57\*NK

## 2 CAMPINGS ETUDIÉS

### 2-1 Description des activités des campings

Le Tableau 3 décrit les 4 campings étudiés (dont les propriétaires ont installé un FPRv, objet d'un suivi entre 2007 et 2009) indiquant quelques unes de leurs caractéristiques en termes de surface et de nombre d'emplacements spécifiques pour des mobile-homes ou des tentes. Les 4 campings sont de grande taille et les activités proposées sont multiples. Ils bénéficient tous d'un degré d'équipements important puisque ce sont des campings de catégorie supérieure ou égale à 3 étoiles.

Tableau 3 : Descriptif des campings étudiés

		Site 1 ★★★★★	Site 2 ★★★★★	Site 3 ★★★	Site 4 ★★★★★
Nombre max campeurs		900	800	400	1 000
Surface du camping (ha)		7	10	8	4
Densité max campeurs (campeur/ha)		130	80	50	230
	restauration	oui (200 couverts)	oui	oui	oui (300 couverts)
	supérette	oui	oui	oui	oui
Activités proposées	activités sportives	football, volley, basket, badminton, ping-pong, canoë, vélo, piscine	football, toboggan, canoë, mini golf, piscine, volley	tennis, mini golf, volley, bowling, pétanque, piscine	football, tennis, mini golf, quad électrique, piscine
	autres	lavage véhicules	-	-	-
	Fréquentation	Hollandais (40 %), Anglais (25 %), Français (15 %), Allemands (15 %)	Français (> 90 %)	Hollandais, Belges, Allemands, Français, Anglais	Anglais (55 %), Hollandais (30 %), Français (15 %),
Nombre blocs sanitaires		2	2	3	3
Nombre d'emplacements	Mobil home	40	160	40	94
	Traditionnel	160	-	60	157

### 2-2 Méthodologie de l'étude

Les protocoles suivis par le SATESE et le Cemagref sont décrits dans les deux paragraphes ci-après.

### 2-2-1 Suivi SATESE

<i>Lieu</i>	Suivi de 4 campings, dont 2 plus particulièrement (sites 1 et 2).
<i>Suivi hydraulique</i>	Sondes de pression dans les postes de relèvement pour un tarage précis des pompes. Manchon débitmétrique en sortie de station.  Enregistrement du temps de fonctionnement des pompes pour obtenir les débits journaliers, sur un pas de temps de 1 minute.
<i>Evaluation des performances de traitement</i>	Etés : <b>2007</b> : 5 bilans 24 h - <b>2008</b> : 7 bilans 24 h - <b>2009</b> : 8 bilans 24 h  Préleveurs réfrigérés multiflacons. Représentativité : échantillons moyen 24 h reconstitué par rapport au débit ayant transité. Suivi pH et conductivité dans chaque flacon. Stockage et transfert des échantillons en glacières (< 4°C), au laboratoire départemental d'analyses de Périgueux (LDA 24).  Suivi bandelettes ponctuel, chaque semaine, pour comparaison avec ceux réalisés par les gérants de chaque camping.

### 2-2-2 Suivi Cemagref

<i>Lieu</i>	Suivi du site 1 : 2 campagnes de mesures 24 h, été 2009. Suivi du site 2 : uniquement une mesure sur eau brute dans le cadre de la caractérisation des effluents d'entrée de stations de campings.
<i>Suivi hydraulique</i>	Sondes de pression dans chaque poste de relèvement. Manchon débitmétrique en sortie de station.  Suivi des vitesses d'infiltration : sondes ultrasons sur le filtre en alimentation du 1 <sup>er</sup> étage.  Réalisation d'un traçage à la fluorescéine sur le 2 <sup>ème</sup> étage : estimation du comportement hydraulique de l'effluent au travers du massif filtrant.  Suivi de la pluviométrie : pluviomètre portatif.
<i>Evaluation des performances de traitement</i>	Sondes redox (conditions d'oxygénation ou de septicité de l'effluent) entrée station et sortie de chaque étage, en continu (pas de temps de 1 min).  Sondes pH et conductivité en continu et dans chaque flacon prélevé.  Sondes N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> en continu en sortie de chaque étage.  Préleveurs réfrigérés multiflacons : - asservissements sur impulsions : en entrée, à chaque bâchée avec prélèvements dans un seau accolé à la tulipe d'alimentation du filtre du 1 <sup>er</sup> étage et, en sortie 1 <sup>er</sup> étage, à l'aide de pinces ampèremétriques sur pompes, avec prélèvement dans le poste intermédiaire, - asservissement sur le temps : toutes les 6 min en sortie station. Représentativité : échantillon moyen 24 h reconstitué par rapport au débit ayant transité. Stockage et transfert des échantillons en glacières (< 4°C), au laboratoire d'analyses du Cemagref de Lyon (accréditation Cofrac).
<i>Suivi des teneurs en oxygène</i>	Cannes de mesures de gaz et analyseur de gaz <i>Dräger X am 7000</i> , ponctuellement, sur tous les filtres et à deux profondeurs différentes.
<i>Caractérisation des matériaux de filtration</i>	Prélèvement de matériau de la couche de filtration sur chaque étage, pour les sites 1 et 2. Analyses granulométriques au laboratoire du Cemagref : tamisage par voie sèche selon la référence normative NF EN 933-1, sur matériaux lavés.

## 2-3 Rappel de la législation en vigueur pour les campings

L'arrêté du 7 septembre 2009 fixe les prescriptions techniques applicables aux installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j de DBO<sub>5</sub>. Il définit en son article 1 les termes : « installations d'assainissement non collectif » comme toute installation assainissement assurant la collecte, le transport, le traitement et l'évacuation des eaux usées domestiques ou assimilés.... des immeubles ou parties d'immeubles **non raccordés au réseau public** de collecte des eaux usées".

Le cas de l'assainissement des campings dont les réseaux sont entièrement en domaine privé (également lorsqu'il appartient au domaine privé de la collectivité), relève donc de la législation dédiée à l'ANC. Lorsque le camping appartient au domaine public de la collectivité, il relève de la réglementation sur l'assainissement collectif.

Pourtant, les charges journalières de pollution à traiter sont généralement supérieures au seuil des 1.2 kg/j de DBO<sub>5</sub>. C'est pourquoi l'arrêté du 22 juin 2007 relatif à la collecte, au transport et au traitement des eaux usées des agglomérations d'assainissement ainsi qu'à la surveillance de leur fonctionnement et de leur efficacité, et aux dispositifs **d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique supérieure à 1.2 kg/j de DBO<sub>5</sub>** s'applique. Effectivement, il mentionne en article 16 que :

*"Les prescriptions des articles 9 à 15 sont applicables aux dispositifs d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique supérieure à 1,2 kg/j de DBO<sub>5</sub>."*

De ce fait, pour les campings, l'objectif de qualité à atteindre est défini par l'article 14 :

*« Ce traitement doit au minimum permettre d'atteindre les rendements ou la concentration prévus à l'annexe I. Des valeurs plus sévères [...] peuvent être fixées par le préfet si les objectifs de qualité des eaux réceptrices les rendent nécessaires. »"*

Le tableau 1 de l'annexe I de l'arrêté du 22 juin 2007 (Figure 3) fixe des performances minimales des stations d'épuration des agglomérations devant traiter une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 120 kg/j de DBO<sub>5</sub>.

PERFORMANCES MINIMALES DES STATIONS D'ÉPURATION DES AGGLOMÉRATIONS DEVANT TRAITER UNE CHARGE BRUTE DE POLLUTION ORGANIQUE INFÉRIEURE OU ÉGALE À 120 KG/J DE DBO <sub>5</sub> (1)		
Tableau 1		
PARAMÈTRES (*)	CONCENTRATION à ne pas dépasser	RENDEMENT minimum à atteindre
DBO <sub>5</sub>	35 mg/l	60 %
DCO		60 %
MES		50 %
(*) Pour les installations de lagunage, les mesures sont effectuées exclusivement sur la DCO (demande chimique en oxygène) mesurée sur échantillons non filtrés.		
Pour le paramètre DBO <sub>5</sub> , les performances sont respectées soit en rendement, soit en concentration.		

(1) Les dispositifs d'assainissement mettant en œuvre une épuration par infiltration ne sont pas visés par la présente annexe

Figure 3 : Extrait de l'arrêté du 22 juin 2007 : performances minimales des stations d'épuration des agglomérations devant traiter une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 120 kg/j de DBO<sub>5</sub>

Pour les traitements dont le rejet est dirigé vers un milieu récepteur superficiel, les seuils à respecter sont ceux définis par cette annexe I.

Pour les traitements dont le rejet est infiltré, le contexte est moins précis. Effectivement, dans l'article 14, il est mentionné :

*"Dans le cas où l'élimination des eaux usées traitées requiert l'installation d'un bassin d'infiltration vers les eaux souterraines, l'appareillage de contrôle est installé à l'amont hydraulique du dispositif d'infiltration."*

Pour autant, il est mentionné par un nota (1) dans le titre de la présente annexe I qu'elle ne s'applique pas aux cas *d'épuration par infiltration*. Ces deux mentions peuvent paraître contradictoires mais laissent une possibilité aux services de la police des eaux d'une adaptation à différents contextes.

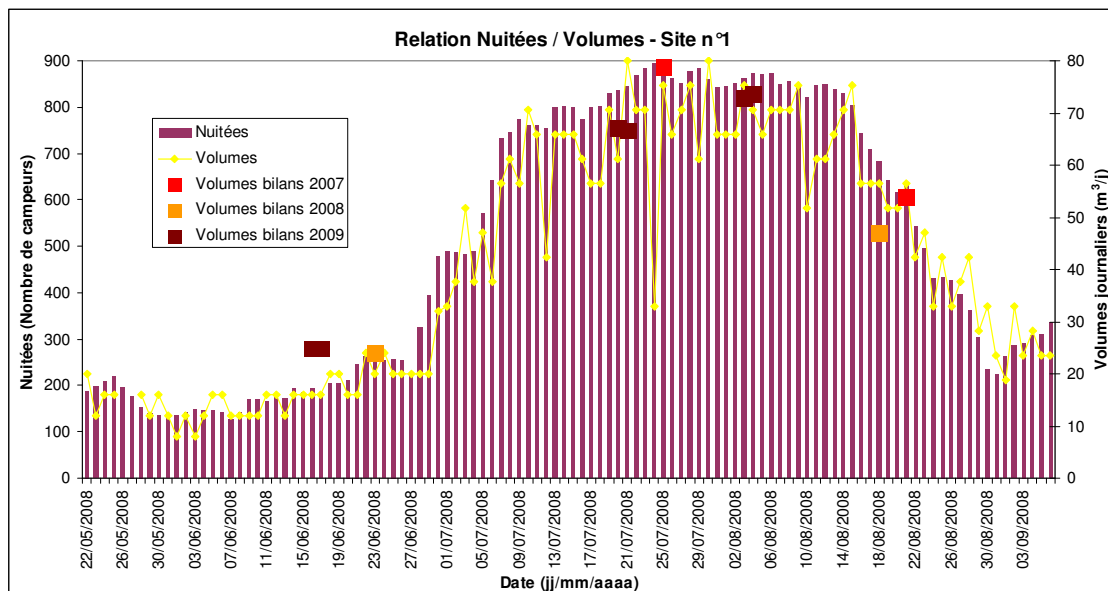
## 3 EAU USEE PRODUITE PAR LES CAMPEURS

L'activité camping est très saisonnière. Une meilleure connaissance de l'émission de la pollution à traiter constitue un élément déterminant permettant de définir le dimensionnement approprié des ouvrages.

### 3-1 Volumes d'eaux usées à traiter

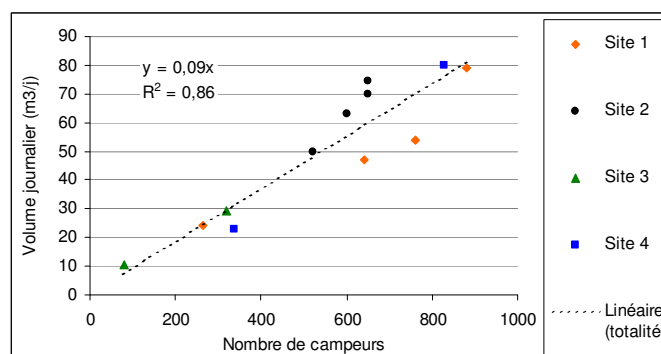
#### 3-1-1 Lien entre la fréquentation et les volumes d'eaux usées

La fréquentation des campings est connue par l'intermédiaire d'un relevé quotidien des personnes s'étant acquittées d'un paiement pour la nuit. Les nuitées et volumes à traiter au cours de la saison 2008 ont été tracés simultanément sur le Graphique 1 afin de percevoir la montée en charge de la station du site 1. Les deux courbes sont d'une évolution très similaire au cours du temps et confirment le lien entre la fréquentation et le volume d'eaux usées à traiter. Le graphique équivalent pour l'année 2009 est disponible en annexe 1. De plus, ces quantités sont répétables d'une année sur l'autre, tels que le confirment les volumes mesurés lors des bilans des années 2007 et 2009, également reportés sur le graphique 1.



Graphique 1: Relation nuitées / volumes – Site 1

Cette analyse, élargie aux 4 sites, confirme la pertinence de ces observations puisqu'il est possible d'élaborer une corrélation entre le nombre de campeurs et le volume d'eaux usées journaliers (Graphique 2).



Graphique 2 : Relation nuitées / volumes journaliers



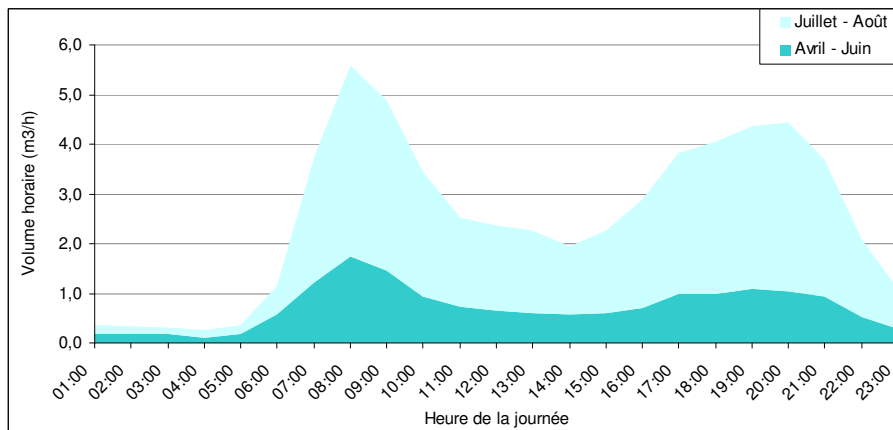
Au regard de ces résultats, on constate :

- une période d'afflux touristique limitée sur une période réduite de 5 à 6 semaines du 10 juillet au 20 août environ ;
- une rapide montée en charge de la fréquentation (donc de la station d'épuration) en début d'été : du 1<sup>er</sup> au 10 juillet, soit en 10 jours, la fréquentation s'accroît d'un facteur 3.5 ;
- pendant la fermeture de l'établissement, du 15 octobre au 1<sup>er</sup> avril, la production d'eaux usées est nulle ou simplement limitée à la famille du propriétaire des lieux.

Ces modalités d'apports, discontinues dans le temps, représentent de fortes contraintes techniques qui doivent être intégrées dans le choix des filières de traitement.

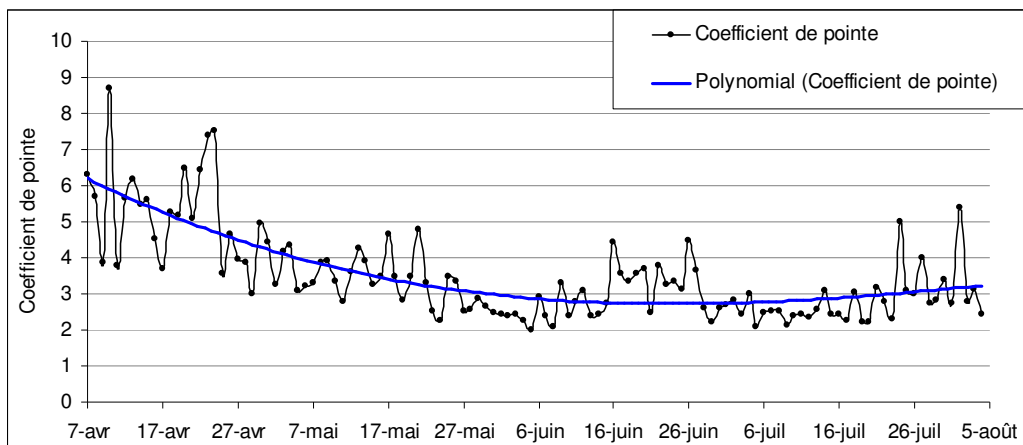
### 3-1-2 Analyse des émissions hydrauliques

La production journalière d'eaux usées a fait l'objet d'une analyse séparée pendant deux périodes : celle de forte fréquentation et celle de faible fréquentation. Dans les 2 cas, on retrouve les pointes du matin (autour de 8 h) et celle du soir (autour de 20 h), correspondant aux douches et petits déjeuners du matin et douches et dîners du soir. La pointe du matin est importante mais de courte durée. La pointe du soir est plus faible mais plus étalée. L'amplitude de variation est nettement moindre en période de faible fréquentation, comme en témoigne le Graphique 3.



Graphique 3 : Evolution horaire de la consommation hydraulique journalière (site 1)

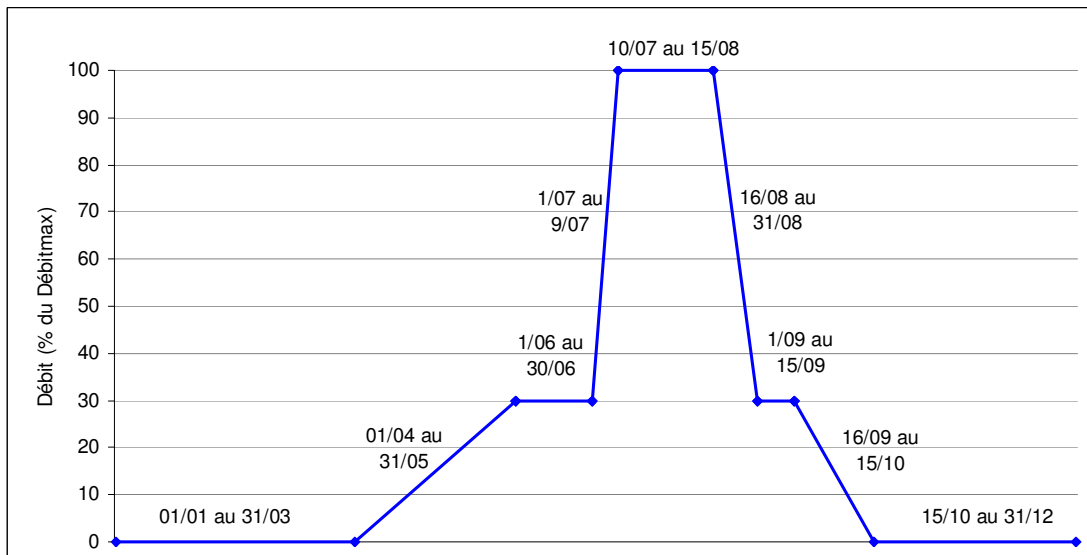
L'analyse du coefficient de pointe, c'est à dire du ratio entre le débit horaire maximum et le débit horaire moyen journalier, permet d'évaluer l'amplitude des variations au cours d'une journée. En cas de réseau court et de petite collectivité, il est généralement considéré comme étant égal à 3 (Ministère de l'Agriculture, 1986). Une étude des coefficients de pointe a également été réalisée sur les données du site 1 pendant la saison 2009 (Graphique 4).



Graphique 4 : Coefficients de pointe journaliers sur la saison 2009 – Site 1

Il est à noter qu'en tout début de saison, du fait du faible débit moyen horaire, les coefficients de pointe obtenus sont parfois très élevés (maximum à presque 9). Ces forts coefficients du début de saison peuvent s'expliquer par des activités ponctuelles de nettoyage générant de grands volumes d'eau par rapport à la consommation globale. Après le 1<sup>er</sup> mois, les coefficients dépassent rarement la valeur de 5 (et ne diminuent pas en dessous de 2). La moyenne de ces coefficients, calculée sur la période de mai à octobre, s'établit effectivement autour de 3, valeur considérée courante.

Les différents éléments mentionnés vis à vis des volumes permettent d'élaborer une courbe d'évolution type des eaux usées à traiter selon le temps (Graphique 5).



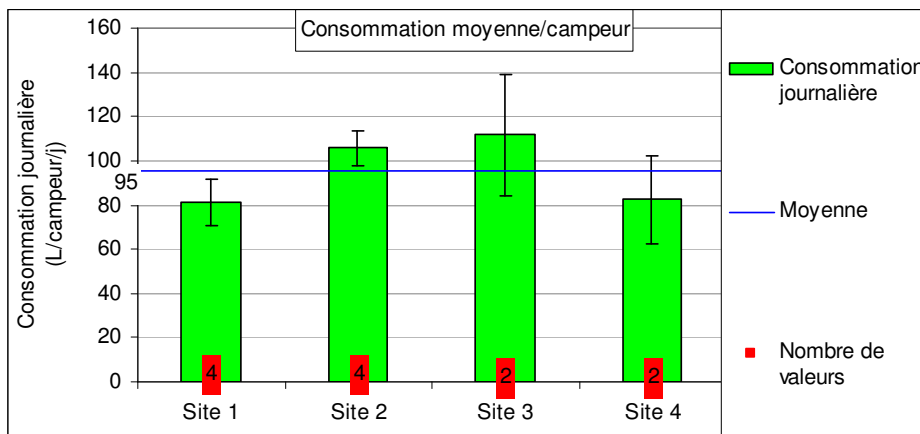
Graphique 5 : Simulation d'évolution des volumes journaliers au cours d'une saison

Le démarrage de la saison s'opère d'avril à fin mai. Après stagnation des débits en juin, ceux-ci montent en flèche (facteur de 3) pour atteindre leur maximum au milieu de l'été. A partir de mi-août, une diminution de ces débits s'observe jusqu'à la fin du mois puis, après stagnation pendant la 1<sup>ère</sup> quinzaine de septembre, ils tendent enfin à devenir nuls vers mi-octobre.

Cette simulation sera utilisée par la suite pour élaborer un bilan de charges sur la saison.

### 3-1-3 Flux hydraulique par campeur

Le Graphique 6 reflète, par campeur, les valeurs calculées à partir des bilans 2007/2009 des consommations journalières moyennes de chacun des sites, ainsi que l'écart-type. Connaissant le volume d'eau entrant sur les stations, il a été assimilé à une consommation d'eau potable non comptabilisée. Dans les pavés rouges sont mentionnés les nombres de valeurs.



Graphique 6 : Charges hydrauliques moyennes par campeur pour les différents campings

On constate des différences d'un site à l'autre, avec un maximum de 140 L/campeur et des moyennes variant de 80 L à 110 L/campeur.

