

NOTE DE SYNTHÈSE

Le Syndicat d'Assainissement des Aravis (S.A.D.A.), structure intercommunale, assume en régie l'exploitation de deux stations d'épuration :

- ✓ **Une station située en bordure du Nom**, traitant les effluents de la commune de la Clusaz et d'une partie de la commune de Saint-Jean-de-Sixt (versant Sud),
- ✓ **Une station située en bordure du Borne**, traitant les effluents de la commune du Grand-Bornand et de l'autre partie de la commune de Saint-Jean-de-Sixt (versant Nord).

Ces deux unités sont dimensionnées pour traiter une charge globale de 50 000 équivalents-habitants (extensible à 59 000 équivalents-habitants sans accroissement de l'emprise des bâtiments). Les filières, identiques, s'appuient sur un traitement physico-chimique préalable, suivi d'une étape biologique de type « cultures fixées ».

Les stations d'épurations du Borne et du Nom présentent un fonctionnement relativement typique des stations de montagne situées en zone touristique. Les volumes d'effluents à traiter et les charges polluantes entrantes peuvent être extrêmement variables d'une saison à l'autre, d'un jour à l'autre ou même d'une heure à l'autre.

L'Entreprise en charge des travaux de construction des stations (EIE SNC) a assuré leur exploitation pendant les deux années qui ont suivi la réception. Depuis, c'est le Syndicat d'Assainissement des Aravis qui effectue lui-même l'exploitation des ouvrages dont il est propriétaire.

Confronté à de réelles difficultés d'exploitation, essentiellement liées à la grande variabilité de la qualité et de la quantité d'eau à traiter, le Syndicat d'Assainissement des Aravis a confié à EAU DE PARIS une mission d'étude en vue de l'optimisation de l'injection des réactifs en tête des décanteurs primaires. Deux objectifs majeurs ont été assignés à cette étude :

1. Accroître les rendements d'élimination, notamment vis-à-vis des matières en suspension,
2. Réduire les quantités de réactifs (chlorure ferrique, polymère et chaux) consommées.

Les pistes d'amélioration proposées devaient par ailleurs permettre de conserver des mécanismes de régulation simples, adaptés à des eaux chargées, et ne pas générer des besoins d'intervention de l'exploitant en maintenance ou surveillance disproportionnés.

La mission d'EAU DE PARIS a d'abord porté sur la caractérisation de l'état de fonctionnement des stations du Borne et du Nom (phase 1) et sur la définition de pistes d'optimisation (phase 2).

La caractérisation de l'état de fonctionnement des stations du Borne et du Nom a reposé d'une part, sur l'examen d'extraits du mémoire justificatif et des plans d'exécution élaborés par la société EIE SNC, titulaire du marché d'étude, de réalisation et d'exploitation des stations du Borne et du Nom, et d'autre part, sur le dépouillement de résultats d'analyses, de mesures et de relevés effectués par l'exploitant dans le cadre du programme d'autosurveillance et lors d'un suivi renforcé qui s'est déroulé de fin décembre 2006 à mi-mars 2007.

L'étude des extraits du mémoire justificatif et des plans d'exécution n'a pas mis en lumière de problème majeur de conception ou de dimensionnement.

Cependant, un engagement contractuel et une consigne d'exploitation ne sont manifestement pas tenus en l'état actuel de fonctionnement des stations :

- ✓ D'après les indications du cahier des garanties, la fréquence de lavage des filtres biologiques n'aurait pas dû excéder une fois par jour alors qu'aujourd'hui, l'exploitant est contraint de laver les bassins à plusieurs reprises au cours de la même journée pour maintenir un niveau de colmatage acceptable.
- ✓ Il était prévu que les taux de traitement en chlorure ferrique, réactif employé pour la coagulation et pour l'élimination du phosphore, soient déterminés de manière à assurer une déphosphatation poussée. Toutefois, afin de limiter les développements préjudiciables de bactéries filamenteuses dans les filtres C, l'exploitant semble avoir pris le parti de ne plus prendre en considération les rendements d'élimination du phosphore et de ne caler les doses de chlorure ferrique que par rapport aux résultats d'essais de type Jar-test.

Le dépouillement des résultats d'analyses, des mesures et des relevés effectués par l'exploitant et le constat dressé à l'issue de la caractérisation de l'état actuel de fonctionnement des stations du Borne et du Nom mettent en évidence des dysfonctionnements liés :

- Au manque d'instrumentation permettant à l'exploitant de suivre en continu les évolutions de la qualité des eaux à l'entrée du traitement primaire,
- Aux à-coups hydrauliques extrêmement marqués que subissent les ouvrages du traitement primaire, essentiellement dus à la non maîtrise de la recirculation des eaux boueuses,
- A l'absence de paramètre facilement mesurable, sinon en continu, au moins à une fréquence resserrée, sur lequel l'exploitant pourrait s'appuyer pour déterminer le taux de traitement en chlorure ferrique.