Ces variations s'expliquent principalement par la présence ou l'absence sur site de systèmes d'économie d'eau (Presto® par exemple) pour les sanitaires et les douches. Il est aussi possible que ce ratio soit entaché d'une erreur liée au comptage plus ou moins précis de la population présente. Une sous-estimation de la fréquentation va gonfler la consommation individuelle d'eau et, à l'inverse, une surestimation va la réduire.

Par l'absence de compteurs séparés, il n'est pas possible de mettre à jour l'impact de chacune des activités proposées par les infrastructures présentes sur le camping, telle que la restauration par exemple. De même, le type d'habitat (mobile-homes ou emplacements traditionnels) a probablement un impact qu'il n'a pas été possible de mettre en évidence.

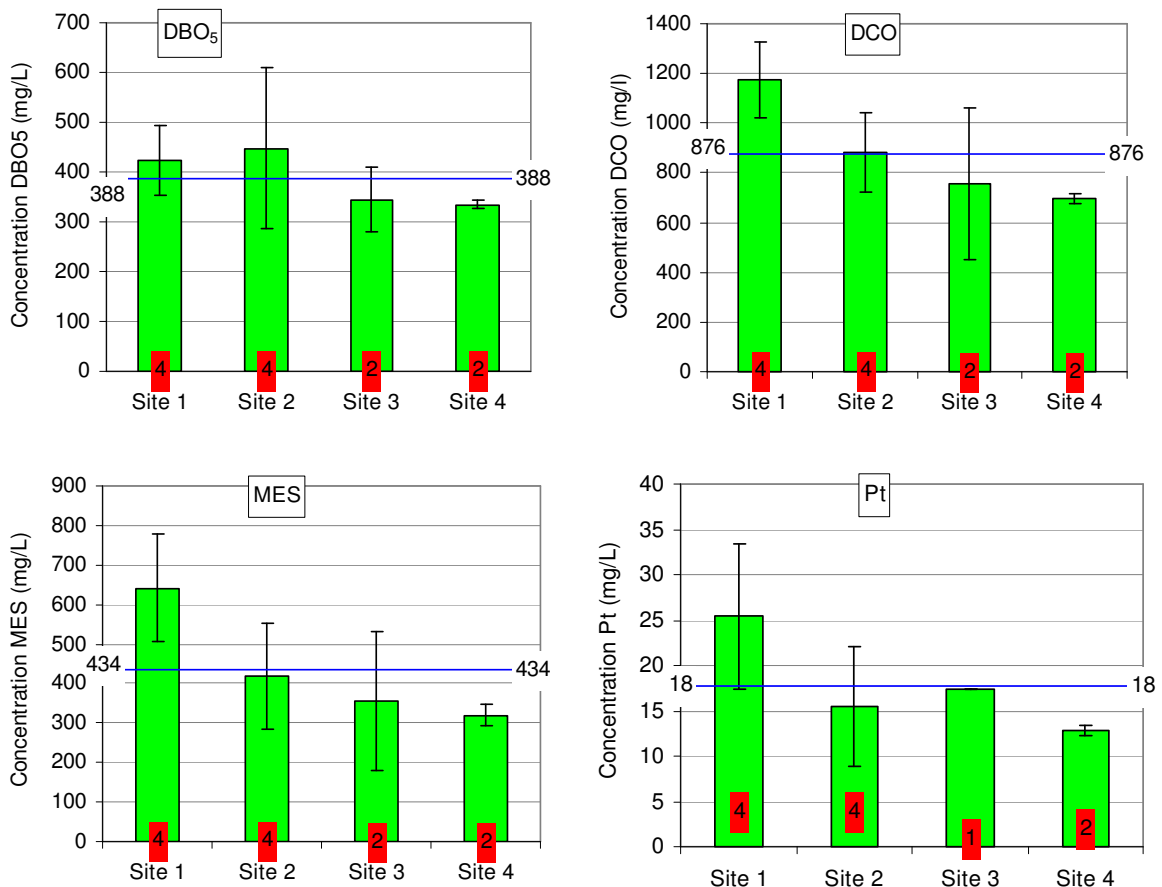
En conclusion, on observe une moyenne journalière de 95 L arrondie à 100 L/campeur. Cette valeur diminuera si des systèmes d'économies d'eau sont installés pour atteindre la valeur de 80 L/campeur à considérer comme un seuil minimum.

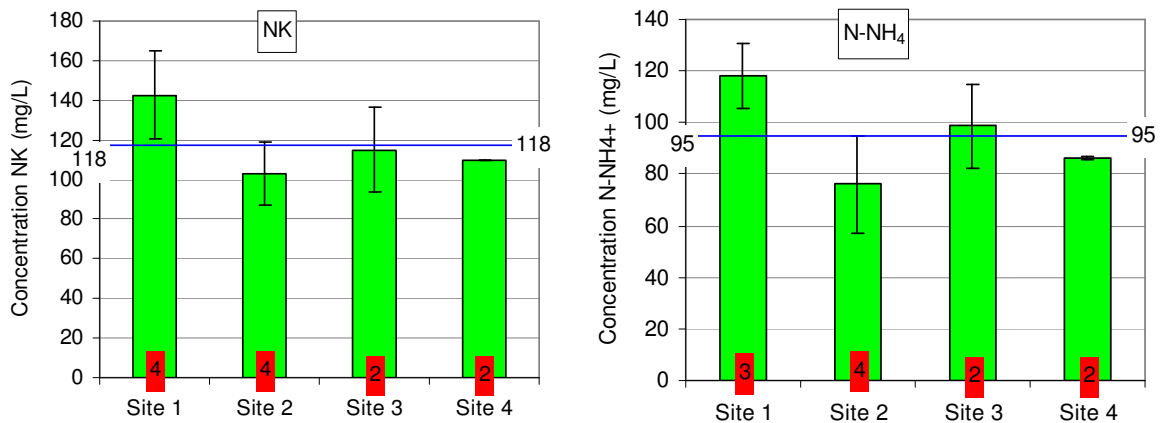
### 3-2 Qualité des eaux usées à traiter

Les valeurs mentionnées au sein de ce chapitre proviennent des résultats analytiques recueillis au cours des 21 bilans 24 h réalisés entre 2007 et 2009 sur les 4 sites étudiés.

#### 3-2-1 Concentrations moyennes observées

Sur le Graphique 7, les valeurs moyennes des paramètres étudiés (DBO<sub>5</sub>, DCO, MES, P<sub>t</sub>, NK et N-NH<sub>4</sub>) sont présentées. Le nombre de valeurs est noté en encadré rouge.





Graphique 7 : Concentrations moyennes des paramètres classiques des eaux usées pour les 4 sites

Les concentrations sont plus ou moins homogènes et présentent des valeurs d'un effluent normalement concentré pour un réseau court, en absence d'introduction d'eaux claires (annexe 2). Les économies d'eau pratiquées sur le camping n°1 expliquent les concentrations plus importantes enregistrées pour la totalité des paramètres (effet de concentration des polluants). Le Tableau 4 récapitule les résultats synthétiques (annexe 3).

Tableau 4 : Qualité des eaux usées brutes

Concentration (mg/L)		DBO <sub>5</sub>	DCO	MES	NK	N-NH <sub>4</sub>	P <sub>t</sub>
<b>Moyenne</b>		<b>366</b>	<b>915</b>	<b>423</b>	<b>121</b>	<b>95</b>	<b>16</b>
Médiane		350	880	380	120	91	14
Maximum	Calcul à partir de	680	1 300	740	170	130	33
Minimum	tous les points	220	529	160	79	51	9
Ecart-type		99	223	169	27	24	6
Nombre de valeurs		23	23	23	23	22	22
<b>Moyenne globale</b>		<b>355</b>	<b>837</b>	<b>387</b>	<b>117</b>	<b>94</b>	<b>16</b>
Médiane globale	Calcul à partir des	345	789	362	113	93	15
Nombre de valeurs	moyennes par site	4	4	4	4	4	4
<b>Moyenne retenue</b>		<b>360</b>	<b>840</b>	<b>390</b>	<b>120</b>	<b>95</b>	<b>16</b>
<b>Valeur classique*</b>		<b>330</b>	<b>800</b>	<b>330</b>	<b>65</b>	<b>-</b>	<b>13</b>

\* : calculs réalisés à partir des données suivantes : V = 150 L/hab/j ; DBO<sub>5</sub> = 50 g/hab/j ; DCO = 120 g/hab/j ; MES = 50 g/hab/j ; NK = 10 g/hab/j et Pt = 2 g/hab/j

Ces données témoignent d'une **eau usée domestique classique** relativement concentrée, caractéristique d'un réseau court, mais **fortement concentrée en azote**. Effectivement, les résultats pour **le paramètre NK présentent des valeurs très élevées, d'environ 120 mg NK/L**, en comparaison avec la concentration usuelle d'environ 65 mg NK/L (annexe 2).

Le Tableau 5 fait apparaître les ratios issus des concentrations précédentes et conformes aux ratios habituellement observés pour des eaux usées urbaines (annexe 4).

Tableau 5 : Ratios pour les eaux brutes

Ratio		DCO/DBO <sub>5</sub>	N-NH <sub>4</sub> /NK	DCO/MES	DBO <sub>5</sub>  NK P <sub>t</sub>		
<b>Moyenne</b>		<b>2,6</b>	<b>0,8</b>	<b>2,4</b>	<b>100</b>	<b>34</b>	<b>4</b>
Médiane		2,5	0,8	2,3	100	35	4
Minimum	Calcul à partir de tous les points	1,6	0,6	1,5	100	16	3
Maximum		4,0	0,9	5,3	100	43	7
Ecart-type		0,5	0,1	0,8	0	6	1
Nombre de valeurs		23	22	23	23	23	22
<b>Moyenne</b>	Calcul à partir des moyennes par site	<b>2,4</b>	<b>0,8</b>	<b>2,3</b>	<b>100</b>	<b>34</b>	<b>4</b>
Médiane		2,4	0,8	2,3	100	33	4
Nombre de valeurs		4	4	4	4	4	4
<b>Valeur classique*</b>		<b>2,4</b>	<b>0,75</b>	<b>2,4</b>	<b>100</b>	<b>20</b>	<b>4</b>

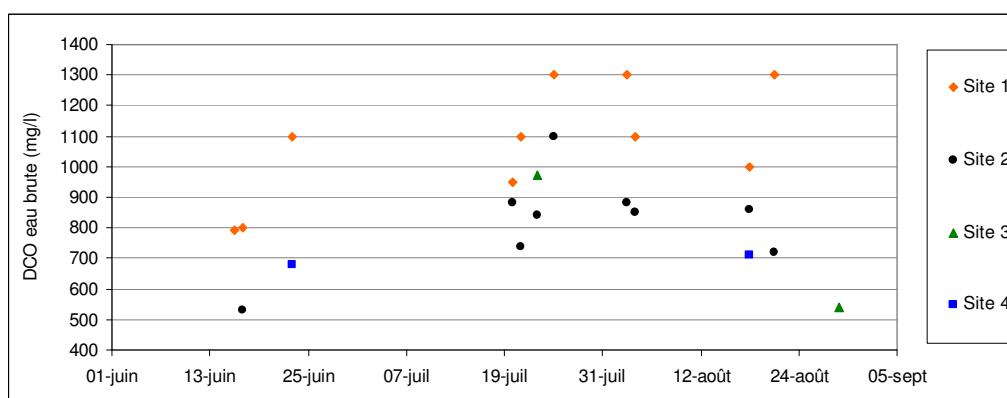
Les ratios DBO<sub>5</sub>/MES obtenus sont légèrement inférieurs aux ratios usuels. Quand aux ratios C/N/P, ils présentent des valeurs un peu élevées pour l'azote, et usuelles pour le phosphore. Le pré-requis de 100/5/1 permettant aux bactéries de se développer dans le cadre d'un traitement biologique (FNDAE 33 (p38), annexe 2) est largement atteint.

Divers suivis de stations d'épurations sur réseaux courts et/ou récents et sur petites stations démontrent également une forte concentration en azote. C'est le cas d'une étude en Indre et Loire (SATESE 37, 2009), qui indique une moyenne de 112 mg NK/L en entrée de petites stations rurales (220 à 800 EH) avec un réseau récent (postérieur à 1998). La concentration semble 30 à 40 % plus forte pour tous les paramètres excepté le phosphore ; la consommation journalière d'eau est de 100 L/hab raccordé environ. Le rejet intrinsèque lié à l'habitant est toujours de 10 à 12 g NK/j, mais la baisse des volumes rejetés induit un phénomène de concentration des polluants.

Toutefois, dans tous ces cas détaillés par les SATESE, les ratios typiques des eaux usées brutes sont conservés (DCO/NK, DCO/MES, etc.), ce qui n'est pas le cas des campings pour le paramètre azote.

### 3-2-2 Evolution sur la saison

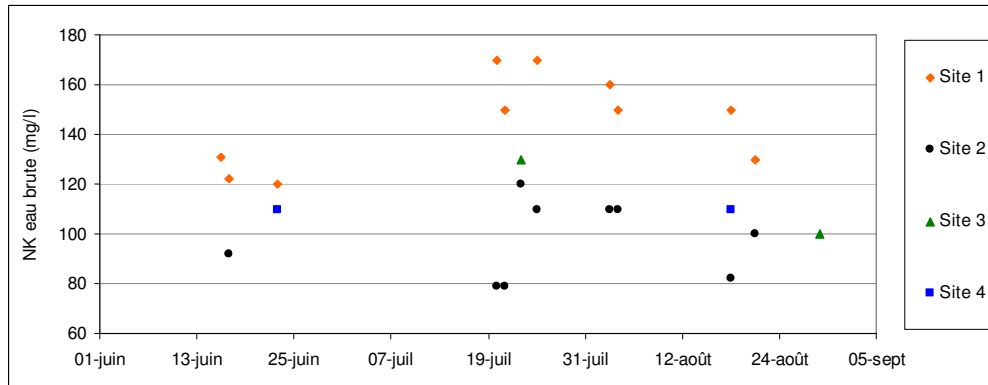
L'évolution de la qualité des eaux usées brutes a été étudiée au cours de la saison, pour les paramètres DCO et NK (Graphique 8).



Graphique 8 : Evolution par site des concentrations en DCO au cours de la saison

Les différences en matière de DCO brute sont notables d'un site à l'autre mais également selon la fréquentation. La plus forte concentration estivale est liée à une plus forte consommation d'eau par les usagers sans pour autant accroître dans la même proportion les usages communs de l'eau pour l'entretien des locaux par exemple. Le dimensionnement se base sur la plus forte charge appliquée et retiendra les concentrations moyennes estivales comme base de raisonnement.

Concernant le NK, des différences nettes d'un site à l'autre apparaissent (Graphique 9), fait imputable à des degrés de dilution plus ou moins forts liés à la consommation d'eau.

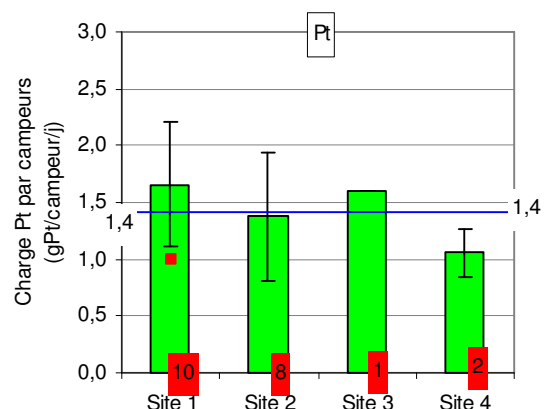
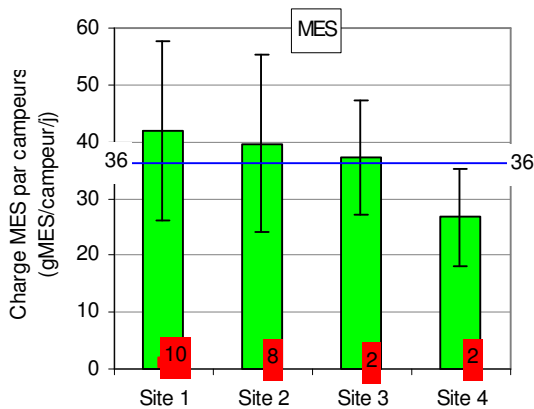
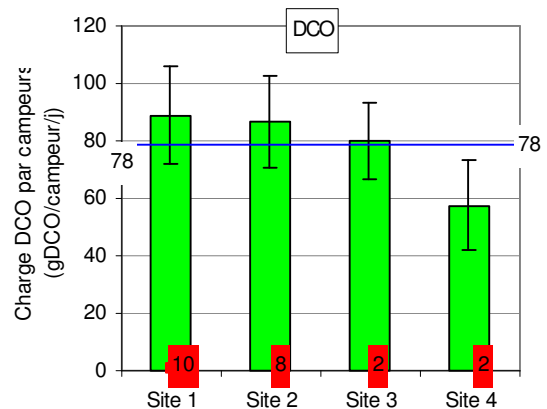
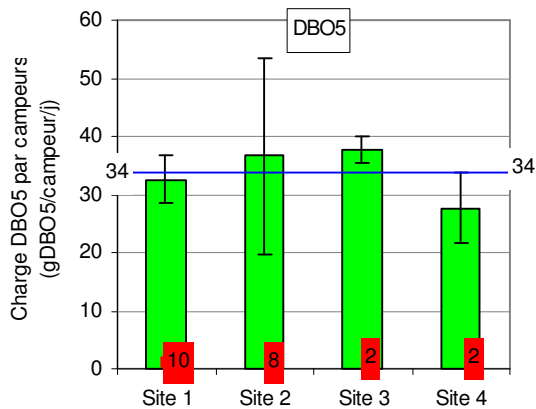


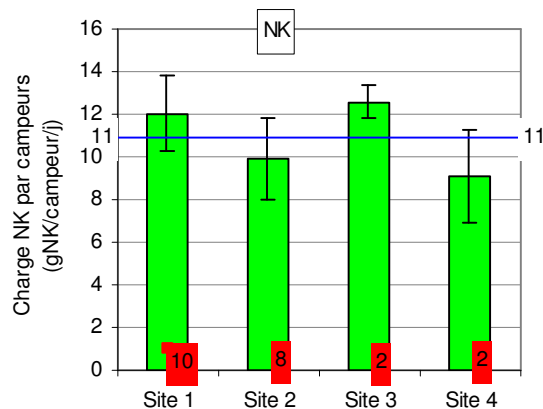
Graphique 9 : Evolution par site des concentrations en NK au cours de la saison

### 3-3 Charges par campeur

#### 3-3-1 Estimation des charges produites par campeur

La totalité des charges polluantes émises par un campeur sont reportées en annexe 5 ; les résultats par site et par paramètres sont illustrés par le Graphique 10.





Graphique 10 : Charges polluantes par campeur et par site pour les paramètres DCO, DBO<sub>5</sub>, MES, P<sub>t</sub> et NK

On note une certaine variation d'un site à l'autre qui s'explique partiellement par la précision de la fréquentation au jour de la mesure. A partir de ces données, il est possible d'établir la quantité de pollution émise par campeur à partir de valeurs moyennes des 4 sites (Tableau 6).

Tableau 6 : Valeur moyenne des charges polluantes émises par campeur, habitant ou EH

Charge polluante en g/j	Charge polluante par campeur	Charge polluante par habitant (Cemagref)	Charge polluante par EH*
DBO <sub>5</sub>	34	50	60
DCO	78	120	-
MES	36	50	-
P <sub>t</sub>	1,4	2	-
NK	11	10	-
Eau consommée	95 L/j	150 L/j	-

\* selon la Directive Européenne (1991)

On retrouve ici une valeur moyenne d'environ 80 g DCO/campeur/j.

Les sites 1 et 2 fournissent des valeurs supérieures à la moyenne. Du fait du plus grand nombre de données sur ces 2 sites, de la fiabilité du comptage de la fréquentation, ces valeurs sont considérées comme plus fiables. C'est pourquoi, en conclusion, on retiendra des valeurs légèrement supérieures aux moyennes énoncées au Tableau 6.

### 3-3-2 Particularité de l'azote

Dans le contexte des campings, l'azote est présent en fortes concentrations ainsi qu'en masse. Pour expliquer ce déséquilibre vis à vis de la matière organique, nous avons recherché s'il existait des sources d'azote plus spécifiquement consommées dans un camping.

#### **\* Sources d'azote possibles**

**Alimentation :** des conservateurs et exhausteurs de goût (nitrates, nitrites) sont particulièrement présents dans les charcuteries. Selon l'IPTS (IPTS, 2004), les quantités moyennes de nitrates dans les charcuteries et salaisons varient généralement de 10 à 30 mg NO<sub>3</sub>/kg, ce qui reste faible dans notre cas.

**Boissons :**

- Bière : moyenne de 24 mg NO<sub>3</sub>/kg selon Schuddeboom (1993) (faible teneur) ;
- Vin : nitrites (négligeable).

*Produits de nettoyage et autres* : les lessives, lingettes et savons ne semblent pas contenir d'azote. La fumée de cigarette et les cosmétiques contiennent des nitrosamines, source d'azote, mais l'apport en N par ce biais est jugé négligeable.

On ne peut donc identifier de sources supplémentaires d'azote induites par l'activité camping.

#### \* Besoins physiologiques en azote

Notons tout d'abord que les protéines constituent l'unique source d'azote de l'organisme. Il s'agit d'acides aminés essentiels au maintien de l'équilibre azoté. L'azote assimilé est rejeté : nous ne l'accumulons pas dans notre organisme.










Les besoins physiologiques de l'être humain sont estimés de 0.75 à 1 g de protéine/kg/j (Campion, 2007 ; Mercier, 2001 ; Tessari, 2007), soit environ 65 g protéines/j pour une personne de 70 kg.

Une protéine renfermant 16 % d'azote (Roudaut et Lefrancq, 2005), un humain ingère donc 10 à 11 g N/j. Ceci concorde avec les besoins physiologiques de 12.3 g N/pers/j selon Calloway *et al.* (1971), le taux d'excrétion physiologique d'environ 10 à 15 mg N/habitant/j cité par Verbanck *et al.* (1994) ou encore la quantité usuellement observée lors de bilans 24 h sur stations d'épuration (10 à 12 g N/hab/j).

La valeur moyenne de 11 g NK/campeur/j est donc conforme aux besoins physiologiques.

Le Tableau 7 fournit la composition des différentes sources de pollution des eaux usées domestiques. L'azote provient essentiellement de l'urine, puis dans une moindre mesure des fèces. Par contre, fèces et urines n'expliquent que 60 % de la matière organique exprimée par la DCO.

Tableau 7 : Composition des eaux usées (selon EcoSan.org, cité par R. Otterpohl)

	Eaux ménagères	Urines	Fèces
N	 3 %	 87 %	 10 %
P	 10 %	 50 %	 40 %
DCO	 41 %	 12 %	 47 %

En conclusion, l'activité « camping » génère moins d'eaux ménagères (moins de vaisselles et de préparation de repas), ce qui contribue à fournir une eau usée moins chargée en matières organiques.

Les eaux usées sont normalement concentrées, avec une dominante d'eaux vannes qui expliquent les fortes concentrations en azote. En camping, les vaisselles et les préparations de repas sont moindres ce qui conduit à une production modérée de matière organique exprimée par la DCO, DBO et MES.

**La pollution journalière émise par un campeur est évaluée à :**

- 100 L d'eau, 80 L au moins si du matériel permettant des économies est installé
- 90 g de DCO
- 35 g de DBO<sub>5</sub>
- 40 g de MES
- 11 g de NK
- 1.4 g de P<sub>i</sub>



## 4 FILTRES PLANTES DE ROSEAUX ETUDIÉS

### 4-1 Description technique des STEU par Filtres Plantés de Roseaux

Le site 1 a fait l'objet de l'analyse la plus poussée. C'est donc ce site qui est majoritairement décrit. Des mentions spéciales peuvent décrire les autres sites.

#### 4-1-1 Organisation de la station : site 1

Cette station est dimensionnée pour une charge polluante nominale émise correspondant à 675 EH. Les effluents sont livrés par refoulement sur la station. Celle-ci a été réalisée en tenant compte des recommandations techniques du document élaboré par le groupe « Macrophytes et traitement des eaux » (Groupe Macrophytes et traitement des eaux, 2005).

La STEU est dimensionnée en comprenant les ratios de pollutions et de flux suivants :

- Débit journalier : 150 L/j/EH soit 101 m<sup>3</sup>/j ;
- DBO<sub>5</sub> : 60 g/j/EH soit 40.5 kg DBO<sub>5</sub>/j ;
- DCO : 120 g/j/EH soit 81 kg DCO/j.

Le rejet s'effectue par infiltration dans un réseau d'épandage souterrain existant et préalablement utilisé dans l'ancienne filière d'assainissement. L'objectif de qualité porte sur le point de rejet de la station, c'est à dire sans inclure l'infiltration. Pour autant, le rejet en sous-sol est vivement souhaité par les services de la Police de l'eau.

La filière est de conception traditionnelle : **2 étages successifs à écoulement vertical.**

#### 4-1-2 Description de la filière

Les effluents bruts sont collectés par un poste de relevage situé au cœur du camping qui les renvoie vers la station de traitement.

Les mécanismes d'épuration sont la filtration et la dégradation par des micro-organismes aérobies fixés sur le média filtrant. Les effluents sont, en premier lieu, filtrés par une couche superficielle constituée de boues en partie minéralisées et de gravillons. Dans cette couche, la **rhizosphère** (région du sol sujette à l'influence des racines des plantes et caractérisée par une **activité biologique intense**) est très développée et participe majoritairement au traitement biologique (DCO, N). Les rhizomes des roseaux maintiennent la perméabilité du système.

La filière est décomposée de la manière suivante :

#### × Pré-traitement

L'effluent brut arrive dans le poste de refoulement intermédiaire et est prétraité au travers d'un panier de dégrillage (entrefer 4 cm). Les pompes utilisées sont des pompes dilacératrices.

#### × Alimentation séquentielle du premier étage

Les effluents dégrillés sont stockés dans l'ouvrage de chasse (Ø = 3m). Cet ouvrage est équipé d'un siphon mobile à clapet (Ø = 200 mm) et permet donc d'alimenter les filtres par bâchées. Le diamètre important permet une vidange rapide. Le volume doit être suffisant pour l'obtention d'une lame d'eau suffisante pour répartir efficacement les effluents à la surface des filtres. Un compteur de bâchées permet de suivre le fonctionnement de la station d'épuration et la charge hydraulique appliquée.

#### × 1<sup>er</sup> étage

Le 1<sup>er</sup> étage est composé de 3 lits fonctionnant en alternance. Cette alternance est effectuée manuellement tous les 3 à 4 jours par un système de vannes.

L'étanchéité est assurée par une géomembrane sur la totalité de l'étage.

### × 2<sup>ème</sup> étage

De même que pour le 1<sup>er</sup> étage, les effluents sont stockés dans un poste de relevage ( $\varnothing = 1.60$  m) pouvant alimenter le second étage par bâchées grâce à 2 pompes fonctionnant alternativement.

Comme le premier étage, l'alternance des 3 filtres est effectuée manuellement tous les 3 à 4 jours.

La répartition des effluents est assurée par une rampe de distribution percée disposée directement sur la surface du filtre. Cet étage ne comporte pas d'étanchéité, permettant une infiltration partielle des effluents. Seule une partie du fond du bassin est étanchée par une géomembrane permettant de recueillir une partie des effluents pour analyse du rejet.

### × Description de chaque étage (Tableau 8)

Tableau 8 : Composition de chaque étage du site 1

	1 <sup>er</sup> étage		2 <sup>ème</sup> étage		Référence dim. classique
<b>Surface unitaire</b>	10.0 x 15.8 = 158 m <sup>2</sup>		8.0 x 11.2 m = 90 m <sup>2</sup>		-
<b>Surface totale</b>	3 x 158 m <sup>2</sup> = 474 m <sup>2</sup>		3 x 90 m <sup>2</sup> = 270 m <sup>2</sup>		-
<b>Composition du substrat</b>			sable 0/8	0.30 m	Groupe Macrophytes (2005)
	gravillons 4/8	0.40 m	gravillons 4/8	0.15 m	
	gravier 8/16	0.20 m	gravier 8/16	0.15 m	
	galets 20/40	0.20 m	galets 20/40	0.15 m	
			gravillons 4/8	0.05 m	
<b>Densité des drains de drainage</b>	0.26 m/m <sup>2</sup>		0.27 m/m <sup>2</sup>		> 0.4 m/m <sup>2</sup> suggérée dans Boutin <i>et al.</i> (2007) à titre d'exemple

La densité de drains de drainage (représentant les drains d'aération) semble insuffisante.

### 4-1-3 Comparatif des dimensionnements des sites

Le tableau 9 décrit les emprises de chaque étage de chacun des 4 sites. Leur emprise totale varie de 650 et 1 050 m<sup>2</sup>.

Tableau 9 : Surfaces comparée des 4 sites étudiés

	1 <sup>er</sup> étage			2 <sup>ème</sup> étage			Emprise
	surface (m <sup>2</sup> )	nb de filtres	S tot (m <sup>2</sup> )	surface (m <sup>2</sup> )	nb de filtres	S tot (m <sup>2</sup> )	S totale
Site 1	158	3	474	90	3	270	744
Site 2	152	3	456	65	3	195	651
Site 3	151	3	453	151	2	302	755
Site 4	204	3	612	144	3	432	1 044

Afin de comparer les dimensionnements entre eux, on utilise les données fournies par les constructeurs, exprimées en EH. On utilise également le critère de la fréquentation maximale, en campeurs (Tableau 10).

Tableau 10 : Dimensionnement de chaque étage vs. EH et vs. campeur

Dimensionnement en m <sup>2</sup> /EH (dossier constructeur)				
	Nombre d'EH	1 <sup>er</sup> étage	2 <sup>ème</sup> étage	Total
Site 1	675	0.70	0.40	1.1
Site 2	650	0.70	0.30	1.0
Site 3	365	1.26	0.84	2.1
Site 4	650	0.94	0.66	1.6

Dimensionnement en m <sup>2</sup> /campeur				
	Nombre max de campeurs	1 <sup>er</sup> étage	2 <sup>ème</sup> étage	Total
Site 1	900	0.53	0.30	0.83
Site 2	800	0.57	0.24	0.81
Site 3	375	1.21	0.81	2.02
Site 4	1 000	0.61	0.43	1.04

Les sites 1 et 2 présentent un grand nombre de points communs :

- même constructeur,
- même année de mise en service (2007),
- mêmes granulométries (annexe 6).

C'est pourquoi les dimensionnements des sites 1 et 2 sont si proches.

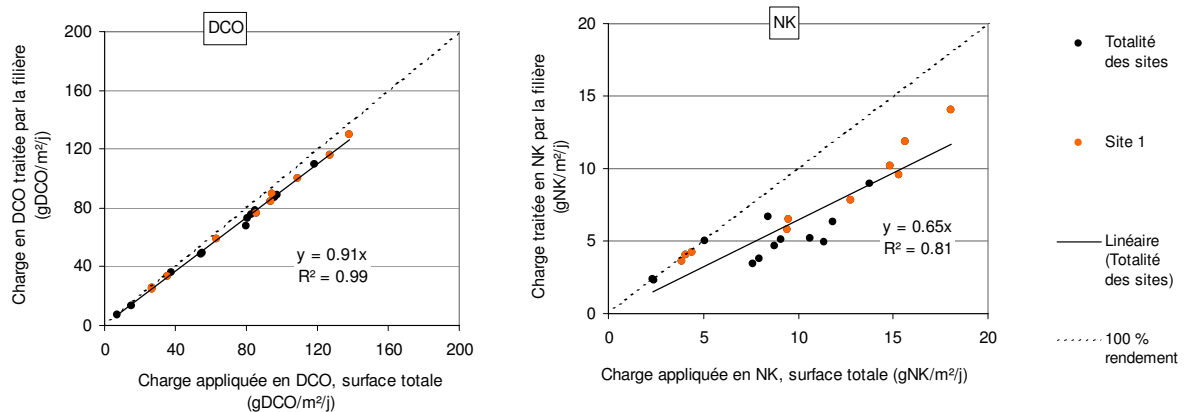
Par contre, vis à vis des autres sites, on constate des différences importantes, quelle que soit le repère retenu : EH ou campeurs. Le site 3 est très largement dimensionné par rapport aux autres : les fortes exigences par rapport au milieu récepteur y étaient plus fortes, c'est pourquoi l'emprise au sol est importante.

Par rapport au critère « campeur », les variations entre sites sont aussi très marquées et correspondent à des estimations variables de la pollution émise par un campeur. Ce point fera l'objet d'une analyse détaillée ultérieurement.

## 4-2 Fonctionnement des 4 installations de traitement

Pour comparer les résultats issus de ces 4 sites, on utilise la charge journalière surfacique appliquée comme unité commune. Selon les paramètres étudiés, cette base s'exprimera en g DCO/m<sup>2</sup>/j, g NK/m<sup>2</sup>/j ou bien en m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/j (correspondant à une hauteur de lame d'eau en m/j).

Le Graphique 11 présente, pour les paramètres DCO et NK, la charge journalière traitée par la filière globale en fonction de la charge journalière appliquée à la surface totale de traitement (c'est à dire la totalité des deux étages de traitement). Le site 1, présentant le plus grand nombre de résultats, est différencié des autres sites.



Graphique 11 : Efficacité globale de la filière de traitement sur les paramètres DCO et NK

En se basant sur une émission de pollution de 120 g DCO/j par habitant, la valeur classique de charge appliquée en DCO sur la surface globale d'une filière classique dimensionnée à 2 m<sup>2</sup> est de 60 g/m<sup>2</sup>/j. Le Graphique 11 montre que les taux de charge appliquée sont très élevés. Malgré cela, le traitement sur la DCO est très bien réalisé sur la filière avec des rendements de **91 %**, et ce, quelle que soit la charge appliquée. **Le traitement de la DCO est stable et satisfaisant pour des charges près de 2.5 fois supérieures.** Ce résultat est valable pour tous les sites.

En se basant sur une émission de pollution de 10 g NK/j par habitant, la valeur classique de charge appliquée en NK sur la surface globale d'une filière classique dimensionnée à 2 m<sup>2</sup> est de 5 g/m<sup>2</sup>/j. Le Graphique 11 montre que les taux de charge appliquée sont également très élevés et atteignent des valeurs de 3.5 fois supérieures aux valeurs classiques. La droite de régression montre un **rendement global de 65 % pour le paramètre NK, même pour des charges appliquées 3.5 fois supérieures** à la valeur seuil de 5 g NK/m<sup>2</sup>/j. Le coefficient de régression reste assez élevé, mais on peut confirmer le seuil de charge établi à 5 g NK/m<sup>2</sup>/j : en dessous de cette valeur, les rendements sont très proches de 100 % et confirment une nitrification complète. Au delà, le traitement sur le paramètre NK faiblit nettement. Les résultats montrent donc une certaine hétérogénéité, et il semble de plus que les performances du site 1 soient supérieures aux autres.

## 4-3 Rejet

### 4-3-1 Qualité moyenne de haute saison

Le rejet a été caractérisé lors des 21 bilans 24 h effectués de 2007 à 2009. Les paramètres explicités s'expriment en termes de concentrations et rendements. Pour chaque paramètre, les minimums, maximums, moyennes, médianes, écarts-type et nombres de valeurs sont calculés sur toutes les valeurs de concentrations et de rendements. La totalité des éléments est fournie en annexe 7.

Le Tableau 11 résume la situation obtenue en période de forte sollicitation, c'est à dire à partir des 17 bilans de très haute saison.

Tableau 11 : Qualité du rejet en haute saison - Concentrations et rendements

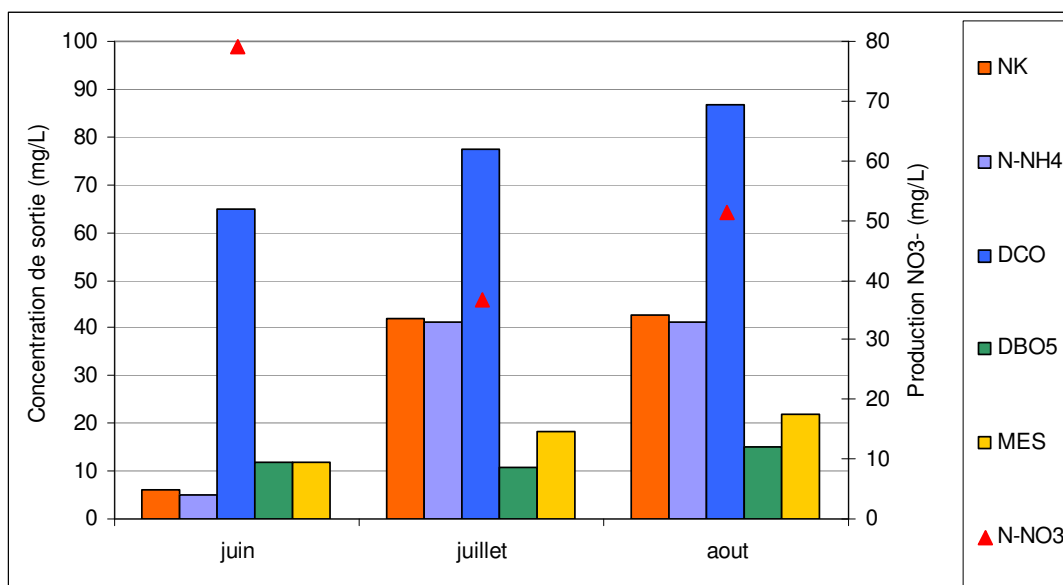
	Qualité en mg/L							Rendement en %					
	DBO <sub>5</sub>	DCO	MES	NK	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	Pt	DBO <sub>5</sub>	DCO	MES	NK	N-NH <sub>4</sub>	Pt
<b>Moyenne</b>	<b>13</b>	<b>84</b>	<b>20</b>	<b>44</b>	<b>43</b>	<b>41</b>	<b>13</b>	<b>96</b>	<b>91</b>	<b>95</b>	<b>62</b>	<b>52</b>	<b>25</b>
Médiane	11	80	19	47	47	30	11	97	91	95	62	52	25
Minimum	6	43	9	7	7	8	7	93	86	83	43	20	0
Maximum	25	120	43	64	63	110	26	99	96	99	95	94	60
Ecart-type	6	21	9	14	14	30	5	2	2	3	14	19	18
n valeurs	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	16

On constate une qualité du rejet globalement bonne pendant le pic saisonnier. Ce rejet est très satisfaisant sur les paramètres de pollution carbonée (DBO<sub>5</sub> et DCO) et particulaire (MES). De faibles à très faibles concentrations associées à de forts rendements (> 90 %) avec une faible dispersion sont observés pour ces 3 paramètres.

Concernant l'azote, les résultats indicateurs de la nitrification sont un peu plus parsemés et il conviendra de faire le lien avec les taux de charges appliquées. La moyenne des rendements sur le paramètre NK atteint tout de même 60 %. Le rejet moyen reste pourtant encore concentré sur ce paramètre (44 mg NK/L) du fait de la concentration initiale des eaux brutes. On remarque également, dans tous les cas, l'absence d'azote organique dans le rejet. La production de nitrates, variable entre 8 et 110 mg N-NO<sub>3</sub>/L atteint une valeur moyenne de 40 mg N-NO<sub>3</sub>/L.

#### 4-3-2 Evolution de la qualité de l'eau traitée dans le temps

Le Graphique 12 reflète l'évolution de la qualité du rejet dans le temps, au cours de la saison touristique et sur la totalité des 4 sites.



Graphique 12 : Qualité du rejet selon les périodes – Totalité des sites

Dès le mois de juin, alors que la station est en nette sous-charge, la qualité du rejet émis est excellente. Nous étudierons ultérieurement plus en détail les conditions de démarrage de l'ouvrage.

Quelles que soient les périodes, la filière montre de bons résultats équivalents, excepté sur l'azote.

On note une tendance à l'accroissement des concentrations résiduelles en MES, DCO et DBO<sub>5</sub> dans le temps, mais sans pour autant nuire significativement à la qualité du rejet qui reste excellente : MES ≈ 20 mg/L, DCO ≤ 90 mg/L et DBO<sub>5</sub> ≤ 20 mg/L.

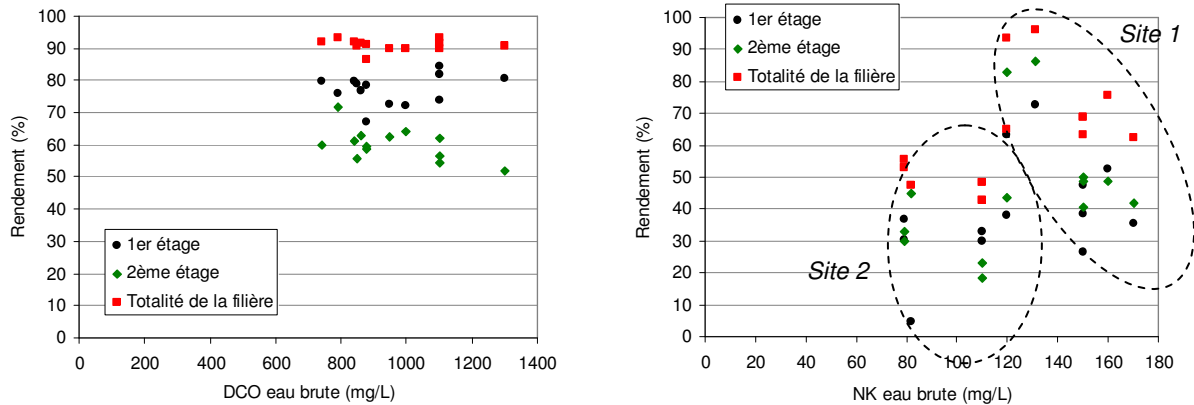
L'azote semble plus difficile à traiter durant la période juillet/août. L'azote organique est systématiquement dégradé en ammonium (NH<sub>4</sub>). La concentration en ammonium s'accroît sensiblement entre juin et juillet. Une forte production de nitrates est à noter lors des bilans de juin ; en juillet, la production est moindre ; en août, la situation s'améliore, peut-être à la suite d'une adaptation partielle à la montée en charge estivale par :

- une augmentation du temps de séjour du fait de la constitution de la couche de boue ralentissant les vitesses de passage de l'effluent,
- et une augmentation des bactéries nitrifiantes dans le média filtrant.

Les qualités sont donc variables au cours de la saison et il convient de faire le lien avec les charges appliquées et d'identifier si le taux de charge est un facteur explicatif suffisant (ou si d'autres paramètres influencent ces résultats).

### 4-3-3 Impact de la qualité des eaux sur le rendement obtenu

Le Graphique 13 représente les performances de chaque étage en fonction de la qualité de l'eau à traiter.



Graphique 13 : Relation concentration-rendement en DCO et NK – Sites 1 et 2

Sans surprise, les liens de dépendance entre la concentration d'origine et le rendement sont très différents selon le paramètre DCO ou azote réduit :

- Les concentrations d'entrée en DCO ne semblent pas avoir d'impact sur le rendement obtenu au sein de la filière.
- Les rendements observés sur le NK sont très hétérogènes et compris dans une fourchette large : entre 40 et 75 %, les forts rendements ayant été observés pour des bilans hors période de forte fréquentation. Il est cependant notable que le site 2 se distingue du site 1 avec des rendements globaux nettement inférieurs pour la quasi-totalité des bilans effectués.

Nous verrons par la suite des éléments explicatifs de cette différence qui conduiront dans la conclusion à supprimer les points du site 2.

Même si globalement le rejet répond en moyenne à la qualité attendue, il convient d'analyser plus en détail le fonctionnement de chaque étage de traitement.

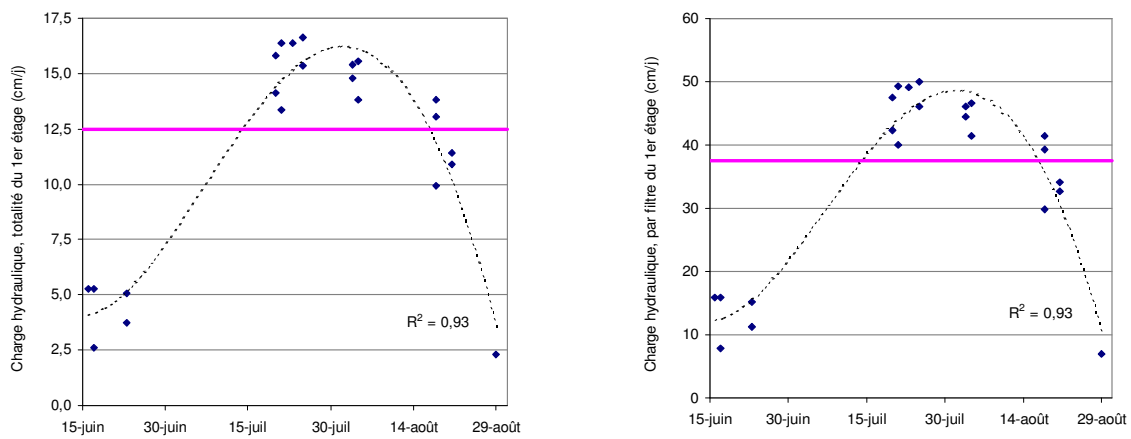
## 5 DISCUSSION

### 5-1 Fonctionnement du 1<sup>er</sup> étage

#### 5-1-1 Charges hydrauliques

Le graphique suivant représente les charges hydrauliques appliquées sur le 1<sup>er</sup> étage selon la date des bilans effectués. Les charges hydrauliques sont rapportées :

- soit à la surface totale du premier étage et la valeur de référence (12.5 cm/j) est mentionnée ;
- soit à la surface unitaire du filtre en fonctionnement et la valeur de référence (37 cm/j) est mentionnée.