C'est vers la résolution de ces difficultés que s'est orientée la recherche de pistes d'optimisation. Six actions ont ainsi été identifiées par EAU DE PARIS et soumises à l'avis du Maître d'Ouvrage et du Comité de Pilotage :

1. Renforcement de l'instrumentation présente sur les stations,
2. Introduction d'un réactif supplémentaire (polymère cationique) destiné à améliorer l'élimination des matières en suspension et, si possible, à permettre de réduire les taux de traitement en chlorure ferrique,
3. Recherche d'un ou plusieurs paramètres (turbidité, teneur en matières en suspension, DCO, absorption UV à 860 nm, ...) sur lesquels s'appuyer pour asservir l'injection de chlorure ferrique,
4. Déplacement des points d'injection de lait de chaux et de soude à l'aval des décanteurs,
5. Maîtrise de l'arrivée des retours d'eaux boueuses et lissage du débit relevé,
6. Utilisation des indications des détecteurs de voile de boues pour déclencher les purges des décanteurs.

A l'exception de la modification des postes de pompage dédiés à la recirculation des eaux boueuses et de l'agrandissement de bâches de stockage associées, les pistes d'optimisation pouvaient faire l'objet d'une mise en application rapide, ou du moins, dans un délai compatible avec le déroulement envisagé pour la suite de la mission confiée à EAU DE PARIS.

L'objet des phases 3 et 4 était essentiellement d'évaluer les impacts de la mise en application des propositions retenues.

Parmi les premières pistes d'optimisation listées précédemment, celles jugées pertinentes par le Maître d'Ouvrage et le Comité de Pilotage ont été mises en œuvre.

Les aménagements nécessaires ont été réalisés par l'exploitant pour que les préconisations n°1 et 3 entrent en vigueur.

L'équipement des décanteurs par des détecteurs de voile de boues (préconisation n°6) devrait intervenir dans les semaines qui viennent.

La préconisation n°2 (injection d'un polymère cationique en complément du chlorure ferrique) a fait l'objet d'essais Jar-tests. Elle sera étudiée ultérieurement, une fois que l'exploitant disposera d'un recul suffisant sur les effets des préconisations n°1, 3 et 6.

Par contre, l'exploitant n'a pas souhaité expérimenter la préconisation n°4, pensant que les impacts seraient plus négatifs que positifs et vu le coût des travaux à engager pour déplacer les points d'injection de lait chaux et de soude.

Et, sauf à entamer des travaux de modification conséquents de la structure en génie civil des usines, le volume des bâches de collecte et stockage des effluents ne peut pas être augmenté. De même, les équipements de pompage ne pourront pas être renouvelés sans engager des frais conséquents. Mettre en œuvre rapidement la préconisation n°5 se borne pour l'instant à travailler sur le calage des sondes de niveau qui équipent ces bâches et à essayer d'optimiser les seuils de niveau qui commandent le démarrage des pompes de recyclage.

Les paragraphes qui suivent détaillent donc les impacts et les conséquences de l'entrée en vigueur de 3 des pistes d'optimisation proposées par EAU DE PARIS à l'issue des phases 1 et 2 de sa mission :

- ✓ Renforcement de l'instrumentation présente sur les stations,
- ✓ Recherche d'un ou plusieurs paramètres sur lesquels s'appuyer pour asservir l'injection de chlorure ferrique,
- ✓ Injection d'un adjuvant de coagulation de type polymère cationique de façon à diminuer les doses de chlorure ferrique.

La station d'épuration du Nom a été choisie pour servir de site pilote.

Les décanteurs de la station du Nom ont été équipés de sondes « pH » et « température », installées dans les flocculateurs, et d'une sonde « Turbidité » placée dans la canalisation d'alimentation.

Un ensemble d'essais réalisé par l'exploitant fin 2009 et début 2010 a permis de confirmer qu'il existait bien des relations linéaires entre les taux de traitement en coagulant (chlorure ferrique) et en flocculant (polymère anionique), et la turbidité des eaux à décanter.

Les turbidimètres installés par l'exploitant ayant donné des preuves d'un fonctionnement correct sans pour autant demander un entretien et une maintenance impossibles à gérer, c'est vers le paramètre « Turbidité » que le choix de l'exploitant s'est porté pour servir de base à l'asservissement automatique des taux de traitement.

La recherche d'une corrélation entre la turbidité et le taux de traitement a été menée en 2 temps :

- × Volet n°1 (novembre 2009 et janvier 2010) : Réalisation d'essais Jar-tests,
- × Volet n°2 (février 2010) : Réalisation d'une campagne de suivi renforcé en vraie grandeur.