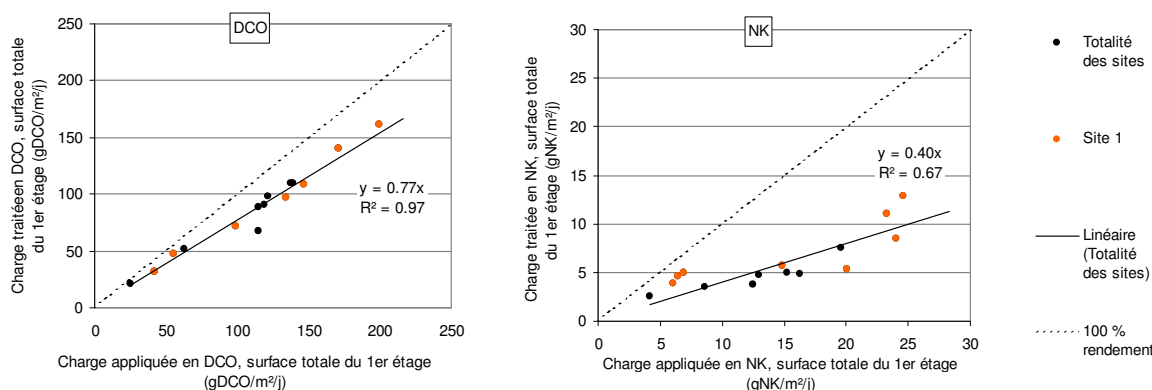


Graphique 14 : Evolution de la charge hydraulique au 1<sup>er</sup> étage – Totalité des sites

De mi-juillet à mi-août, les charges hydrauliques sont supérieures à 12.5 cm/j, valeur conventionnelle pour un apport de 150 L/j/habitant sur un filtre du 1<sup>er</sup> étage dimensionné à 1.2 m<sup>2</sup>/hab. Ces charges maximales enregistrées (17 cm/j) dépassent donc de 40 % la charge hydraulique classique.

#### 5-1-2 Traitement de la DCO et du NK

Les charges appliquées sont importantes et atteignent 200 g DCO/m<sup>2</sup>/j (Graphique 15). Le traitement des matières carbonées s'effectue très bien dès le premier étage : le rendement sur la **DCO** est satisfaisant, de l'ordre de **77 %**, quelle que soit la charge surfacique appliquée sur cet étage. La charge organique conventionnelle pour un dimensionnement traditionnel du 1<sup>er</sup> étage à 1.2 m<sup>2</sup>/hab et pour un habitant rejetant 120 g DCO/j est de 100 g DCO/m<sup>2</sup>/j. Même lorsque la **charge appliquée est 2 fois supérieure aux conditions classiques**, on observe une absence de dégradation des rendements, et ce quel que soit le camping. On note également la fiabilité de ce rendement, fiabilité évaluée à l'aide du coefficient de corrélation dont la valeur est très proche de 1.



Graphique 15 : Efficacité du 1<sup>er</sup> étage de traitement en DCO et NK – Totalité des sites

La nitrification est évaluée à partir de l'abattement de la charge en NK. La valeur seuil calculée pour un habitant rejetant 10 g NK/j et pour un dimensionnement classique du 1<sup>er</sup> étage à 1.2 m<sup>2</sup>/hab est de 8.3 g NK/m<sup>2</sup>/j. Les charges appliquées en NK sont importantes et atteignent 25 g/m<sup>2</sup>/j. **Les charges appliquées sont jusqu'à 3 fois supérieures** à la valeur classique. Les résultats obtenus montrent une forte hétérogénéité et le rendement moyen obtenu est de 40 % : au-delà de la valeur seuil, les rendements chutent sensiblement et ne dépassent que rarement **50 %**, à l'exception du site 1 pour lesquels les rendements sont plus satisfaisants.

### 5-1-3 Performances durant la période de forte fréquentation

Le Tableau 12 présente les rendements obtenus au regard des conditions de fonctionnement durant la période de très forte fréquentation de juillet/août.

Tableau 12 : Charges, concentrations et rendements du 1<sup>er</sup> étage - Sites 1 et 2

	Charges hydrauliques (cm/j)	Charges organiques (g/m <sup>2</sup> /j)			Rdt 1 <sup>er</sup> étage (%)		Nbre de valeurs
		DCO	NK	DGO	DCO	NK	
Site 1	13.8	159	21	257	<b>78</b>	<b>40</b>	7
Site 2	14.7	124	14	190	<b>75</b>	<b>29</b>	8
Valeur classique ou observations Cemagref	12.5	100	8	138	<b>82 ± 3</b>	<b>60 ± 6</b>	-

DGO (Demande Globale en Oxygène) : quantifie le besoin complet en oxygène pour dégrader la DCO et oxyder l'azote  
 DGO= DCO + 4.57\*NK

Les 2 sites sont en nette surcharge sur la période de forte fréquentation (Tableau 13).

Tableau 13 : Taux de charges hydrauliques, organiques et azotées, 1<sup>er</sup> étage - Sites 1 et 2

	Hydraulique	Organique	Azote
Site 1	110 %	160 %	250 %
Site 2	120 %	125 %	170 %

Les rendements sur le paramètre DCO sont très proches des valeurs classiques observées. Par contre, et sans surprise, les surcharges appliquées en NK conduisent à un rendement limité et inférieur d'au moins 20 points de la valeur classique.

Les lames d'eau journalières moyennes sont équivalentes pour les 2 sites et proches des valeurs classiques. Il y a 30 % de DCO appliquée en plus sur le 1<sup>er</sup> étage du site 1 que sur celui du site 2, et 50 % de plus pour le NK. Cela implique des valeurs de demande globale en oxygène bien plus importante pour le 1<sup>er</sup> site.



Le site 2 devrait fournir un meilleur traitement puisqu'il reçoit des charges moindres. Il est contradictoire que ce soit le site 1 qui réalise un bien meilleur traitement sur l'azote. Ce résultat est une conséquence de la moindre equi-répartition décrite ci-après.

#### 5-1-4 Vitesses d'apport et lame d'eau

A l'aide des débits de vidange des organes de bâchées, des volumes d'effluents vidangés et des surfaces des filtres de chaque étage, il est possible de calculer les vitesses d'apport de l'effluent et la lame d'eau sur le filtre alimenté. Le Tableau 14 compare ces résultats aux valeurs recommandées par le Cadre Guide (Boutin *et al.*, 2007) pour un fonctionnement optimal.

Tableau 14 : Vitesses d'apport et lames d'eau par bâchée sur les étages - Sites 1 et 2

	1 <sup>er</sup> étage		2 <sup>ème</sup> étage	
	vitesse d'apport (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h)	lame d'eau (cm/bâchée)	vitesse d'apport (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h)	lame d'eau (cm/bâchée)
Site 1	0.8	2.7	0.5	1.0
Site 2	0.2	2.5	0.4	2.6
Recommandations CCTP	> 0.5	2 à 5	> 0.5	2 à 5

Pour le site 1, les vitesses d'apport sont suffisantes et conformes aux prescriptions sur les 2 étages de traitement. Ces vitesses paraissent faibles pour le **site 2**, tout particulièrement au **1<sup>er</sup> étage**.

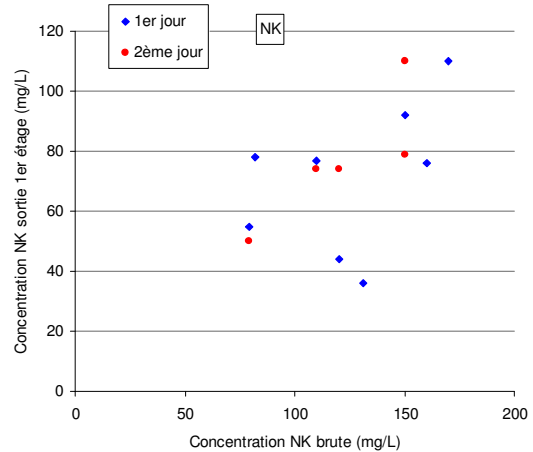
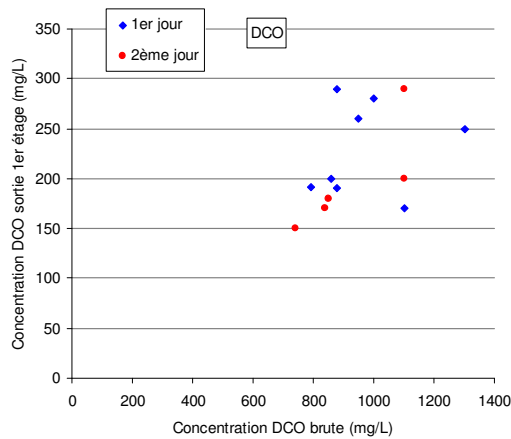
Cette situation est d'autant plus dommageable qu'il a été constaté, pendant la période hivernale, une très forte minéralisation du dépôt de surface. Au début de chaque saison estivale, l'ouvrage est comme en phase de « démarrage », c'est à dire que le matériau est comme neuf : si les vitesses d'apport sont réduites, la répartition de l'effluent ne se fera pas immédiatement sur la totalité du filtre et ne permettra pas de générer une couche de boues uniformément répartie conduisant à une réduction des temps de passage.

Au site n°2, au moment de l'arrivée de la forte charge, le premier étage ne dispose pas d'une couche de boues uniformément répartie permettant d'accroître les temps de séjour. De ce fait, la répartition va rester très hétérogène avec des zones de fortes charges et des zones non sollicitées. Dans ces conditions, ceci explique les résultats médiocres du site 2.

En ce qui concerne les hauteurs de lames d'eau par bâchée, les valeurs trouvées pour les 2 sites suivent les recommandations, hormis le 2<sup>ème</sup> étage du site 1. En effet, cette lame d'eau est faible : 1 cm par bâchée. Pourtant, si l'on observe les résultats de traitement de l'étage de ce site qui sont très bons, ce paramètre ne semble pas avoir d'impact négatif, bien au contraire. Cette recommandation, au deuxième étage pourrait être revue à la baisse si les conditions de mise en œuvre de l'équi-répartition le permettent.

#### 5-1-5 Qualité du rejet et lien avec les cycles d'alimentation

Le Graphique 16 représente l'évolution des qualités de l'eau en sortie du 1<sup>er</sup> étage du 22 juin au 7 août 2009 selon le jour d'alimentation du filtre.



Graphique 16 : Influence du jour d'alimentation sur le traitement DCO et NK au 1<sup>er</sup> étage – Sites 1 et 2

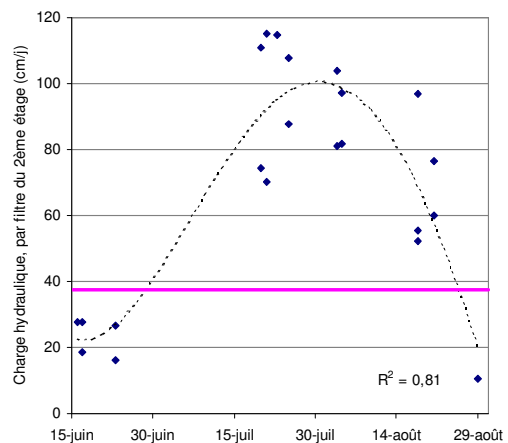
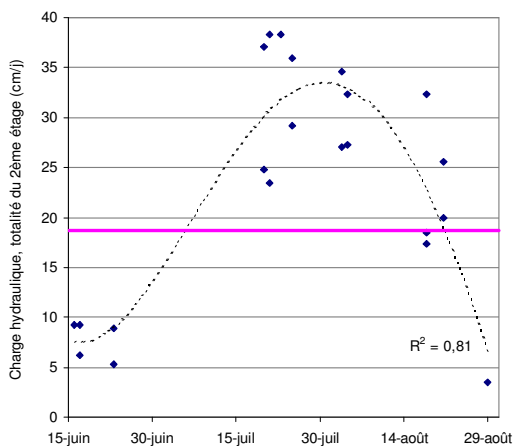
Pour le paramètre DCO, les qualités varient de 150 à 300 mg/L. Pour l'azote, l'amplitude de variation est encore plus forte et les valeurs sont comprises entre 40 et 110 mg/L. Les valeurs de concentrations sont tellement éparpillées, surtout concernant le NK, qu'elles ne permettent pas de conclure vis à vis d'un éventuel impact des cycles d'alimentation sur la qualité du rejet de ce 1<sup>er</sup> étage. Les concentrations de sortie du 1<sup>er</sup> étage pour chaque site sont présentées en annexe 8.

## 5-2 Fonctionnement du 2<sup>ème</sup> étage

### 5-2-1 Charges hydrauliques

L'évolution des charges hydrauliques appliquées au 2<sup>ème</sup> étage durant la saison est présentée par le Graphique 17. Les charges sont rapportées :

- soit à la surface totale du second étage et la valeur de référence (18.8 cm/j) est mentionnée. Elle est définie pour un apport de 150 L/j/habitant sur un 2<sup>ème</sup> étage dimensionné à 0,8 m<sup>2</sup>/hab.
- soit à la surface unitaire du filtre en fonctionnement et la valeur de référence (37.6 cm/j) est mentionnée. Elle est définie pour un apport de 150 L/j/habitant sur un des 2 filtres du 2<sup>ème</sup> étage dimensionné à 0.4 m<sup>2</sup>/hab.

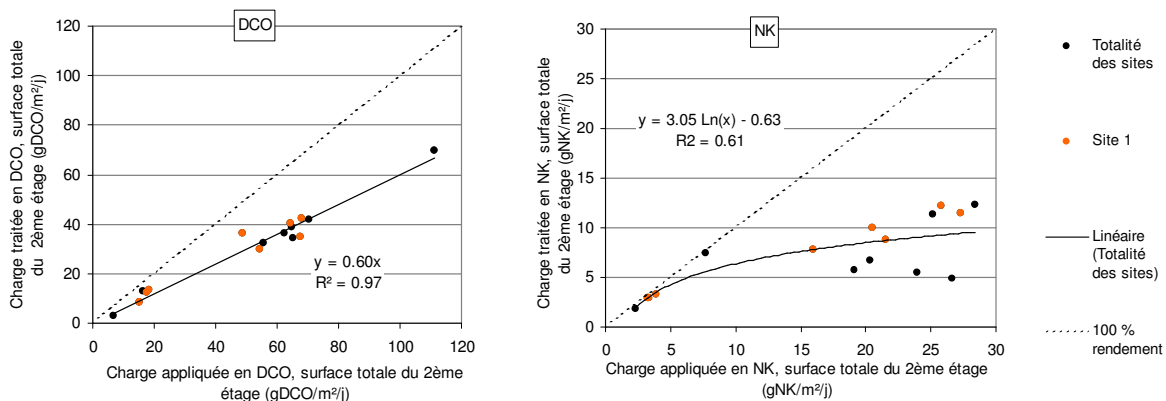


Graphique 17 : Evolution de la charge hydraulique au 2<sup>ème</sup> étage – Totalité des sites

On met ainsi en évidence la montée en charge estivale, avec des surcharges hydrauliques journalières durant 2 mois. Ces charges maximales enregistrées (près de 40 cm) dépassent de plus de 100 % la lame d'eau journalière classique. De plus, **la surcharge hydraulique sur un filtre du 2<sup>ème</sup> étage est plus importante que sur ceux du 1<sup>er</sup> étage**. Cela s'explique par le nombre de filtres. Dans notre cas, le 2<sup>ème</sup> étage est constitué de 3 filtres indépendants (au lieu des 2 unités préconisées). Ainsi, cette conception conduit à solliciter davantage les filtres en fonctionnement d'un facteur de 50 % par rapport à une filière composée de 2 lits au 2<sup>ème</sup> étage. Ceci pourrait expliquer les moindres performances des filtres de cet étage dont la charge hydraulique atteint près de 300 % des charges dites classiques.

### 5-2-2 Traitement de la DCO et du NK

Le rendement moyen en **DCO** est de **60 %** (Graphique 18) et constitue un résultat classique. Cette valeur reste indépendante de la forte surcharge surfacique appliquée pendant la période estivale.



Graphique 18 : Efficacité du 2<sup>ème</sup> étage de traitement en DCO et NK – Totalité des sites

L'élimination de l'azote Kjeldhal n'est pas une fonction linéaire de la charge appliquée et ce résultat reste classique. Si on considère un 2<sup>ème</sup> étage dimensionné à 0.8 m<sup>2</sup>/hab et un rendement du 1<sup>er</sup> étage estimé à 55 % en NK, le seuil conventionnel de la charge surfacique est 5.6 g NK/m<sup>2</sup>/j. Ici, les charges appliquées en NK sont très nettement supérieures à 10 g NK/m<sup>2</sup>/j ; ces surcharges sont des éléments explicatifs du niveau de traitement limité, sans oublier la surcharge hydraulique qui aggrave la situation. Notons que le site 1 présente encore des résultats systématiquement améliorés.

### 5-2-3 Performances durant la période de forte fréquentation

Le Tableau 14 présente les rendements obtenus au regard des conditions de fonctionnement durant la période de très forte fréquentation de juillet/août.

Tableau 14 : Charges, concentrations et rendements du 2<sup>ème</sup> étage - Sites 1 et 2

	Charges hydrauliques (cm/j)	Charges organiques (g/m <sup>2</sup> /j)			Rdt 2 <sup>ème</sup> étage (%)		Nbre de valeurs
		DCO	NK	DGO	DCO	NK	
Site 1	24.2	61	22	162	<b>61</b>	<b>45</b>	5
Site 2	34.3	72	24	181	<b>59</b>	<b>32</b>	6
Valeur classique ou observations Cemagref	18.8	30	5.3	54	<b>60 ± 8</b>	<b>78 ± 7</b>	-

DGO (Demande Globale en Oxygène) : quantifie le besoin complet en oxygène pour dégrader la DCO et oxyder l'Azote  
 DGO= DCO + 4.57\*NK

Les rendements sur le paramètre DCO sont très proches des valeurs classiques observées. Par contre, et sans surprise, les surcharges appliquées en NK conduisent à un rendement limité et inférieur d'au moins 35 points de la valeur classique. Les 2<sup>èmes</sup> étages des 2 sites sont en nette surcharge (Tableau 15) sur la période de forte fréquentation.

Tableau 15 : Taux de charges hydrauliques, organiques et azotées, 2<sup>ème</sup> étage – Sites 1 et 2

	Hydraulique	Organique	Azote
Site 1	130 %	200 %	400 %
Site 2	180 %	140 %	450 %

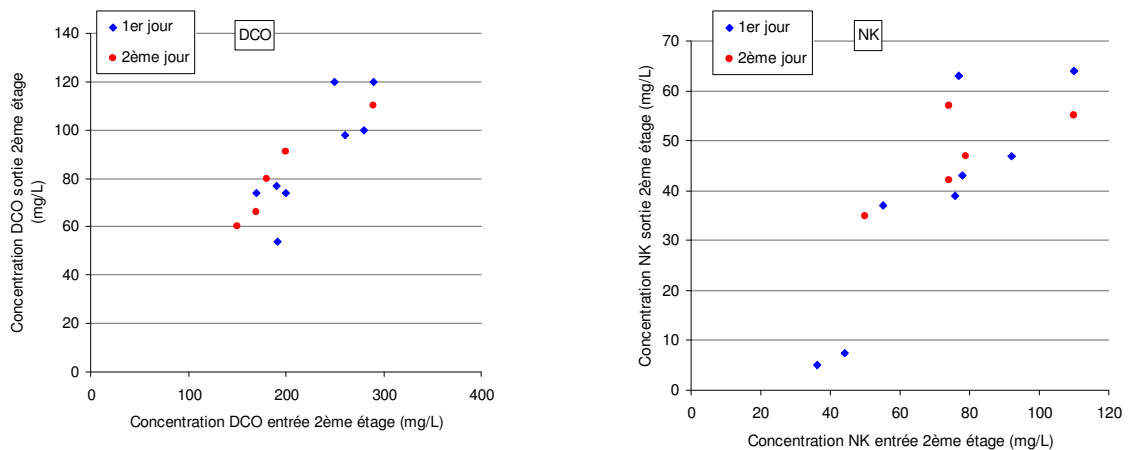
Les lames d'eau journalières moyennes sont, contrairement au 1<sup>er</sup> étage, très différentes du site 1 au site 2, ce dernier recevant une charge hydraulique plutôt conséquente.

Il y a 40 % de DCO appliquée en plus sur le 2<sup>ème</sup> étage du site 1 que sur celui du site 2. Cette différence de charges n'a pas d'impact sur les rendements.

Pour le NK, on peut considérer des niveaux de charges équivalents pour des rendements légèrement différents. Notons que le rendement le plus faible au site 2 est obtenu pour la plus forte sollicitation hydraulique.

#### 5-2-4 Qualité du rejet et lien avec les cycles d'alimentation

Le Graphique 19 représente l'évolution de la qualité en sortie du 2<sup>ème</sup> étage du 22 juin au 7 août 2009 selon le jour d'alimentation du filtre.



Graphique 19 : Influence du jour d'alimentation sur le traitement DCO et NK au 2<sup>ème</sup> étage – Sites 1 et 2

Comme pour le 1<sup>er</sup> étage, les cycles d'alimentation n'ont pas d'impact sur la **DCO** qui ne dépassent jamais **120 mg/L**. Il en est de même pour l'azote, les résultats étant aussi fortement dispersés.

En période de fortes fréquentations, **une concentration inférieure à 35 mg NK/L en sortie est très difficile à obtenir** du fait des **charges appliquées extrêmement fortes**.

## 5-3 Analyse détaillée

### 5-3-1 Mesures d'oxygène

Le suivi des teneurs en  $O_2$  s'est effectué sur les filtres alimentés du site 1 de chaque étage grâce à des cannes de mesure spécifiques. Elles ont été implantées aux différentes profondeurs (Figure 4). Les mesures d' $O_2$  par électrochimie ont été réalisées avec un analyseur de gaz *Dräger X am 7000*.

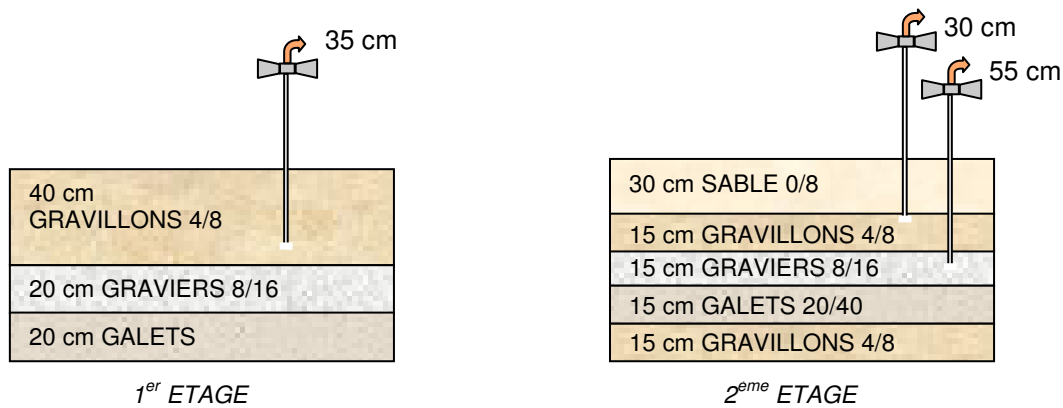


Figure 4 : Coupe des filtres et emplacement des cannes de mesures de gaz

Les résultats obtenus pour chaque période suivie sont représentés aux Figures 5 et 6, sachant que la teneur en oxygène à l'équilibre ( $O_2$  atmosphérique) est d'environ 21 %.

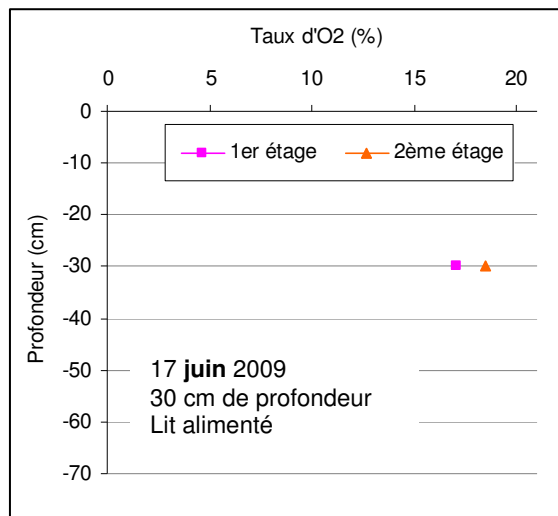


Figure 5 : Teneurs en  $O_2$  avant la saison touristique

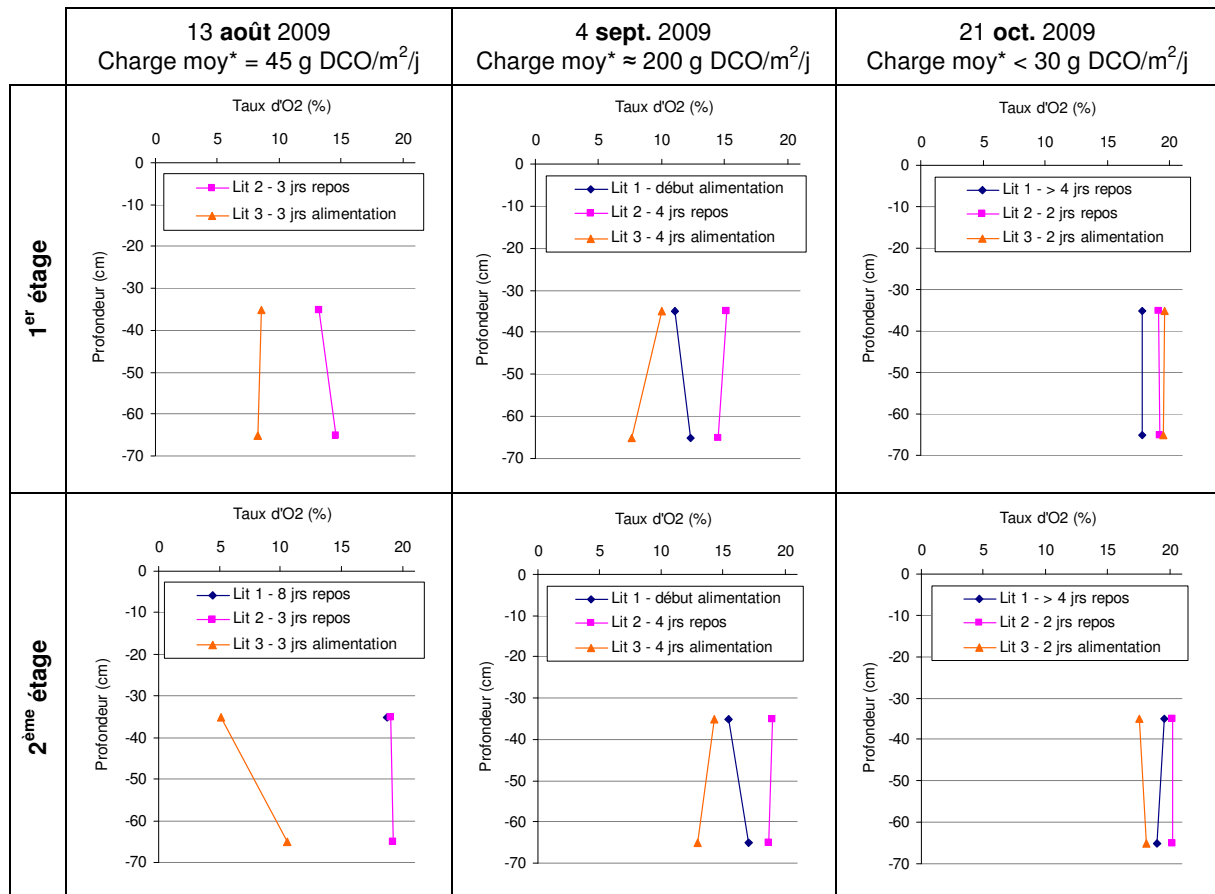
Lors des bilans de mi-juin (Figure 5), les mesures ont été réalisées à plusieurs endroits du filtre ainsi que plusieurs fois après l'envoi d'une bâchée. Les résultats de l'évolution des teneurs en oxygène au sein des filtres du 1<sup>er</sup> et du 2<sup>ème</sup> étage sont disponibles en annexe 9. Au 1<sup>er</sup> étage, une canne de mesure a été implantée à 35 cm de profondeur. Les teneurs en  $O_2$  sont toujours supérieures à 15 % et témoignent de **bonnes conditions d'oxygénation** favorables au traitement de la DCO et à la nitrification.

Les teneurs du 2<sup>ème</sup> étage sont toujours largement supérieures à 15 % et sont donc **très adaptées à l'objectif principal de la nitrification**.

Pendant la très haute saison, en août (Figure 6), il est à noter une **légère difficulté de ré-oxygénation** du 1<sup>er</sup> étage quelle que soit la profondeur, le filtre au repos atteignant difficilement les 15 % d' $O_2$ .

Pour les filtres du 2<sup>ème</sup> étage, le taux d'oxygène du filtre alimenté est à peine supérieur à 10 % à 35 cm. Ce taux augmente avec la profondeur car il existe une aération par les drains du fond et que la consommation d'O<sub>2</sub> liée à la dégradation de la DCO et la nitrification se situe majoritairement dans la partie supérieure du filtre.

Les filtres au repos depuis 3 et 8 jours montrent une **bonne ré-oxygénation**. Même si au 3<sup>ème</sup> jour de repos le taux d'O<sub>2</sub> est remonté à près de 20 %, il semble toutefois nécessaire de laisser quelques jours de repos de plus, comme le conseille le Cadre Guide CCTP (2007) pour un fonctionnement optimal. Cette considération vaut aussi pour le 1<sup>er</sup> étage, compte tenu des très fortes charges de pollution appliquées.



\* Charge déversée sur la totalité de l'étage

Figure 6 : Teneur en O<sub>2</sub> au cours de la saison touristique

Juste près la très haute saison, début septembre, comme lors des mesures en pleine saison, une **légère difficulté de ré-oxygénation** des lits du 1<sup>er</sup> étage est à constater car, même après 4 jours de repos, le teneur peine à dépasser les 15 % d'O<sub>2</sub>. Le pré-requis indiquant que la période de repos du 1<sup>er</sup> étage doit être supérieur ou égal à deux fois la période d'alimentation est confirmé ici.

Quant aux lits du 2<sup>ème</sup> étage, ils sont **bien oxygénés**. Le lit au repos depuis 3 jours retrouve une teneur qui atteint presque les 20 % d'O<sub>2</sub> et le lit qui n'est plus alimenté depuis quelques heures a déjà retrouvé des valeurs d'oxygène supérieures à 15 %. Ceci montre qu'il est possible de faire des cycles d'alimentation plus courts ou bien de scinder le 2<sup>ème</sup> étage à 2 lits au lieu des 3 initiaux. Les charges hydrauliques, organiques et azotées appliquées à cet étage seraient alors moins importantes en phase de fonctionnement.

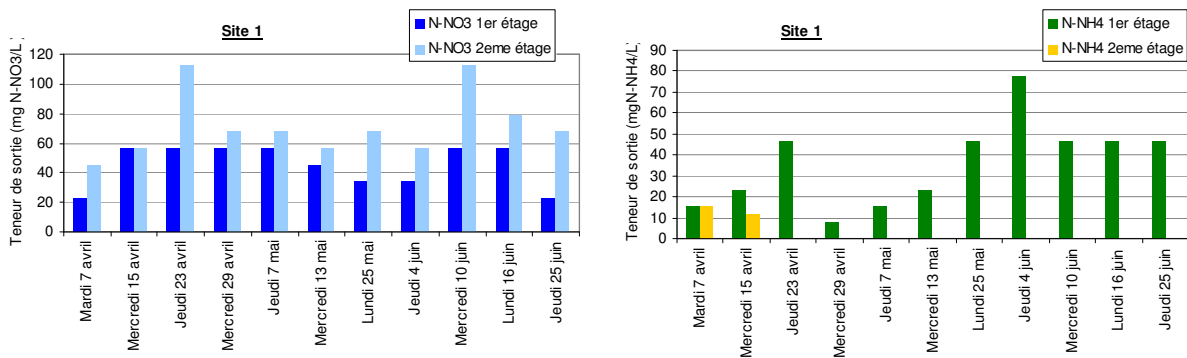
A la fin de la saison, à la mi-octobre, quelles que soient les phases d'alimentation et de repos, et quelque soit l'étage considéré, les **conditions d'oxygénation sont très bonnes**, toujours supérieures à 17 % d'O<sub>2</sub>.

### 5-3-2 Fonctionnement en période de démarrage

Au printemps 2009, des observations hebdomadaires ont été conduites en vue de disposer d'un minimum d'éléments permettant de définir les conditions initiales de fonctionnement. Les paramètres  $\text{NH}_4$  et en  $\text{NO}_3$  ont été analysés en sortie des 2 étages des sites 1 et 2 à l'aide de bandelettes ammonium ou nitrates. Ces éléments sont à considérer comme des valeurs indicatrices qui n'ont bien entendu pas la même fiabilité que les résultats d'une analyse chimique d'un prélèvement.

**NOTA** : les prélèvements ont lieu à la sortie du 1<sup>er</sup> étage et la sortie du 2<sup>ème</sup> étage. Les jours de rotations de filtres sont les lundi et jeudi. Le prélèvement ponctuel hebdomadaire a lieu à heure fixe, la rotation peut ne pas avoir encore été effectuée à l'heure de la visite.

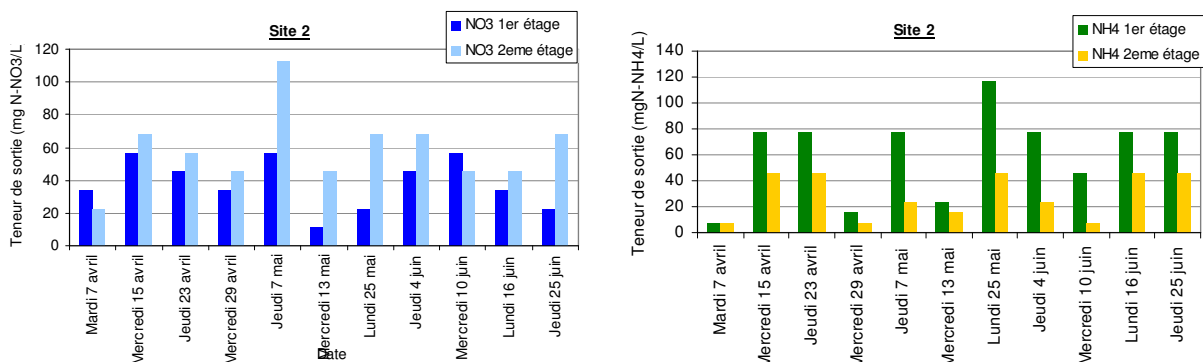
Sur le Graphique 20 apparaît la montée en charge du site 1 depuis avril 2009 en termes de concentrations en  $\text{N-NH}_4$  et en  $\text{N-NO}_3$ . Les résultats, que ce soit pour le premier étage ou le second étage de traitement sont très corrects et montrent que la nitrification s'installe dès le début du mois d'avril. Afin de visualiser toute la période estivale suivie, le lecteur peut se reporter à l'annexe 10 (tests bandelettes effectués par le personnel du camping du site 1).



Graphique 20 : Suivi bandelettes 2009 en  $\text{N-NH}_4$  et  $\text{N-NO}_3$  - Site 1

Le site 2 se comporte différemment du site 1 (Graphique 21) : la nitrification est assez faible pour le 1<sup>er</sup> étage et reste très partielle à l'issue du 2<sup>ème</sup> étage. Ce constat est à rapprocher des difficultés de répartition d'ores et déjà mentionnées au paragraphe 5-1-4. Même en période de faibles charges appliquées, la répartition est importante et permet d'éviter un fonctionnement selon deux sollicitations extrêmes :

- surcharge localisée et manque d'oxygène,
- absence localisée d'usage du massif.



Graphique 21 : Suivi bandelettes 2009 en  $\text{N-NH}_4^+$  et  $\text{N-NO}_3^-$  - Site 2

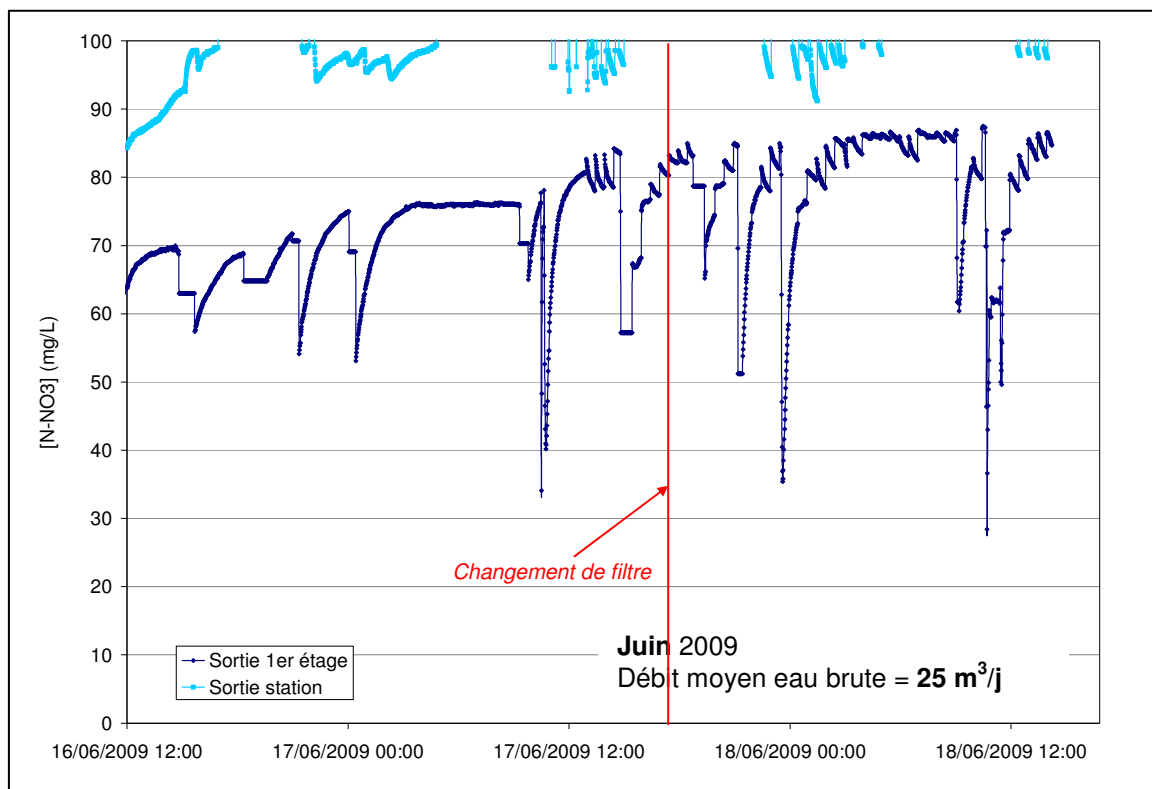
De plus, si le planning des rotations n'a pas été suivi de façon scrupuleuse (ce qui n'a pu être évalué précisément pour le site 2), ce manque de rigueur dans l'entretien est à considérer comme un facteur aggravant vis à vis de la nitrification.

Si les conditions de mise en œuvre et d'exploitation sont réunies, les stations, après plus de 6 mois de repos, redémarrent sans difficulté apparente dont la nitrification a pu être visualisée à l'aide d'outils simplifiés que sont les bandelettes.

### 5-3-3 Production de nitrates N-NO<sub>3</sub>

Des sondes de mesures en continu de nitrates ont été installées en sorties des 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> étages. Les nitrates N-NO<sub>3</sub> produits sont représentatifs de la nitrification existante à chaque période de la saison.

En juin, la nitrification est exceptionnelle (Graphique 22). Le premier étage est, de façon classique, sensible aux apports par bâchée et fournit les concentrations qui peuvent dépasser 80 mg/L. Au deuxième étage, les valeurs dépassent le seuil d'enregistrement de la sonde, c'est à dire 100 mg/L. La nitrification est vraiment complète.

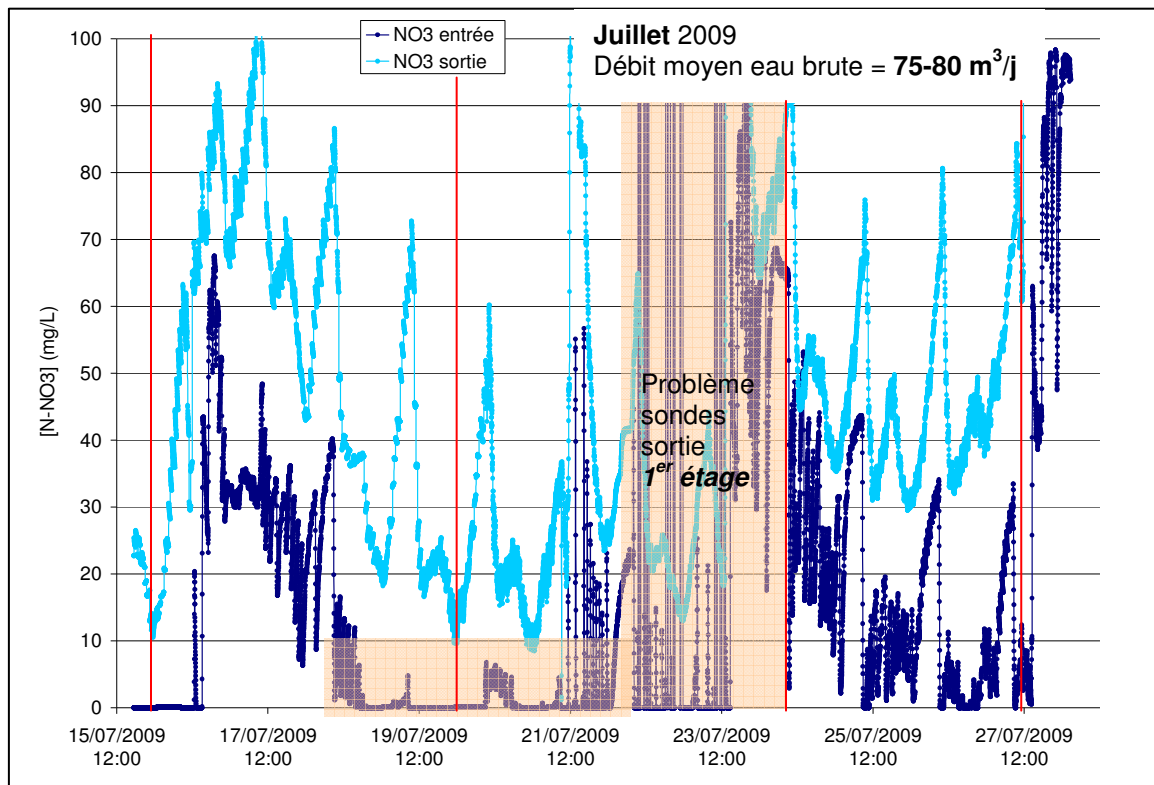


**NOTA** : Le matériel utilisé possédait un seuil d'enregistrement fixé à 100 mg N-NO<sub>3</sub>/L

Graphique 22 : Évolution des nitrates en juin 2009 aux 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> étages – Site 1

Fin juillet (Graphique 23), les profils ont bien changé. En sortie du 1<sup>er</sup> étage, les concentrations en nitrates sont parfois nulles et n'atteignent qu'en début de cycles d'alimentation la valeur de 50 mg/L. Le deuxième étage fournit des résultats variables et très modestes dès le 20 juillet avec des concentrations ponctuelles en nitrates qui chutent jusqu'à 10 mg/L. Ces résultats sont en lien direct avec les fortes charges appliquées et les difficultés d'oxygénation mentionnées au paragraphe précédent.

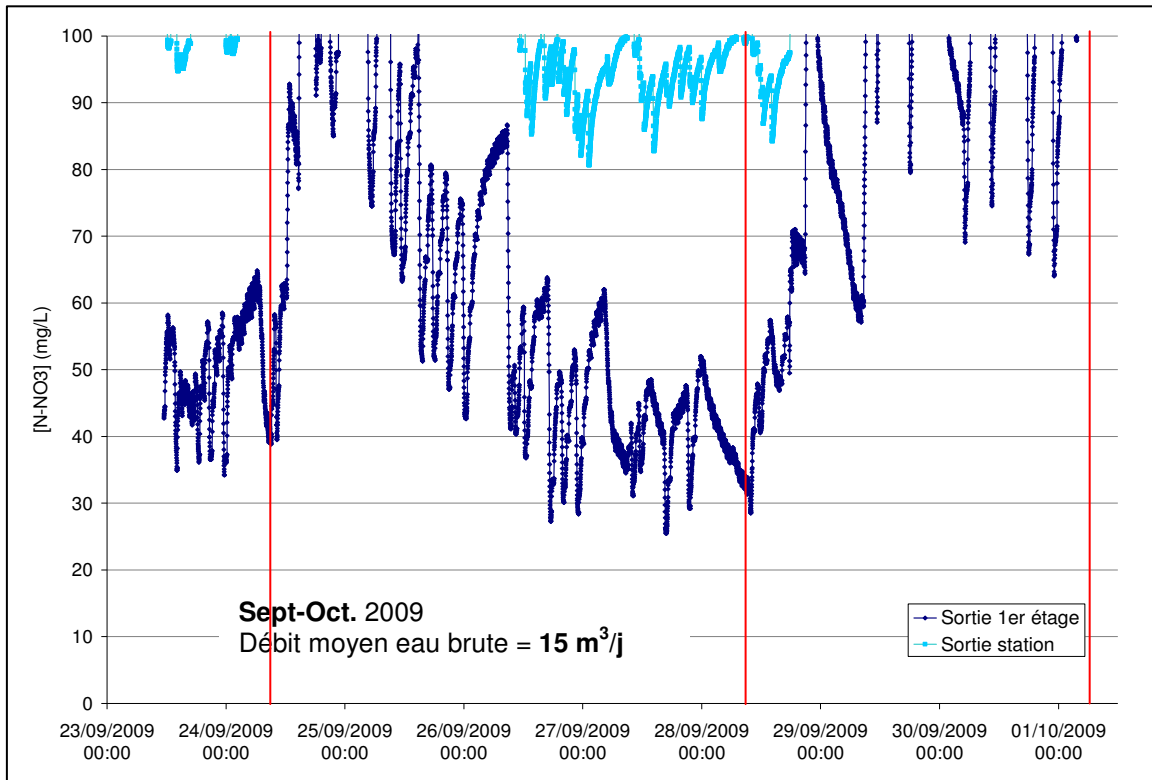




**NOTA** : Le matériel utilisé possédait un seuil d'enregistrement fixé à 100 mg N-NO<sub>3</sub>/L

*Graphique 23 : Evolution des nitrates en juillet 2009 aux 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> étages – Site 1*

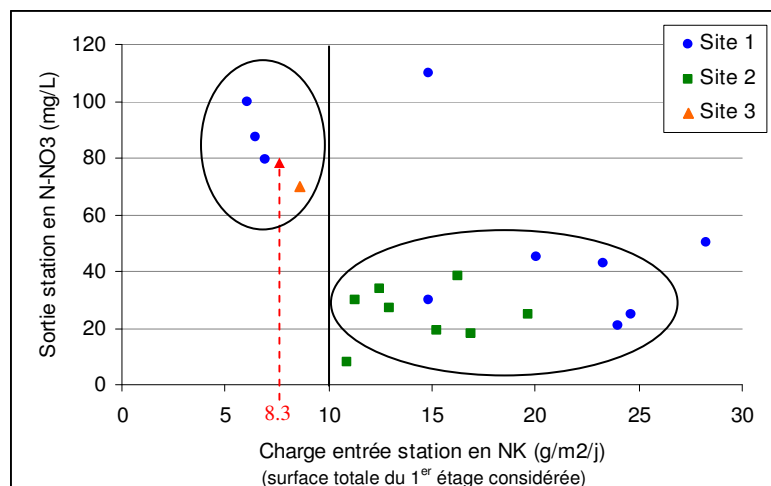
Fin septembre, on retrouve une nitrification exceptionnelle (Graphique 24). Au premier étage, l'azote contenu dans les dépôts de surface se minéralise progressivement et particulièrement pendant les phases de repos. C'est pourquoi, les concentrations sont si importantes comparées à celle de juin. Au deuxième étage, les valeurs dépassent le seuil d'enregistrement de la sonde : la nitrification est complète.