Les essais Jar-tests de novembre 2009 ont abouti à la détermination des formules d'asservissement suivantes :

- × Pour le chlorure ferrique (coagulant) : $D[\text{FeCl}_3] = 0,42 \times \text{turbidité} - 15$
- × Pour le polymère anionique (flocculant) : $D[\text{flocculant}] = 0,002 \times \text{turbidité} + 0,5$

D'autres essais menés en laboratoire en janvier et février 2010 ont conduit à arrêter les formules d'asservissement suivantes :

- Pour le chlorure ferrique (coagulant) : $D[\text{FeCl}_3] = 0,55 \times \text{turbidité} + 5$
- Pour le polymère anionique (floculant) : $D[\text{floculant}] = 0,002 \times \text{turbidité} + 0,5$

On s'aperçoit rapidement que les formules d'asservissement dépendent largement de la qualité globale des eaux à décanner et ne reposent pas uniquement sur le seul paramètre « Turbidité ». Dans la pratique, l'exploitant sera très probablement amené à reproduire des essais de type Jar-tests à une périodicité à caler mais que l'on pourrait estimer à 3 ou 4 mois.

Après les essais en laboratoire, deux campagnes de suivi renforcé ont été organisées en vraie grandeur en haute saison hivernale, pendant les vacances scolaires de février 2010, les mercredis 17/02/2010 et 24/02/2010 pour montrer la reproductibilité des mesures.

Trois préleveurs automatiques ont été installés : le premier pour prélever en entrée des décanteurs, dans le répartiteur, et les deux autres pour prélever dans les canalisations de sortie de chaque décanteur. A chaque fois, pendant 24 heures, un prélèvement a été déclenché toutes les heures ou deux fois par heure pour voir l'impact des variations de charge et de débit tout au long de la journée.

Les analyses ont été pratiquées en deux étapes. L'exploitant a mesuré in situ la turbidité et le pH puis un laboratoire agréé, le LAEPS, a effectué les analyses de DCO, MES et orthophosphates sur chacun des 24 flacons.

Le fait que la filière de traitement de la station du Nom soit scindée en deux chaînes indépendantes dans sa partie amont (traitement primaire) a été mis à profit pour exécuter des essais comparatifs simultanés. Deux modes de fonctionnement ont été testés :

- * Chaîne A : Mode « asservissement au débit »,
- * Chaîne B : Mode « Asservissement à la charge ».

On parle d'un « asservissement au débit » lorsque les quantités de coagulant et de floculant introduites en amont des décanteurs sont calculées simplement en fonction du débit d'eaux à décanner relevé.

Dans le cas d'un « asservissement à la charge », les quantités de coagulant et de floculant sont proportionnelles non seulement au débit relevé, mais aussi à la turbidité des eaux à décanner.

La dose de chlorure ferrique introduite en amont du décanteur de la chaîne A chaîne A était donc simplement proportionnelle au débit alors que le taux de traitement en chlorure ferrique injecté à l'entrée du décanteur de la chaîne B était asservi à la charge polluante.

Les figures et tableaux qui suivent résument les principaux résultats obtenus. Ils permettent de dégager les conclusions suivantes :

- Les 2 journées ont été assez contrastées : le 17/02/2010, la station du Nom a reçu un volume assez faible d'effluents relativement concentrés alors que le 24/02/2010, les eaux à décanner étaient plus diluées (débit plus fort mais charge polluante moindre).
- Les performances épuratoires observées lors des 2 campagnes de suivi renforcé sont plutôt proches quel que soit le mode d'asservissement. On note toutefois un avantage au mode d'asservissement à la charge lorsque les effluents sont concentrés (débit « faible » couplé à une charge polluante « élevée »). A l'inverse, par un phénomène de surdosage, l'asservissement au débit donne de légèrement meilleurs rendement d'abattement lorsque les effluents sont dilués (débit « élevé » combiné à une charge polluante « faible »).

Figure 1 : Campagnes de suivi renforcé n°1 (17/02/2010) et n°2 (24/02/2010) – Evolution de la turbidité des effluents à décanter

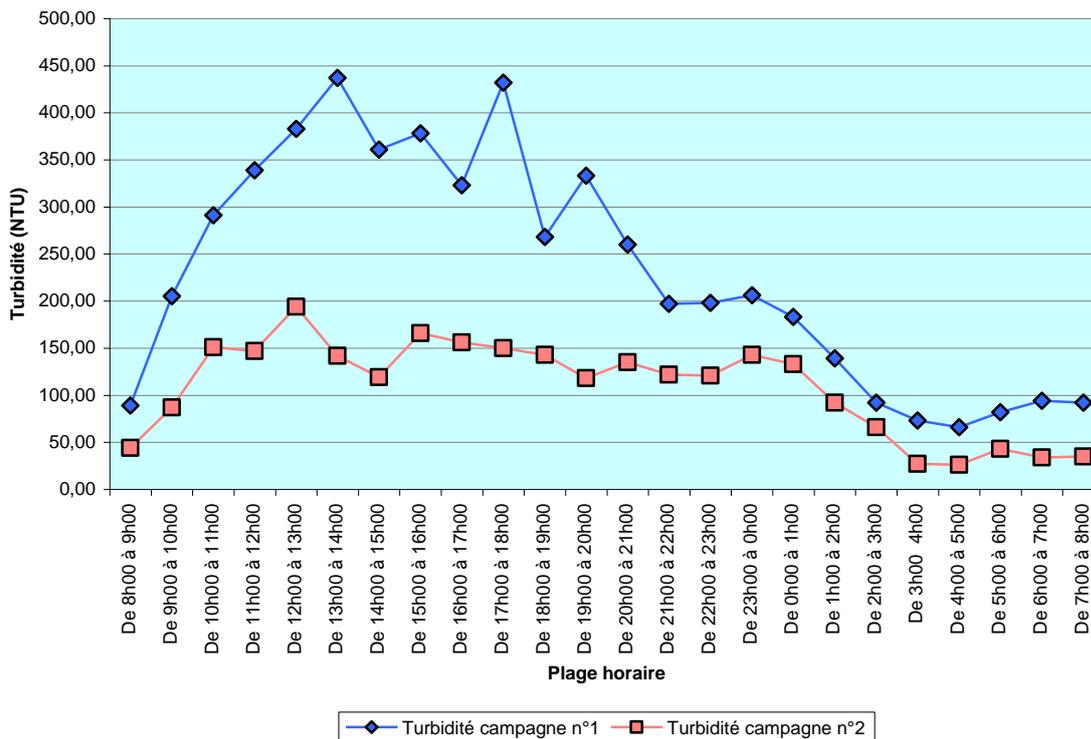


Figure 2 : Campagnes de suivi renforcé n°1 (17/02/2010) et n°2 (24/02/2010) – Evolution de la turbidité des eaux décantées

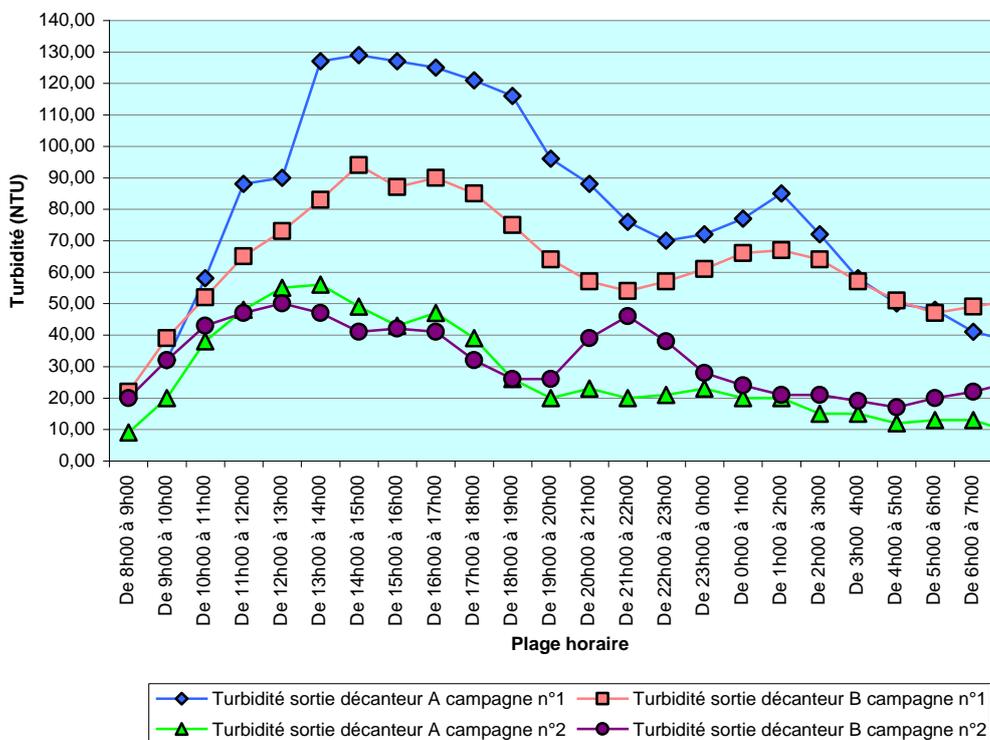


Figure 3 : Campagnes de suivi renforcé n°1 (17/02/2010) et n°2 (24/02/2010) – Evolution de la teneur en MES