**NOTA** : Le matériel utilisé possédait un seuil d'enregistrement fixé à 100 mg N-NO<sub>3</sub>/L

Graphique 24 : Evolution des nitrates en septembre 2009 aux 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> étages – Site 1

Ces observations sont en lien étroit avec les charges appliquées. Le Graphique 25 illustre l'impact des charges appliquées au 1<sup>er</sup> étage vis à vis la nitrification mesurée à partir des concentrations en nitrates dans le rejet.

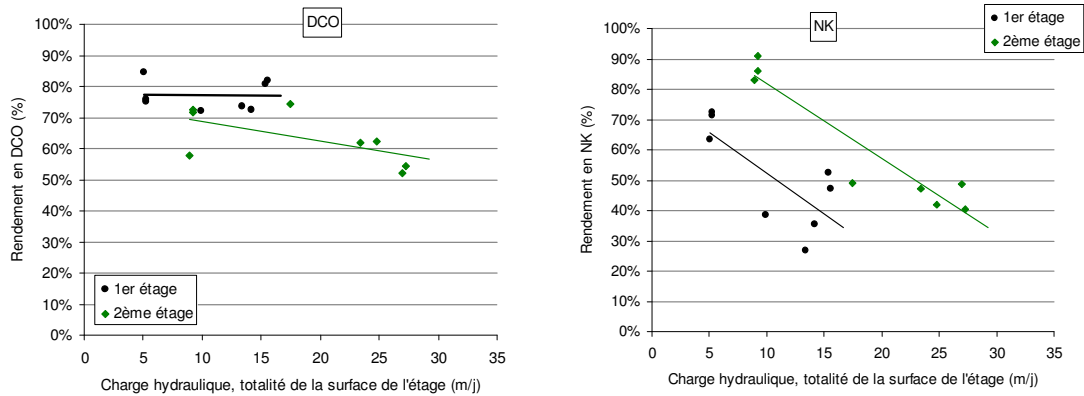


Graphique 25 : Concentrations en nitrates de sortie en fonction de la charge en NK

Au-delà de 10-12 g NK/m<sup>2</sup>/j environ (répartis sur la totalité du 1<sup>er</sup> étage), soit 120 % de la charge théorique, la nitrification semble affectée puisque la production de nitrates est faible.

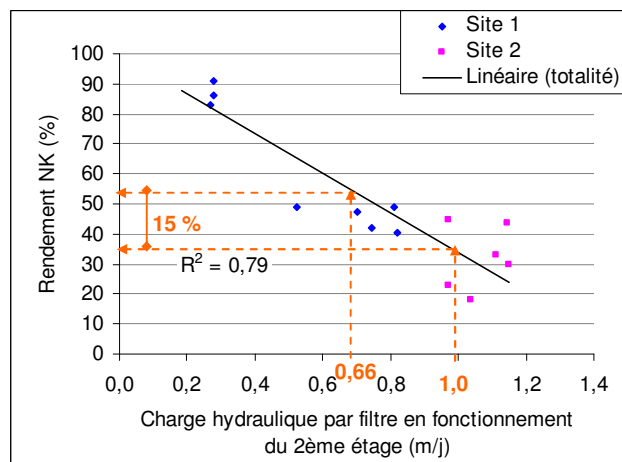
### 5-3-4 Impact des charges hydrauliques sur les rendements

La charge hydraulique apportée semble avoir peu d'impact sur les performances en DCO de chaque étage (Graphique 26). Au premier étage, les rendements sont totalement indépendants des charges appliquées. Au deuxième étage, il existe un certain lien visualisé par une droite qui n'est plus horizontale.



Graphique 26 : Influence de la charge hydraulique sur le traitement – Site 1

En revanche, le traitement de l'azote est fortement affecté par les charges hydrauliques et la droite de régression de pente négative témoigne de cette relation. Les détails pour un filtre du 2<sup>ème</sup> étage sont représentés au Graphique 27.



Graphique 27 : Rendement en NK selon la charge hydraulique appliquée à 1 filtre du 2<sup>ème</sup> étage

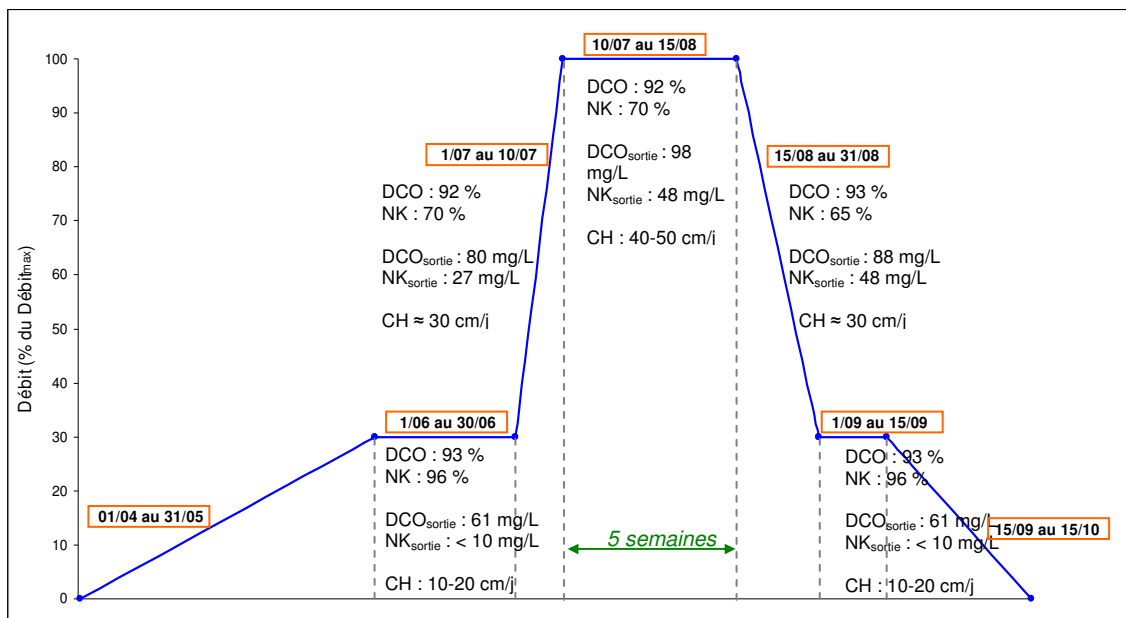
Avec 2 filtres plutôt que 3 au 2<sup>ème</sup> étage, le gain de rendement en NK serait de 15 % (+ 15 points) sur cet étage. Avec 3 filtres, la charge hydraulique appliquée est de 1 m de hauteur d'eau, tandis que pour une même surface totale avec 2 filtres la charge hydraulique est réduite à 66 cm/j. Pour rappel, dans une situation classique la charge hydraulique appliquée est de 37 cm/j.

### 5-4 Simulation théorique des performances

La simulation suivante résume pour la totalité de la saison le fonctionnement attendu d'une installation par FPR dans des conditions de mise en œuvre et d'entretien optimisées.

La saison est découpée en 5 périodes selon les taux de charges appliquées, principalement hydrauliques :

- Période 1 : la station est en sous charge hydraulique (et organique) jusqu'au mois de juin.
- Période 2 : la station est soumise à une forte montée en charge d'un facteur 3 pendant 10 jours. La moyenne des charges correspond à celles des dimensionnements « classiques ».
- Période 3 : la station fonctionne en nette surcharge par rapport aux dimensionnements « classiques » pendant 5 à 6 semaines maximum, et reçoit des effluents de plus en plus concentrés. La DCO reste largement inférieure au seuil des 120 mg/L ; la nitrification se dégrade et la concentration résiduelle en NK peut atteindre jusqu'à 50 mg/L.
- Période 4 : à partir du 15 août, la charge appliquée diminue. Le bon degré de nitrification se réinstalle progressivement pour atteindre à nouveau le seuil de 10 mg/L en NK fin août.
- Période 5 : la station est à nouveau en nette sous-charge et l'on retrouve le fonctionnement de la période 1.



Graphique 28 : Simulation de fonctionnement pendant une saison touristique : rendements, concentrations, charge hydraulique appliquée à la surface d'un filtre du 1<sup>er</sup> étage

En plein régime, entre le 10 juillet et le 15 août (soit 5-6 semaines), la filière reçoit près de la moitié de sa charge annuelle.

Les rendements globaux moyens obtenus sur la saison sont évalués à 92 % sur la DCO et 77 % sur le NK. Généralement, et en dépit des concentrations résiduelles en NK non négligeables 5 semaines par an, ces rendements fournissent un rejet dont la qualité assure une protection suffisante du milieu récepteur.

## 6 PROPOSITION DE DIMENSIONNEMENT

Les propositions de dimensionnement sont établies à partir des résultats obtenus en période de très forte fréquentation des campings, période la plus limitante pour le traitement de la pollution.

### 6-1 Premier étage

Le raisonnement est basé sur les charges maximales appliquées et décrites au Graphique 15 ainsi que sur la charge polluante définie pour un campeur. On considère la valeur de 200 g DCO/m<sup>2</sup>/j constitue un seuil de charge maximale appliquée à la totalité du 1<sup>er</sup> étage. Ce seuil est 2 fois supérieur à la valeur conventionnelle de 100 g DCO/m<sup>2</sup>/j utilisée en traitement d'eaux usées domestiques. Sur la base d'une pollution journalière équivalente à 90 g DCO/campeur, on en déduit un dimensionnement du 1<sup>er</sup> étage exprimé en surface par campeur, soit **0.45 m<sup>2</sup>/campeur**.

En conséquence, pour l'azote, sur la base d'une pollution équivalente à 11 g N/campeur, ce dimensionnement de 0.45 m<sup>2</sup>/campeur conduit à appliquer une charge azotée de 25 g NK/m<sup>2</sup>/j, ce qui est 3 fois supérieur à la valeur conventionnelle de 8.3 g NK/m<sup>2</sup>/j.

Cet étage est constitué de 3 filtres identiques de surface utile de 0.15 m<sup>2</sup>/campeur.

Dans ces conditions de charge, on s'attend à obtenir un rendement d'au moins 77 % sur la DCO et un rendement de l'ordre de 40 % sur le NK.

### 6-2 Deuxième étage

Le raisonnement est basé sur un résiduel journalier de pollution estimée à partir des rendements attendus du 1<sup>er</sup> étage, c'est à dire 20.7 g DCO/campeur et 6.6 g NK/campeur.

Les charges maximales appliquées sont décrites au Graphique 18 pour la DCO et le NK. En privilégiant les résultats du site 1 du fait de sa mise en œuvre de bonne qualité, le seuil de 20 g NK/m<sup>2</sup>/j est retenu.

On en déduit un dimensionnement global de **0.30 m<sup>2</sup>/campeur**.

Le rendement minimum attendu de cet étage sur le paramètre DCO est de 60 %, indépendamment de la charge appliquée évaluée ici à 70 g DCO/m<sup>2</sup>/j.

Pour l'azote, la configuration actuelle (avec 3 lits au second étage) conduit à un rendement de 35-40 % en période de pointe. Par contre, le Graphique 27 souligne l'impact négatif des charges hydrauliques sur la nitrification. C'est pourquoi nous proposons, tout en conservant le dimensionnement global de l'étage, de le fractionner en **2 lits (au lieu des 3 lits)**, ce qui conduit à réduire de 100 cm/j à 66.6 cm/j la charge hydraulique appliquée au filtre en fonctionnement. On s'attend alors à un rendement minimum sur ce paramètre de 55-60 %.

Avec cette proposition, le temps de repos du filtre est diminué mais les mesures en oxygène ont montré une bonne récupération dès 3 à 4 j de repos et permettent d'envisager sereinement une telle adaptation, qui, de plus, correspond à la configuration classique.

### 6-3 Rejet attendu tout au long de la saison touristique

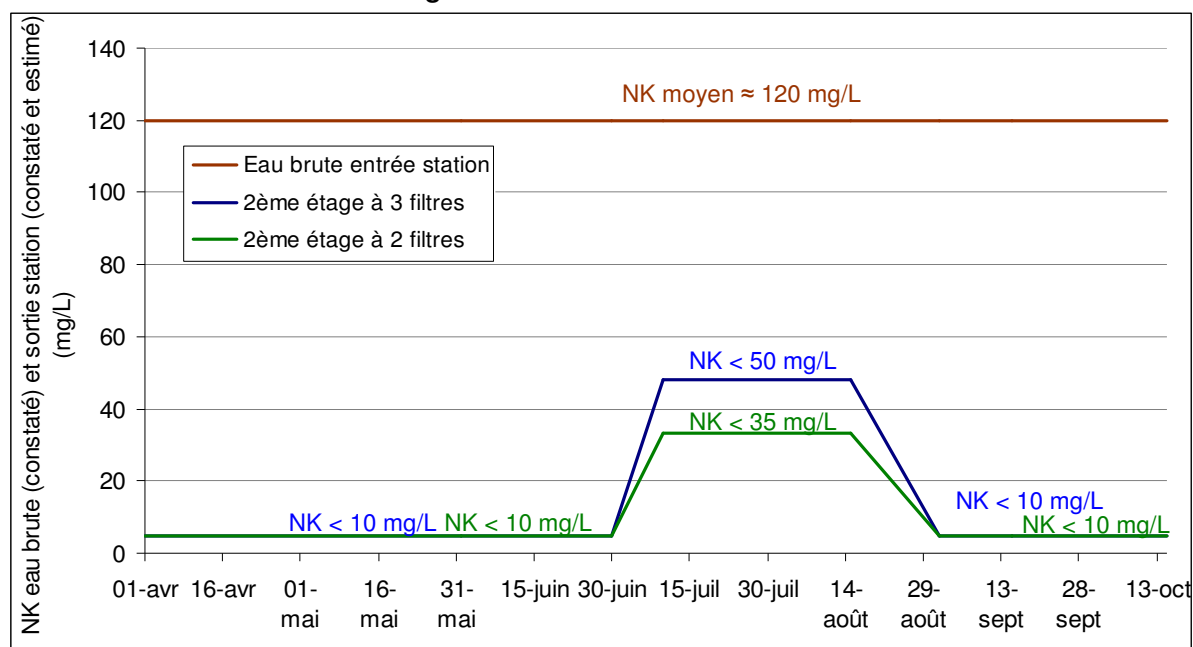
Le Tableau 16 résume les rendements de chaque étage énoncés au paragraphe précédent pour les 2 configurations du 2<sup>ème</sup> étage, et ce pour la période de fréquentation touristique maximale.

Tableau 16 : Surfaces préconisées et performances estimées de chaque étage (période de forte fréquentation)

	Surface (m <sup>2</sup> /campEUR)		Rendements (%)		Concentrations (mg/L)	
	unitaire	totale	DCO	NK	DCO	NK
<b>Effluent brut</b>					840	120-140
<b>1<sup>er</sup> étage</b>	0.15	0.45	77	40	-	-
<b>2<sup>ème</sup> étage</b>					-	-
Si 3 filtres	0.10	0.30	60	35-40	-	-
Si 2 filtres	0.15					
<b>Total</b>						
Si 3 filtres au 2 <sup>ème</sup> étage	-	0.75	91	> 60	< 80	< 50
Si 2 filtres au 2 <sup>ème</sup> étage	-					

Les rendements attendus sur le paramètre **DCO** sont stables et indépendants du taux de charges appliquées. La valeur de **91 %** est retenue ce qui correspond à des concentrations de **sortie inférieures à 80 mg/L**. On s'attend à obtenir, selon la configuration à 2 filtres au 2<sup>ème</sup> étage, des concentrations en DBO<sub>5</sub> et MES respectivement inférieures à 20 mg/L et 25 mg/L sachant que les résultats moyens mesurés selon des configurations moins optimisées (à 3 filtres) sont déjà de 13 et 20 mg/L. Rappelons que les rendements attendus sur les matières organiques (DCO, DBO<sub>5</sub> et MES) restent indépendants des charges appliquées.

Pour la nitrification, les résultats sont dépendants des charges appliquées. C'est pourquoi le Graphique 29 retrace les rendements et les qualités moyennes estimées pour l'azote Kjeldahl dans le rejet pendant la saison touristique. La réduction du nombre de filtres du 2<sup>ème</sup> étage aboutirait à des concentrations de **sortie en NK élevées sur 5 semaines** en pleine saison, de l'ordre de **35 mg NK/L** environ, tandis que les concentrations actuelles sont aux alentours de 50 mg NK/L. L'abattement total en NK serait de **75 %** au lieu de 60 % en pleine charge. Hors période de fréquentation maximale (c'est à dire 4.5 mois pour une utilisation de 6.5 mois), la nitrification est considérée comme complète avec un résiduel évalué à moins de **10 mg NK/L**.



Graphique 29 : Evolution des concentrations en NK d'entrée et de sortie station

Sur l'ensemble de la période de fonctionnement de la station (d'avril à octobre), le rendement moyen de nitrification évalué à partir de l'azote Kjeldahl est de 85 %. Pour une exigence encore plus poussée en termes de nitrification, un autre dimensionnement doit être appliqué : celui-ci devrait se rapprocher du dimensionnement classique à 2 m<sup>2</sup>/hab.

## Conclusion

Les eaux usées des campings se caractérisent par une émission très saisonnière, avec un pic marqué d'une durée maximale de 2 mois et une absence totale d'émission sur une période hivernale de l'ordre de 5 mois. Pour limiter les coûts d'investissement, est-il envisageable de réduire l'emprise des surfaces des Filtres Plantés de Roseaux, c'est à dire d'apporter de très fortes charges surfaciques de pollution tout en obtenant un rejet d'un niveau de qualité conforme à la réglementation en vigueur ou amélioré selon les exigences du milieu.

La synthèse présentée est basée sur des mesures conduites de 2007 à 2009 dans 4 campings de Dordogne (22 bilans de 24 h, prélèvements ponctuels hebdomadaires réalisés pendant la saison touristique 2009 et diverses observations).

Il a été possible de caractériser finement les volumes journaliers émis en lien avec la fréquentation des campings. Par ailleurs, les prélèvements ont permis de définir la qualité des eaux à traiter dont les valeurs moyennes sont résumées dans le Tableau 17.

Tableau 17 : Qualité moyenne des eaux usées émises par l'activité « camping »

Concentrations (mg/L)	DBO <sub>5</sub>	DCO	MES	NK	N-NH <sub>4</sub>	P <sub>t</sub>
Moyenne	360	840	390	120	100	16
Valeur classique	330	800	330	65	-	13

L'eau usée relativement concentrée et équilibrée vis à vis des paramètres DCO, DBO<sub>5</sub>, MES et P<sub>t</sub>. Par contre, les concentrations en azote réduit sont bien au-delà des seuils classiques et atteignent jusqu'à plus de 150 mg/L en NK en pleine saison. Les concentrations en azote, dont la source est uniquement d'origine physiologique, montrent une moindre activité générant des eaux ménagères (vaisselles, préparation de repas, etc.).

A partir des quantités et qualités, on déduit les valeurs des charges polluantes émises par un « campeur » (Tableau 18).

Tableau 18 : Charges polluantes émises par un « campeur »

	Volume d'eau (L/j)	Flux de pollution produite par campeur (g/j)				
		DBO <sub>5</sub>	DCO	MES	NK	P <sub>t</sub>
Moyenne	100	35	90	40	11	1.4
Valeur classique	150	50	120	50	10	2

La consommation d'eau moyenne peut varier d'un site à l'autre selon les économies réalisées. On retient la valeur moyenne de 100 L/campeur mais cette consommation peut être abaissée à la valeur de 80 L/campeur si sont installés des matériels permettant des économies d'eau (Presto® par exemple).

Pour tous les paramètres, les flux de pollution sont inférieurs aux valeurs classiques (de l'ordre de 20 à 30 % selon les paramètres) excepté pour l'azote. Ce constat est, comme pour la qualité, à mettre en relation avec une activité de cuisine réduite, générant ainsi moins de matières carbonées qu'habituellement.

Les FPR, fonctionnels depuis 2007, sont d'une mise en œuvre équivalente à celle pratiquée dans le domaine de l'assainissement collectif et traitent des eaux usées brutes. Par contre, les dimensionnements ont parfois été réduits. C'est pourquoi, en période de pleine fréquentation, les charges appliquées peuvent être très élevées : jusqu'à 200 g DCO/m<sup>2</sup>/j et jusqu'à 25 g NK/m<sup>2</sup>/j de filtres du 1<sup>er</sup> étage, soit respectivement 2 à 3 fois plus que les charges classiquement appliquées dans le contexte du traitement des eaux usées des collectivités dont l'habitat est permanent. Au niveau hydraulique, les lames d'eau appliquées journalièrement sur la totalité des filtres du premier étage excèdent 17 cm soit 1.4 fois la hauteur « classique ».