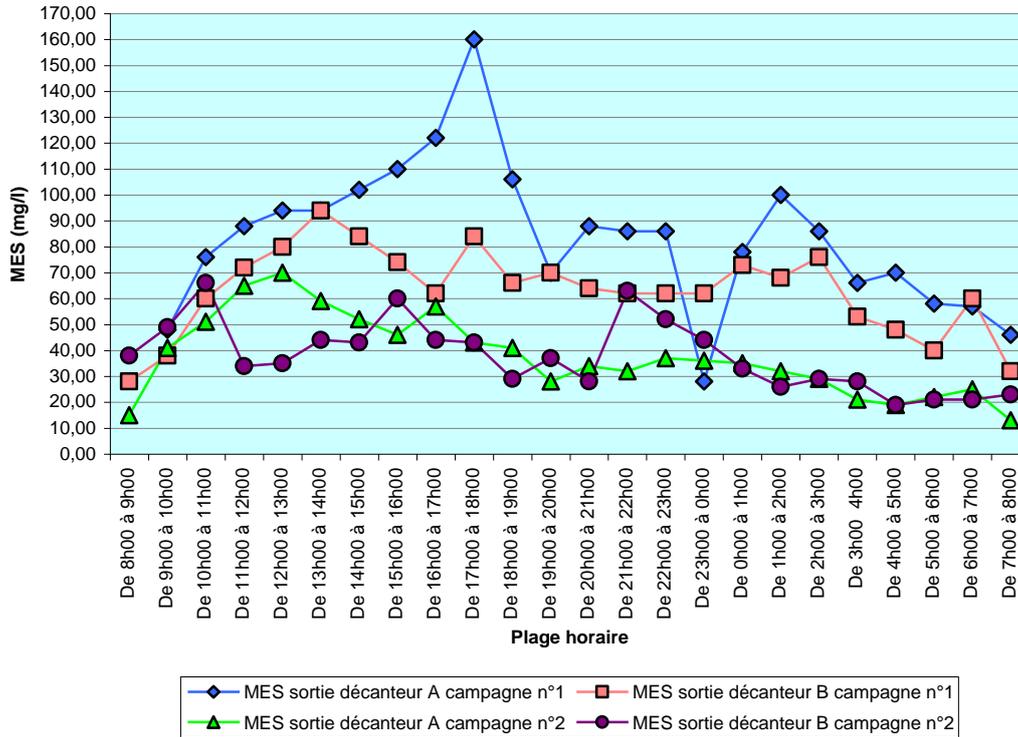
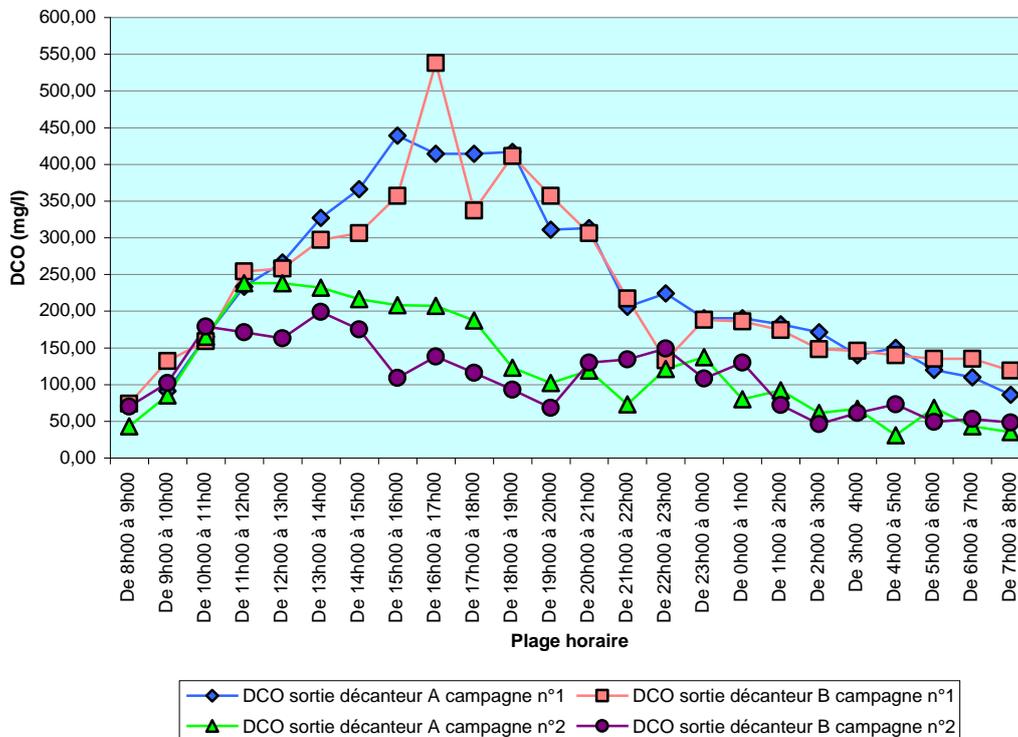


Figure 4 : Campagnes de suivi renforcé n°1 (17/02/2010) et n°2 (24/02/2010) – Evolution de la DCO



Avec un asservissement à la charge, les consommations de réactifs suivent mieux les variations journalières et/ou horaires de la qualité des eaux à décanter.