Une station a fait l'objet d'un suivi allégé à partir d'avril c'est à dire en début de saison touristique. Il est ainsi possible d'affirmer le bon démarrage de l'ouvrage qui fournit un rejet de bonne qualité sur tous les paramètres dont l'azote.

En pleine saison, même dans ces conditions particulières de fortes charges appliquées, la qualité du rejet est excellente pour les paramètres **DBO<sub>5</sub>, DCO et MES**. Il n'y a pas de dégradation, ni pendant la période de forte fréquentation, ni lors du démarrage de la saison. Avec des rendements systématiquement supérieurs à **90 %**, la qualité moyenne des rejets est respectivement de 15 mg/L, 85 mg/L et 20 mg/L pour les paramètres DBO<sub>5</sub>, DCO et MES. En revanche, pour la **nitrification**, les résultats sont plus modestes en période de forte fréquentation. Malgré une moyenne de rendements évaluée à **60 %**, la concentration résiduelle moyenne en NK reste élevée, de l'ordre de 50 mg/L, du fait de la forte concentration initiale.

Après la saison touristique, dès septembre, les filtres fournissent un rejet de qualité équivalente à celui de début de saison.

Pour améliorer ces performances, il est proposé de modifier la structuration du 2<sup>ème</sup> étage et de retenir un fractionnement en 2 plateaux (plutôt que 3) en retrouvant ainsi une configuration plus classique. Un suivi des mesures en oxygène à l'intérieur des massifs, des concentrations en nitrates ainsi que de l'impact d'une lame d'eau de hauteur plus faible atteste de l'intérêt d'une telle proposition.

En conclusion, cette étude permet de proposer une base de dimensionnement spécifique pour l'activité camping, pour la capacité **maximale** d'accueil :

**1<sup>er</sup> étage : 0.45 m<sup>2</sup>/campeur (en 3 filtres identiques)**  
**2<sup>ème</sup> étage : 0.30 m<sup>2</sup>/campeur (en 2 filtres identiques)**

Dans ces conditions, la nitrification ne sera que partielle pendant 5 semaines par an et permettrait d'atteindre des concentrations moyennes en NK dans le rejet inférieures à 35 mg/L. Rappelons que les concentrations des eaux usées à traiter peuvent être extrêmement fortes et la valeur maximale de 170 mg/L a été mesurée une fois.

Si toutefois les exigences du milieu imposaient un rejet plus strict sur la nitrification cinq semaines par an, il conviendrait d'adapter le dimensionnement en réduisant les charges appliquées et augmentant les surfaces mises en jeu.

Pour atteindre ces performances, l'étude démontre que l'installation d'ouvrages hydrauliques permettant de **répartir** effectivement les eaux usées sur la totalité de la surface disponible ainsi que le **suivi rigoureux** des phases d'alimentation/repos par l'exploitant sont deux conditions totalement essentielles.

Cette étude ne modifie en rien les **règles d'ores et déjà établies** pour la filière FPR à flux vertical utilisée en assainissement collectif des petites collectivités. Par contre, elle permet d'évaluer sa **robustesse** et de définir ses limites lorsqu'elle est soumise à de très fortes surcharges organiques estivales sur une période de 2 mois environ et qu'elle est au repos pendant environ 5 mois en hiver.



## ELEMENTS BIBLIOGRAPHIQUES

BOUTIN C., BOIS J.-S., BOUVARD V., CADIC G., DODANE P.H., IWEMA A., LAPAUZE P., LESAVRE, J., PIGNEUR Y., SAVOYE D., THOUMY D. (2007). Cadre guide pour un Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP) Filtres Plantés de Roseaux. Ministère de l'Agriculture, CGGAER/ Pôle d'Appui Technique, Avril, 76 p.

CAMPION S. (2007). Le conseil de la naturo : mangez des protéines animales deux fois par jour. Editions Santé publique, décembre, 3 p.

CALLOWAY D.H., ODELL A.C.F., MARGEN S. (1971). Sweat and miscellaneous Nitrogen losses in human balance studies. *Journal of Nutrition*, n°101, p 775-786.

FNDAE n°22 (1998). Les Stations d'épuration adaptées aux petites collectivités. Documentation Technique du Ministère de l'Agriculture, Juin, 87 p. + annexes

FNDAE n°33 (2004). Dysfonctionnements biologiques des stations d'épuration : origines et solutions. Documentation Technique du Ministère de l'Agriculture, 124 p.

Groupe Macrophytes et Traitement des Eaux (Ouvrage Collectif) (2005). Epuration des eaux usées domestiques par filtres plantés de macrophytes - Recommandations techniques pour la conception et la réalisation. Ed. Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, 45 p.

IPTS - Institute for Prospective Technological Studies, Miguel Vega et Laurent Bontoux, ESC-EEC-EAEC© (1995-2004). Les nitrates dans l'alimentation, un enjeu pour la sécurité des aliments. Bruxelles-Luxembourg.

MERCIER (2001). Principes de nutrition. Université de Montpellier 1, Module Bio-Energétique et Métabolisme, 32 diapositives.

MERCOIRET L. (2010). Qualité des eaux usées domestiques produites par les petites collectivités – Application aux agglomérations d'assainissement inférieures à 2 000 Equivalent-Habitants. Rapport ONEMA.

MOLLE P., LIENARD A., BOUTIN C., MERLIN G. et IWEMA A. Traitement des eaux usées domestiques par marais artificiels : état de l'art et performances des filtres plantés de roseaux en France. *Ingénieries-EAT*, Numéro spécial 2004, p 23-32.

OTTERPOHL R. Innovative reuse oriented water concepts high-, medium- and low-tech options. IWA Specialist Group "Resources oriented Sanitation", <http://ecosan.org/>, rubrique "Publications for download", site consulté en février 2010.

ROUDAUT H. et LEFRANCO E. (2005). Alimentation théorique. Ed Doin, SCEREN CRDP Aquitaine, Biosciences et Techniques, 142 p.

SATESE 37 (2009). Caractéristiques des eaux résiduaires urbaines en milieu "rural" avec des réseaux "récents" : exemple en Indre et Loire. 37 diapositives.

SCHUDDEBOOM L.J. (1993). Nitrates et nitrites dans les denrées alimentaires. Ed. du Conseil de l'Europe, Ministère de la protection sociale, de la santé et de la culture des Pays-Bas, pour le Comité d'Experts pour le contrôle sanitaire des denrées alimentaires, 128 p.

TESSARI P. (2007). Nitrogen balance and protein requirements: Definition and Measurements. (Chapter 3.2.), *Cachexia and Wasting: A Modern Approach*, Ed. Springer Milan, p 73-79.

VERBANCK M.A., ASHLEY R.M., BACHOC A. (1994). International workshop on origin, occurrence and behaviour of sediments in sewer systems: summary of conclusions. *Water Research*, Vol 1, n°1, p 187-194.

## **ANNEXES**

Annexe 1 : Suivi des nuitées et volumes journaliers durant la saison 2009 – Site 1

Annexe 2 : Caractéristiques classiques d'une eau usée domestique en milieu rural et réseaux courts

Annexe 3 : Qualité des eaux usées brutes

Annexe 4 : Ratios caractéristiques de l'eau usée brute

Annexe 5 : Charges produites par campeur et par jour

Annexe 6 : Granulométrie de chaque étage des sites 1 et 2 (analyses Cemagref)

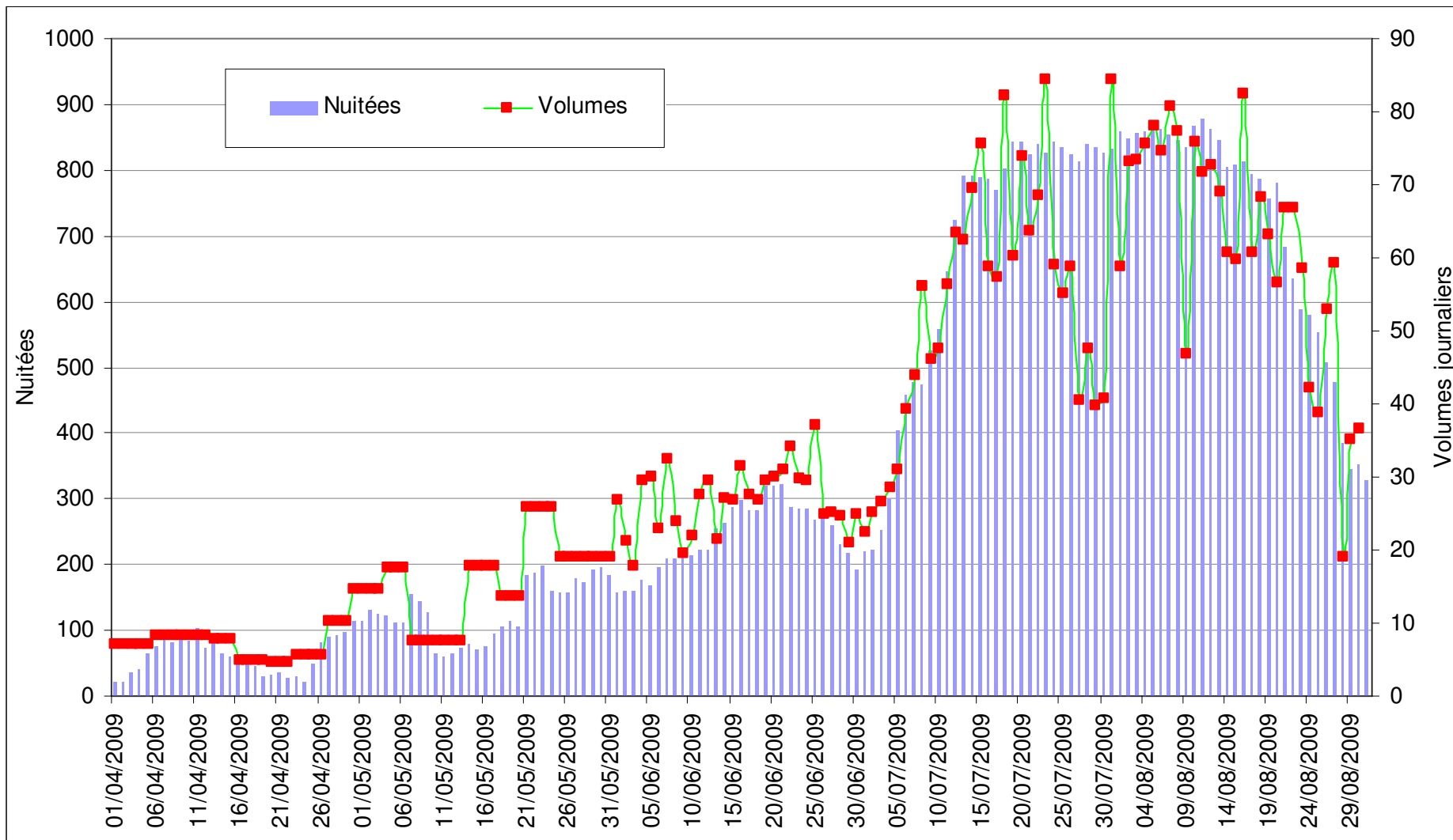
Annexe 7 : Qualité de l'eau traitée (sortie station)

Annexe 8 : Concentrations de sortie du 1<sup>er</sup> étage

Annexe 9 : Evolution des teneurs d'oxygène au sein des filtres du 1<sup>er</sup> et du 2<sup>ème</sup> étage – Site 1, juin 2009

Annexe 10 : Tests bandelettes réalisés par l'exploitant du site 1 - Saisons 2008 & 2009

Annexe 1 : Suivi des nuitées et volumes journaliers durant la saison 2009 – Site 1



**Annexe 2 : Caractéristiques classiques d'une eau usée domestique en milieu rural et réseaux courts**

En milieu rural, il a été constaté que les stations d'épuration recevaient de faibles quantités de pollution.

C'est pourquoi, au Cemagref, est apparu à partir des années 1998 (FNDAE n°22, 1998) la notion d' « habitant », reprise par le Groupe Macrophytes (2005). Les valeurs retenues sont les suivantes :

<b>Charge polluante</b>		<b>par habitant (Cemagref, 2005)</b>	<b>par EH (Directive Européenne, 1991)</b>
DBO <sub>5</sub>		50	60
DCO		120	-
MES	en g/j	50	-
Pt		2	-
NK		10	-
Eau consommée	en L/j	150	-

Connaissant la masse polluante mais également la consommation d'eau, ces valeurs permettent de définir une concentration dite « classique » d'une eau usée domestique non diluée par un apport externe d'eaux claires.

<b>Concentration (mg/L)</b>	<b>DBO<sub>5</sub></b>	<b>DCO</b>	<b>MES</b>	<b>NK</b>	<b>N-NH<sub>4</sub></b>	<b>Pt</b>
Valeur « classique »	330	800	330	65	-	13

Cet effluent est le reflet une pollution d'origine domestique dont les caractéristiques sont évaluées par l'intermédiaire de ratios entre les différents paramètres.

<b>Ratio</b>	<b>DCO/DBO<sub>5</sub></b>	<b>N-NH<sub>4</sub>/NK</b>	<b>DCO/MES</b>	<b>DBO<sub>5</sub> NK Pt *</b>
Valeur « classique »	2,4	0,75	2,4	100 20 4

\* FNDAE n°33

Le rapport N-NH<sub>4</sub>/NK n'est pas issu des chiffres précédents mais d'une connaissance de la qualité de l'azote dans une eau usée. Effectivement, il est admis que l'azote présent dans un effluent brut soit à 75% sous forme minérale et 25% sous forme organique. Ces éléments sont relativement conformes aux moyennes identifiées par une analyse statistique de plus de 10 000 données de concentrations d'eaux usées rejetées par des collectivités de taille inférieure à 2000 EH (Mercoiret, 2010).

**Annexe 3 : Qualité des eaux usées brutes**

Camping	Date du bilan	DBO <sub>5</sub>	DCO	MES	NK	NH <sub>4</sub> (N)	Pt	
		mg/L						
1	25 et 26-07-07	460	1300	700	170	130	32	
	21 et 22-08-07	500	1300	690	130	105	33	
	23 et 24-06-08	340	1100	740	120	-	20	
	18 et 19-08-08	400	1000	440	150	120	17	
	16 et 17-06-09	340	791	270	131	106	13	
	17 et 18-06-09	330	800	289	122	96	14	
	20 et 21-07-09	400	950	500	170	130	18	
	21 et 22-07-09	370	1100	560	150	120	17	
	03 et 04-08-09	420	1300	580	160	130	19	
	04 et 05-08-09	390	1100	280	150	120	18	
	Moyenne	395	1074	505	145	117	20	
	Écart-type	55	192	180	19	13	8	
	Nombre de points	10	10	10	10	9	10	
2	25 et 26-07-07	680	1100	580	110	86	25	
	21 et 22-08-07	310	720	290	100	73	12	
	23 et 24-07-08	380	840	480	120	94	14	
	18 et 19-08-08	420	860	330	82	51	11	
	17 et 18-06-09	220	529	208	92	72	9	
	20 et 21-07-09	220	880	380	79	61	10	
	21 et 22-07-09	230	740	320	79	62	11	
	03 et 04-08-09	350	880	580	110	76	13	
	04 et 05-08-09	290	850	160	110	87	13	
		Moyenne	344	822	370	98	74	13
	Écart-type	145	154	151	16	14	5	
	Nombre de points	9	9	9	9	9	9	
3	29 et 30-08-07	300	540	230	100	87	-	
	23 et 24-07-08	390	970	480	130	110	17	
		Moyenne	345	755	355	115	99	17
		Écart-type	64	304	177	21	16	/
	Nombre de points	2	2	2	2	2	1	
4	23 et 24-06-08	340	680	300	110	87	13	
	18 et 19-08-08	330	710	340	110	86	13	
		Moyenne	335	695	320	110	87	13
		Écart-type	7	21	28	0	1	0
	Nombre de points	2	2	2	2	2	2	
Calcul effectué sur tous les points	Minimum	220	529	160	79	51	9	
	Maximum	680	1300	740	170	130	33	
	Moyenne	366	915	423	121	95	16	
	Médiane	350	880	380	120	91	14	
	Écart-type	99	223	169	27	24	6	
	Nb de valeurs	23	23	23	23	22	22	
Calcul effectué sur les moyennes par site	Moyenne globale	355	837	387	117	94	16	
	Médiane globale	345	789	362	113	93	15	
	Nb de valeurs	4	4	4	4	4	4	
Valeur classique		330	800	330	65	-	13	

**Annexe 4 : Ratios caractéristiques de l'eau usée brute**

Camping	Date du bilan	DCO/DBO <sub>5</sub>	N-NH <sub>4</sub> /NK	DCO/MES	DBO <sub>5</sub>  NK Pt			
1	25 et 26-07-07	2,8	0,8	1,9	100	37	7	
	21 et 22-08-07	2,6	0,8	1,9	100	26	7	
	23 et 24-06-08	3,2	-	1,5	100	35	6	
	18 et 19-08-08	2,5	0,8	2,3	100	38	4	
	16 et 17-06-09	2,3	0,8	2,9	100	39	4	
	17 et 18-06-09	2,4	0,8	2,8	100	37	4	
	20 et 21-07-09	2,4	0,8	1,9	100	43	4	
	21 et 22-07-09	3,0	0,8	2,0	100	41	5	
	03 et 04-08-09	3,1	0,8	2,2	100	38	5	
	04 et 05-08-09	2,8	0,8	3,9	100	38	5	
	Moyenne	2,7	0,8	2,3	100,0	37	5	
	Écart-type	0,3	0,0	0,7	0,0	4,4	1,1	
	Nombre de valeurs	10	9	10	10	10	10	
2	25 et 26-07-07	1,6	0,8	1,9	100	16	4	
	21 et 22-08-07	2,3	0,7	2,5	100	32	4	
	23 et 24-07-08	2,2	0,8	1,8	100	32	4	
	18 et 19-08-08	2,0	0,6	2,6	100	20	3	
	17 et 18-06-09	2,4	0,8	2,5	100	42	4	
	20 et 21-07-09	4,0	0,8	2,3	100	36	5	
	21 et 22-07-09	3,2	0,8	2,3	100	34	5	
	03 et 04-08-09	2,5	0,7	1,5	100	31	4	
	04 et 05-08-09	2,9	0,8	5,3	100	38	4	
		Moyenne	2,6	0,7	2,5	100,0	31	4
	Écart-type	0,7	0,1	1,1	0,0	8,3	0,6	
	Nombre de valeurs	9	9	9	9	9	9	
3	29 et 30-08-07	1,8	0,9	2,3	100	33	-	
	23 et 24-07-08	2,5	0,8	2,0	100	33	4	
		Moyenne	2,1	0,9	2,2	100	33	4
		Écart-type	0,5	0,0	0,2	0	0	-
	Nombre de valeurs	2	2	2	2	2	1	
4	23 et 24-06-08	2,0	0,8	2,3	100	32	4	
	18 et 19-08-08	2,2	0,8	2,1	100	33	4	
		Moyenne	2,1	0,8	2,2	100	33	4
		Écart-type	0,1	0,0	0,1	0	1	0
		Nombre de valeurs	2	2	2	2	2	2
Calculs effectués sur tous les points	Minimum	1,6	0,6	1,5	100	16	3	
	Maximum	4,0	0,9	5,3	100	43	7	
	Moyenne	2,6	0,8	2,4	100	34	4	
	Médiane	2,5	0,8	2,3	100	35	4	
	Écart-type	0,5	0,1	0,8	0	6	1	
	Nombre de valeurs	23	22	23	23	23	22	
Calcul effectué sur les moyennes par site	Moyenne	2,4	0,8	2,3	100	34	4	
	Médiane	2,4	0,8	2,3	100	33	4	
	Nombre de valeurs	4	4	4	4	4	4	

**Annexe 5 : Charges produites par campeur et par jour**

Camping	Date du bilan	Volume journalier	DBO <sub>5</sub>	DCO	MES	NK	NH <sub>4</sub> (N)	Pt
		(m <sup>3</sup> /camp./j)						
1	25 et 26-07-07	90	41,2	116,6	62,8	15,2	11,7	2,8
	21 et 22-08-07	71	35,5	92,2	49,0	9,2	7,5	2,3
	23 et 24-06-08	91	31,0	100,4	67,5	11,0	-	1,8
	18 et 19-08-08	73	29,4	73,4	32,3	11,0	8,8	1,3
	16 et 17-06-09	84	28,6	66,6	22,7	11,0	8,9	1,1
	17 et 18-06-09	88	29,2	70,7	25,5	10,8	8,4	1,2
	20 et 21-07-09	80	31,8	75,6	39,8	13,5	10,3	1,4
	21 et 22-07-09	81	30,0	89,0	45,3	12,1	9,7	1,4
	03 et 04-08-09	85	35,7	110,6	49,3	13,6	11,1	1,6
	04 et 05-08-09	86	33,5	94,5	24,1	12,9	10,3	1,6
	Moyenne	83	32,6	89,0	41,8	12,0	9,6	1,7
	Écart-type	6.7	4,0	17,2	15,8	1,8	1,3	0,5
	Nombre de points	10	10	10	10	10	9	10
2	25 et 26-07-07	108	73,2	118,5	62,5	11,8	9,3	2,7
	21 et 22-08-07	96	29,7	69,0	27,8	9,6	7,0	1,1
	23 et 24-07-08	115	43,6	96,4	55,1	13,8	10,8	1,6
	18 et 19-08-08	105	44,1	90,3	34,7	8,6	5,4	1,1
	17 et 18-06-09	-	-	-	-	-	-	-
	20 et 21-07-09	103	22,7	90,7	39,2	8,1	6,3	1,0
	21 et 22-07-09	107	24,6	79,1	34,2	8,4	6,6	1,2
	03 et 04-08-09	85	29,7	74,7	49,2	9,3	6,4	1,1
	04 et 05-08-09	88	25,6	74,9	14,1	9,7	7,7	1,1
	Moyenne	101	36,6	86,7	39,6	9,9	7,4	1,4
	Écart-type	10.3	16,9	16,0	15,6	1,9	1,8	0,6
	Nombre de points	8	8	8	8	8	8	8
3	29 et 30-08-07	131	39,4	70,9	30,2	13,1	11,5	-
	23 et 24-07-08	92	36,1	89,7	44,4	12,0	10,2	1,6
	Moyenne	112	37,7	80	37	13	11	1,6
	Écart-type	27	2	13	10	1	1	-
	Nombre de points	2	2	2	2	2	2	1
4	23 et 24-06-08	62	23,3	46,5	20,5	7,5	6,0	0,9
	18 et 19-08-08	94	31,8	68,5	32,8	10,6	8,3	1,2
	Moyenne	78	27,6	58	27	9	7	1
	Écart-type	23	6	16	9	2	2	0
	Nombre de points	2	2	2	2	2	2	2
Calcul effectué sur tout les points	Minimum	23	47	14	8	5	1	
	Maximum	73	118	68	15	12	3	
	Moyenne	34	84	39	11	9	1	
	Médiane	31	84	37	11	9	1	
	Écart-type	11	18	15	2	2	1	
	Nombre de valeurs	22	22	22	22	21	21	
Calcul effectué sur les moyennes par site	Moyenne globale	34	78	36	11	9	1	
	Médiane globale	35	83	38	11	9	1	
	Nombre de valeurs	4	4	4	4	4	4	
Valeur classique		50 - 60	120	50 - 60	10 - 12	-	1,5 - 2	