Il apparaît possible d'instaurer un pilotage des injections de coagulant (chlorure ferrique) et de floculant (polymère anionique) en tête des décanteurs primaires par asservissement à la charge, c'est-à-dire concrètement, à la turbidité des eaux à décanter.

Ce nouveau principe de gestion conduit à des performances épuratoires voisines de l'asservissement au seul débit relevé, voire même supérieures dans le cas d'effluents concentrés, sans détériorer les conditions d'exploitation.

Les turbidimètres en continu s'avèrent fiables et ne nécessitent pas un entretien et une maintenance trop contraignants.

Les 2 campagnes de suivi renforcé sur site, pratiquées le 17/02/2010 et le 24/02/2010 ont montré que l'asservissement à la charge pouvait être compétitif vis-à-vis de l'asservissement au débit. En effet même s'il peut coûter plus cher en haute saison, lorsque l'on a un effluent chargé, le coût de ce traitement est compensé en basse saison ou bien lors des journées à faible turbidité.

L'asservissement à la charge permet de mieux s'adapter à la qualité de l'effluent entrant dans la station. En effet, un débit relevé élevé en entrée de décanteur n'est pas obligatoirement le signe que l'effluent à traiter est chargé. Avec un asservissement au débit, on « surdose » les réactifs une bonne partie du temps.

Les essais en vraie grandeur menés en février 2010 à la station d'épuration du Nom indiquent qu'un asservissement des taux de traitement en coagulant et en floculant à la charge, c'est-à-dire à la turbidité des eaux à décanter, permet de stabiliser les rendements d'élimination et d'abattre un peu mieux les MES et la DCO. Les flux polluants sortant des décanteurs et entrant dans les filtres C sont plus réguliers. Le fonctionnement des filtres C devrait donc être moins perturbé par l'arrivée de brusques à-coups de pollution. Restera alors à essayer de minimiser les à-coups purement hydrauliques.

On peut aussi espérer que la moindre consommation de polymère anionique (floculant) ait un effet positif sur la rapidité de colmatage des filtres C et se traduise par un allongement de la durée des cycles de filtration.

En outre, l'asservissement à la charge devrait permettre de moins « surdoser » le chlorure ferrique. Un effet devrait se faire sentir, par voie de conséquence, sur les consommations en chaux.

Enfin, il devrait être possible de maintenir une concentration en phosphore (PO_4^{3-}) dans les eaux décantées suffisante pour assurer un bon fonctionnement des filtres biologiques situés en aval.

De ce point de vue, un compromis reste peut-être encore à trouver. Cela reviendrait à caler la formule d'asservissement du taux de traitement en chlorure ferrique non pas en vue d'obtenir des abattements optimaux des MES et de la DCO mais pour obtenir des abattements suffisants et conserver davantage encore de phosphore dans les eaux décantées. Ou autrement dit, à admettre une qualité d'eau décantée légèrement dégradée vis-à-vis des paramètres MES et DCO et optimisée vis-à-vis du paramètre phosphore.

Ces conclusions restent cependant à valider sur un temps d'expérimentation en vraie grandeur plus long, d'au moins une année.

L'asservissement à la charge repose sur un pilotage des injections de coagulant (chlorure ferrique) et de floculant (polymère anionique) en fonction de la turbidité de l'effluent brut. C'est pourquoi il est possible d'extrapoler ce qui se passerait dans différentes situations non observées le 17/02/2010 ou le 24/02/2010.

On peut anticiper les cas suivants :

☞ **Passage de « temps normal » à « temps de pluie » :**

Effluent dilué arrivant à grand débit à la station d'épuration

- Effluent moins chargé qu'en temps normal
- Diminution automatique des taux de réactifs injectés en amont du traitement primaire.

☞ **Passage de « temps normal » à « temps sec » :**

Débit plus faible arrivant à la station, et donc effluent plus concentré

- Augmentation de la turbidité
- Accroissement automatique des quantités de réactifs nécessaires pour le traitement de l'effluent.

☞ **Variations horaires de la charge polluante entrant dans la station :**

La charge en entrée de station fluctue tout au long de la journée avec des pics de charge entre 10h et 14h puis entre 16h et 19h. Par contre, la charge diminue fortement pendant la nuit

- Adaptation automatique (hausse ou baisse) des quantités de réactifs nécessaires pour le traitement de l'effluent en fonction de sa turbidité.