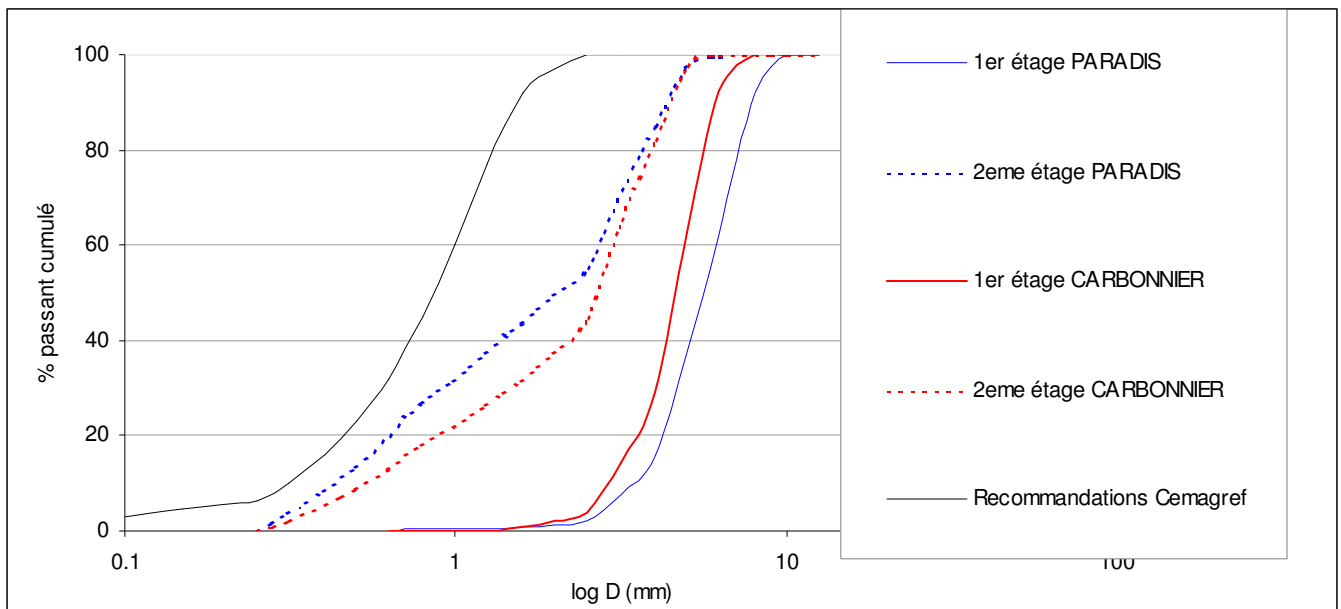
**Annexe 6 : Granulométrie de chaque étage des sites 1 et 2 (analyses Cemagref)**

Site	Origine du matériau	Granulométrie* (mm)			
		d <sub>10</sub>	d <sub>50</sub>	d <sub>60</sub>	CU**
Site 1	1 <sup>er</sup> étage	3.4	5.6	6.2	1.8
	2 <sup>ème</sup> étage	0.4	2.0	2.7	6.3
Site 2	1 <sup>er</sup> étage	2.9	4.6	4.9	1.7
	2 <sup>ème</sup> étage	0.5	2.7	3.0	5.6

\* tamisage par voie sèche selon la référence normative NF EN 933-1, sur **matériaux lavés**

\*\* coefficient d'uniformité :  $CU = d_{10}/d_{60}$  ;  
Si  $CU < 2$ , la granulométrie est dite uniforme,  
Si  $CU > 2$ , la granulométrie est dite dispersée.

Les courbes granulométriques sont les suivantes :



Les granulométries des filtres des **1<sup>ers</sup> étages sont uniformes et conformes** aux données théoriques et aux recommandations de dimensionnement des filtres à écoulement verticaux plantés de roseaux. Il est à noter que la granulométrie du 1<sup>er</sup> étage du Site 1 est légèrement plus grossière que celle du Site 2.

Les granulométries des 2<sup>èmes</sup> étages sont semblables. Ces « sables » correspondent à des **matériaux recomposés, hétérogènes**, du fait du mélange également très visible à l'œil nu de sables et de graviers : les courbes du graphique ci-dessus présentent en effet deux fractions granulométriques (« cassure » des courbes). Ces **granulométries ne sont pas conformes aux recommandations** de dimensionnement des filtres à écoulement verticaux plantés de roseaux pour un 2<sup>ème</sup> étage. Toutefois, l'impact de ce type de granulométrie n'est pas connu et peut s'avérer favorable ou non, voire sans impact sur la qualité du traitement.



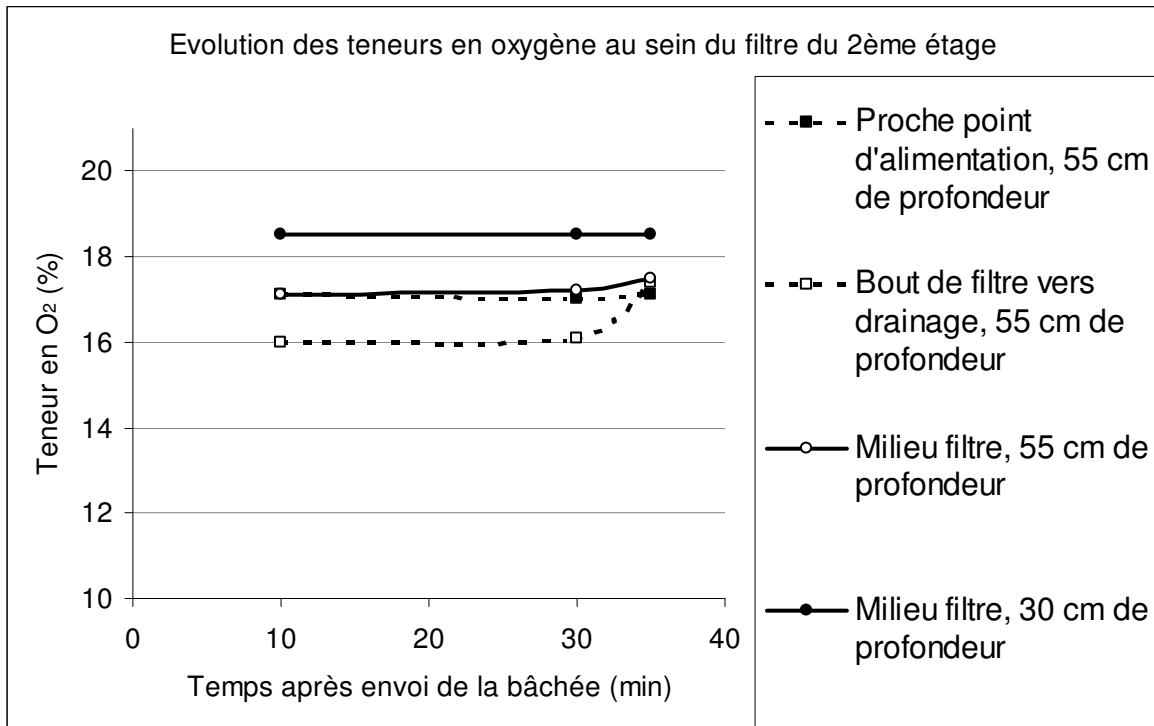
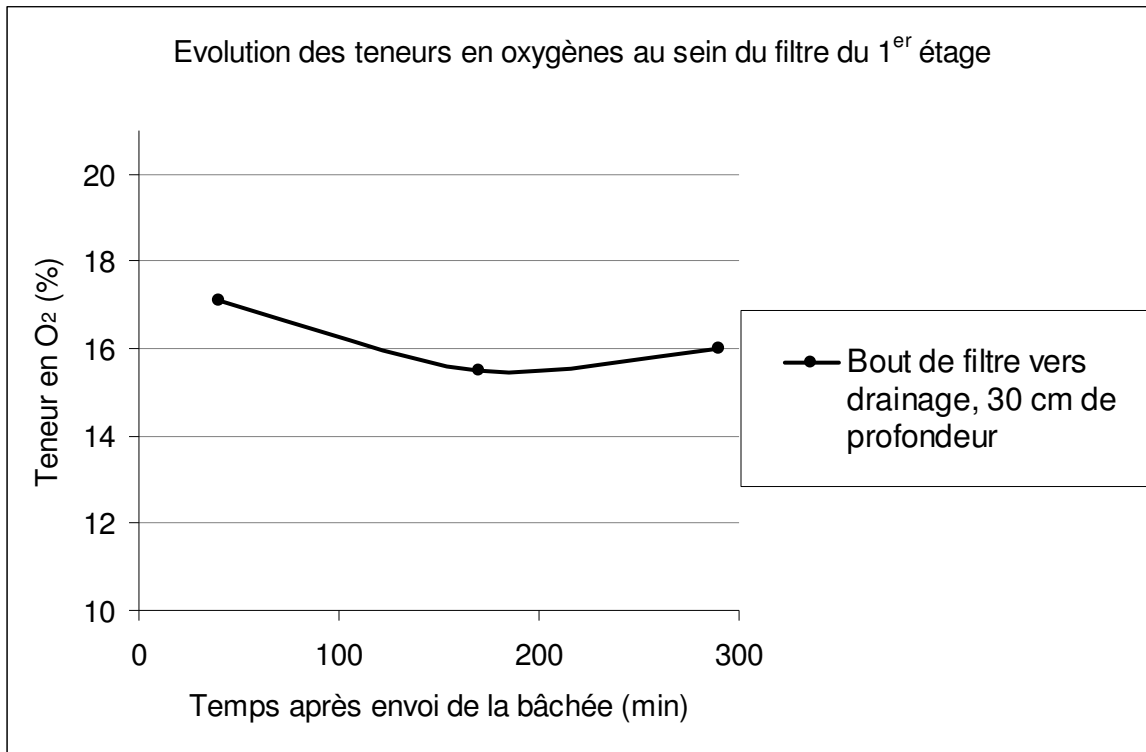
**Annexe 7 : Qualité de l'eau traitée (sortie station)**

Camping	Date du bilan	DBO <sub>5</sub>	DCO	MES	NK	NH <sub>4</sub> (N)	NO <sub>2</sub> (N)	NO <sub>3</sub> (N)	Pt
		mg/L							
1	25 et 26-07-07	6	72	10	37	37	3	50	24
	21 et 22-08-07	7	76	11	50	50	5	30	16
	23 et 24-06-08	23	74	9	8	8	1	100	11
	18 et 19-08-08	23	100	19	47	47	1	110	14
	16 et 17-06-09	5	54	6	5	3	1	80	9
	17 et 18-06-09	4	55	7	3	1	0	87	9
	20 et 21-07-09	10	98	24	64	63	2	21	12
	21 et 22-07-09	11	110	28	55	55	1	45	13
	03 et 04-08-09	18	120	29	39	39	1	25	12
04 et 05-08-09	11	91	16	47	47	1	43	11	
	Moyenne	12	85	16	36	35	1	59	13
	Écart-type	7	22	9	22	23	1	32	4
	Nombre de points	10	10	10	10	10	10	10	10
2	25 et 26-07-07	9	80	24	51	50	1	18	26
	21 et 22-08-07	15	84	18	55	51	1	8	10
	23 et 24-07-08	18	66	15	42	42	2	25	8
	18 et 19-08-08	13	74	21	43	41	1	30	10
	20 et 21-07-09	11	77	15	37	36	2	34	9
	21 et 22-07-09	8	60	14	35	35	2	27	9
	03 et 04-08-09	25	120	43	63	58	2	38	10
	04 et 05-08-09	19	80	27	57	55	2	19	9
	Moyenne	15	80	22	48	46	2	25	11
	Écart-type	6	18	10	10	9	0	10	6
	Nombre de points	8	8	8	8	8	8	8	8
3	29 et 30-08-07	3	37	10	2	2	0	100	-
	23 et 24-07-08	7	43	9	7	7	1	70	7
	Moyenne	5	40	10	5	4	0	85	7
	Écart-type	3	4	1	4	3	0	21	-
	Nombre de points	2	2	2	2	2	2	2	1
4	23 et 24-06-08	17	77	26	8	8	1	50	10
	18 et 19-08-08	18	84	23	23	23	1	110	13
	Moyenne	18	81	25	16	16	1	80	11
	Écart-type	1	5	2	11	11	0	42	2
	Nombre de points	2	2	2	2	2	2	2	2
Calcul effectué sur tous les points	Minimum	3	37	6	2	1	0	8	7
	Maximum	25	120	43	64	63	5	110	26
	Moyenne	13	79	18	35	34	1	51	12
	Médiane	11	77	17	41	40	1	41	10
	Écart-type	7	22	9	21	20	1	33	5
	Nb de valeurs	22	22	22	22	22	22	22	21
Calcul effectué sur les moyennes par site	Moyenne globale	12	71	18	26	25	1	62	11
	Médiane globale	13	80	19	26	25	1	70	11
	Nombre de valeurs	4	4	4	4	4	4	4	4

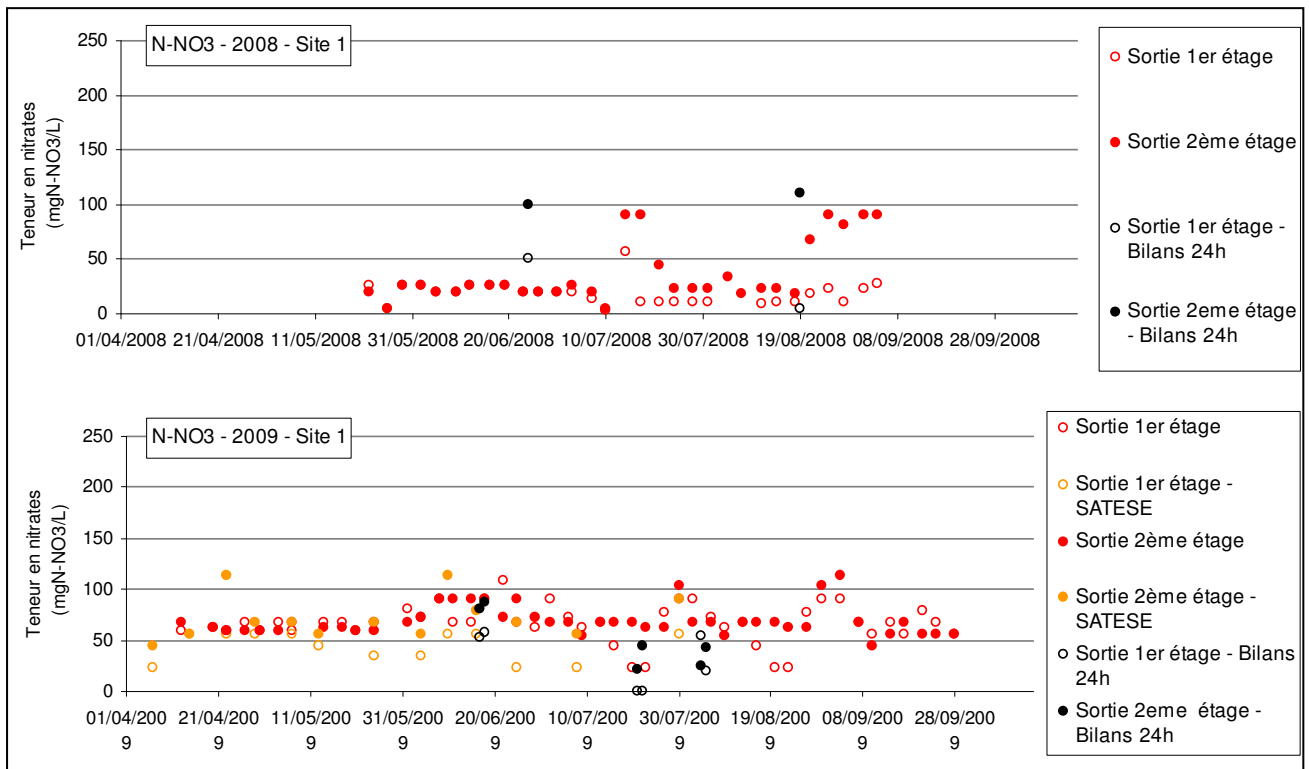
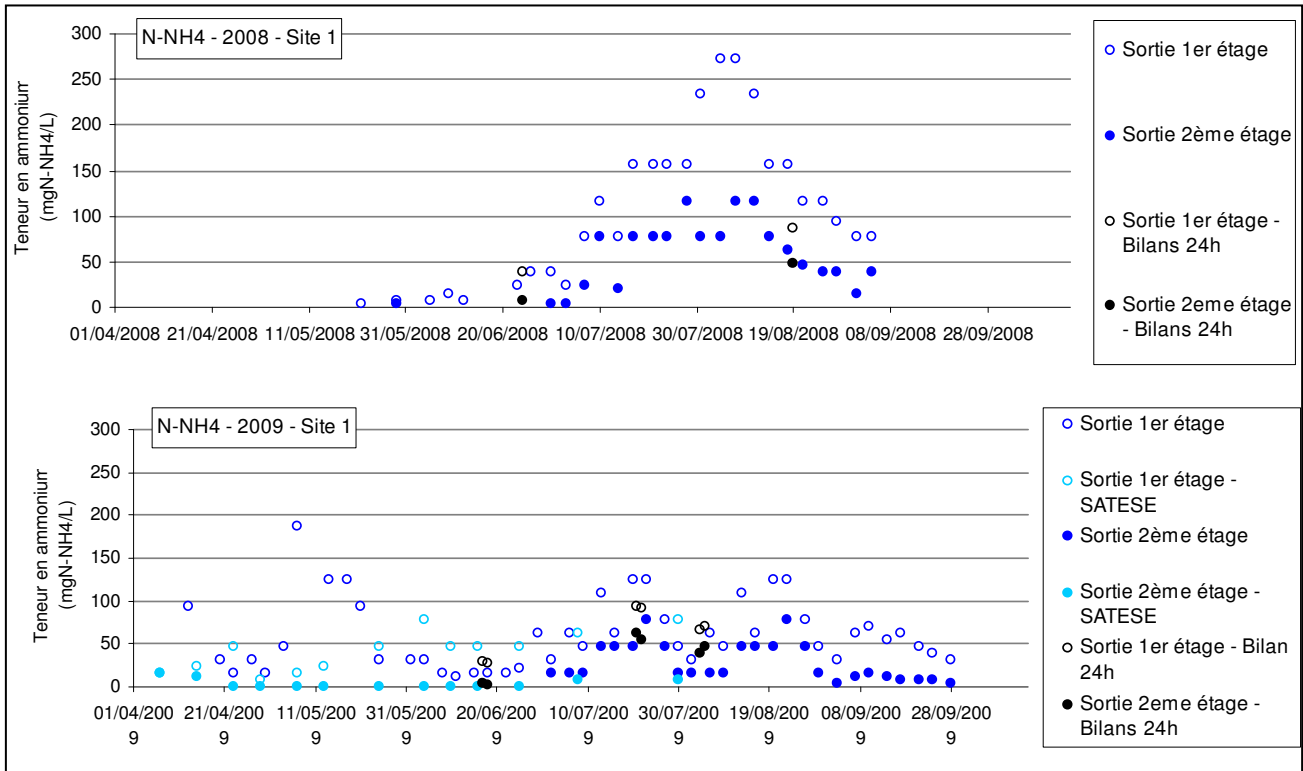
**Annexe 8 : Concentrations de sortie du 1<sup>er</sup> étage**

Camping	Date du bilan	DBO <sub>5</sub>	DCO	MES	NK	NH <sub>4</sub> (N)	NO <sub>2</sub> (N)	NO <sub>3</sub> (N)	Pt
		mg/L							
1	25 et 26-07-07	-	-	-	-	-	-	-	-
	21 et 22-08-07	-	-	-	-	-	-	-	-
	23 et 24-06-08	74	170	180	44	39	6	50	11
	18 et 19-08-08	77	280	100	92	87	15	4	13
	16 et 17-06-09	50	191	103	36	30	4	53	11
	17 et 18-06-09	55	199	111	35	28	2	58	12
	20 et 21-07-09	77	260	64	110	94	0	0	13
	21 et 22-07-09	83	290	160	110	91	5	0	14
	03 et 04-08-09	71	250	120	76	67	2	54	12
04 et 05-08-09	62	200	80	79	70	1	19	12	
	Moyenne	69	230	115	73	63	4	30	12
	Écart-type	12	45	39	31	28	5	26	1
	Nombre de points	8	8	8	8	8	8	8	8
2	25 et 26-07-07	-	-	-	-	-	-	-	-
	21 et 22-08-07	-	-	-	-	-	-	-	-
	23 et 24-07-08	44	170	60	74	72	1	5	9
	18 et 19-08-08	77	200	99	78	64	2	7	10
	20 et 21-07-09	52	190	65	55	46	3	12	9
	21 et 22-07-09	33	150	59	50	43	4	5	9
	03 et 04-08-09	60	290	76	77	61	3	22	12
	04 et 05-08-09	62	180	170	74	66	2	11	10
	Moyenne	54	197	88	68	59	2	10	10
	Écart-type	13	49	43	12	12	1	6	1
	Nombre de points	6	6	6	6	6	6	6	6
3	29 et 30-08-07	-	-	-	-	-	-	-	-
	23 et 24-07-08	41	170	60	79	71	5	1.7	9
	Moyenne	-	-	-	-	-	-	-	-
	Écart-type	-	-	-	-	-	-	-	-
	Nombre de points	1	1	1	1	1	1	1	1
4	23 et 24-06-08	30	130	50	43	39	7	9	11
	18 et 19-08-08	-	-	-	-	-	-	-	-
	Moyenne	-	-	-	-	-	-	-	-
	Écart-type	-	-	-	-	-	-	-	-
	Nombre de points	1	1	1	1	1	1	1	1
Calcul effectué sur tous les points	Minimum	30	130	50	35	28	0	0	9
	Maximum	83	290	180	110	94	15	58	14
	Moyenne	59	208	97	70	61	4	19	11
	Médiane	61	195	90	75	65	3	10	11
	Écart-type	16	51	42	24	21	4	21	2
	Nb de valeurs	16	16	16	16	16	16	16	16
Calcul effectué sur les moyennes par site	Moyenne globale	48	182	78	66	58	5	13	10
	Médiane globale	47	183	74	70	70	5	10	10
	Nombre de valeurs	4	4	4	4	4	4	4	4

Annexe 9 : Evolution des teneurs d'oxygène au sein des filtres du 1<sup>er</sup> et du 2<sup>ème</sup> étage du Site 1, juin 2009



**Annexe 10 : Tests bandelettes réalisés par l'exploitant du site 1 - Saisons 2008 & 2009**



Onema  
Hall C – Le Nadar  
5 square Félix Nadar  
94300 Vincennes  
01 45 14 36 00  
[www.onema.fr](http://www.onema.fr)

*Cemagref*  
*Parc de Tourvoie*  
BP 44,  
92163 Antony cedex  
01 40 96 61 21  
[www.cemagref.fr](http://www.cemagref.fr)