Cette extrapolation renforce l'intérêt d'un asservissement à la charge, c'est-à-dire finalement un calcul automatique des taux de traitement en coagulant (chlorure ferrique) et en floculant (polymère anionique) en fonction de la turbidité et du débit des eaux à décanter. On atténue ainsi les risques de sous-dosage ou de surdosage résultant d'un asservissement uniquement au débit, qui ne tiendrait pas compte des variations de la qualité des effluents bruts.

Il faudra cependant rester vigilant par rapport aux formules utilisées pour l'asservissement automatique, à la vérification de leur validité par réalisation de prélèvements, essais et mesures en laboratoire réguliers et à leur correction le cas échéant. Une attention toute particulière devra notamment être portée aux variations saisonnières de la qualité des effluents bruts. En effet, toutes les campagnes de suivi renforcé, que ce soient celles de 2005 et 2006 ou celles de 2010 se sont déroulées en haute saison hivernale.

Les retours d'expérience que l'exploitant accumulera dans les semaines et mois qui viennent pourraient conduire à définir des formules d'asservissement différentes selon la période de l'année à laquelle on se situe. On aboutirait, pour chacun des 2 réactifs (coagulant et floculant), à des jeux de formules valables de façon saisonnière :

- × Formules d'asservissement spécifique à la haute saison hivernale,
- × Formules d'asservissement spécifique à la basse saison hivernale et printanière,
- × Formules d'asservissement spécifique à la haute saison estivale,
- × Formule d'assainissement spécifique à la basse saison automnale et du début de l'hiver.

Au sein d'une même période, les 2 coefficients de paramétrage des formules (pente et ordonnée à l'origine) pourront être adaptés en fonction de la qualité de l'eau décantée, observée visuellement et telle qu'elle ressort des analyses d'autosurveillance pratiquées par l'exploitant.

La fiabilité et la reproductibilité des formules d'asservissement d'une année à l'autre seront également à surveiller. Cela dépendra probablement de facteurs tels que la météorologie, le taux de fréquentation par les touristes et les vacanciers lors des hautes saisons, ...

Les taux de traitement en réactifs étant adaptés à la qualité des eaux à décanter, les quantités consommées sont globalement moins importantes comme l'ont montré des simulations effectuées à partir des valeurs enregistrées en supervision (débit relevé et turbidité des eaux à décanter notamment) lors des mois de février, mars et avril 2010.

Les prix suivants ont été utilisés pour effectuer les simulations économiques :

- ✓ Chlorure ferrique (solution commerciale à 41% m/m) : 0,205 € par kg,
- ✓ Polymère anionique : 2,82 € par kg.

Comme en témoignent les chiffres repris dans le tableau ci-dessous, l'asservissement à la charge, tout en procurant des performances épuratoires équivalentes à celles de l'asservissement au débit, a permis de consommer 13,78 tonnes de chlorure ferrique et 57,77 kg de polymère anionique de moins. Il en résulte un gain économique légèrement inférieur à 3 000,00 € pour trois mois de fonctionnement, soit 0,007 € par m³ d'effluents traités.

Tableau 1 : Simulations pour les mois de février, mars et avril 2010

DESIGNATION	ASSERVISSEMENT A LA CHARGE	ASSERVISSEMENT AU DEBIT
Consommation de chlorure ferrique	25,75 tonnes	39,53 tonnes
Consommation de polymère anionique	362,94 kg	420,70 kg
Coût lié à la consommation de chlorure ferrique	5 279,58 €	8 103,82 €
Coût lié à la consommation de polymère anionique	1 023,48 €	1 186,38 €
Coût total	6 303,07 €	9 290,20 €
Volume d'effluents traité	442 846,00 m ³	442 846,00 m ³
Coût ramené au m³ d'effluent traité	0,0142 € par m³	0,0209 € par m³

Or, pour instaurer de façon pérenne un asservissement à la charge, les travaux et interventions listés ci-dessous sont à prévoir, pour un montant total d'investissements de l'ordre de 18 400,00 €.

- Installation de turbidimètres en entrée de décanteurs, dans le répartiteur (≈ 3 500,00 €),
- Installation de nouvelles pompes doseuses de chlorure ferrique (≈ 4 100,00 €),
- Réglage des pompes doseuses de chlorure ferrique et de polymère anionique par une société extérieure (≈ 10 800,00 €).

Les calculs et extrapolations effectués à partir des valeurs archivées en supervision pour le premier trimestre 2010 permettent d'évaluer à environ 5 ans le temps de retour sur investissement.

Comme signalé précédemment, les essais Jar-tests menés en laboratoire en novembre 2009 ont aussi permis de mesurer les effets de l'injection complémentaire d'un adjuvant de coagulation de type polymère cationique, un POLYDADMAC (FL4620) commercialisé par SNF FLOERGER.

Les doses de coagulant (chlorure ferrique) et d'adjuvant de coagulation (POLYDADMAC FL4620) ont été calculées de la manière suivante :

- ☞ Pour le coagulant (chlorure ferrique) : $D[\text{coagulant}] = C_{\text{OPT}} - 30\% C_{\text{OPT}}$,
- ☞ Pour l'adjuvant de coagulation (POLYDADMAC FL4620) : $D[\text{adjuvant}] = 30\% C_{\text{OPT}}$.

Avec C_{OPT} la concentration optimale en chlorure ferrique déterminée lors des essais Jar-tests consacrés à la recherche des coefficients a (pente) et b (ordonnée à l'origine) permettant d'asservir de manière linéaire les injections de réactif à la charge.

Les résultats obtenus, détaillés dans le tableau ci-après, montrent que les rendements d'abattement sont inférieurs lorsque l'on injecte du POLYDADMAC FL 4620 par rapport à une situation sans ajout d'adjuvant de coagulation. L'injection de POLYDADMAC FL4620 s'avère insuffisante pour compenser une diminution de 30% de la dose de coagulant, que ce soit du chlorure ferrique ou du PAC18. Les rendements d'élimination de la pollution sont inférieurs à ceux garantis par le constructeur (80% pour les MES, 65% pour la DCO et 85% pour le phosphore).

Tableau 2 :

DATE	DOSE $FeCl_3$ (g/ml)	DOSE POLYMERE ANIONIQUE (ppm)	DOSE FL4620 (g/m ³)	RDT DCO (%)	RDT MES (%)	RDT P (%)
09/11/2009	10,70	0,075	--	37,40	48,10	48,60
	7,50	0,05	0,32	33,60	43,20	48,60
12/11/2009	23,50	0,16	--	38,10	46,10	61,80
	16,40	0,11	0,71	33,70	40,80	60,30
17/11/2009	53,60	0,60	--	43,60	49,20	63,00
	37,50	0,75	1,37	29,40	33,10	39,00
22/12/2009	140,00	0,81	--	73,60	80,60	77,90
	98,00	0,81	4,20	68,50	75,10	39,60
11/01/2009	95,00	0,69	--	74,80	80,30	72,20
	66,50	0,69	2,80	77,40	95,20	79,20

Trois remarques sont cependant à prendre en compte :

- ✓ Une réduction de 30% de la dose de coagulant est peut-être trop importante. Si, dans le futur, de nouveaux essais sont reconduits, il serait sans doute opportun de limiter la diminution à 15, 20 ou 25%.
- ✓ L'expérience acquise par EAU DE PARIS à l'usine d'Orly, où du POLYDADMAC est injecté depuis plusieurs années, a mis en évidence qu'il devient contre-productif d'injecter de trop fortes doses d'adjuvant de coagulation. A Orly, la dose d'adjuvant de coagulation a été rendue indépendante de la dose de coagulant et ne dépasse par 1,00 g/m³. La valeur courante se situe autour de 0,75 g/m³.
- ✓ Le POLYDADMAC nécessite un temps de maturation avant d'être pleinement efficace. Il s'avère préférable de l'introduire en amont du coagulant, en ménageant un intervalle de 2 à 3 minutes entre les 2 injections.

La réalisation d'une campagne d'essais en vraie grandeur sur l'une des chaînes de la station du Nom permettrait de mieux cerner les effets de l'adjuvant de coagulation, en particulier en ce qui concerne la consommation de chaux et de soude et la production de boues.

Finalement, outre l'amélioration des performances épuratoires, notamment vis-à-vis des matières en suspension, et la réduction des quantités de réactifs consommées, les objectifs additionnels suivants pourraient être recherchés :

- ✓ Acceptation d'une qualité d'eau décantée très légèrement dégradée pour les paramètres « Turbidité », « DCO » et « MES » mais contenant encore davantage de phosphore sous forme PO_4^{3-} ,
- ✓ Maîtrise de l'injection de polymère cationique (POLYDADMAC ou autre produit) de manière à réduire les doses de chlorure ferrique,
- ✓ Utilisation de sondes de détection de voile de boues pour piloter les purges des décanteurs.

Toutefois, les performances des mesures engagées ne pourront correctement et valablement être appréciées que s'il est confirmé que les décanteurs des chaînes A et B marchent à l'identique.

Pour terminer, outre le travail sur les injections de réactifs en tête des décanteurs primaires, il serait sans doute profitable de revoir la conception et le dimensionnement du poste de relevage qui assure le refoulement des effluents stockés dans la bache d'eaux boueuses.

Aujourd'hui, la recirculation d'effluents en tête des décanteurs primaires repose sur 4 pompes de fort débit unitaire (350 m³/h), fonctionnant selon un mode « 3 en service + 1 en secours » et dont une seule peut marcher en variation de vitesse à un instant t.

Les conditions d'exploitation de la station du Nom en 2010 sont telles que le débit entrant dans la bache d'eaux boueuses peut varier de 0,00 à environ 730,00 m³/h alors que les pompes en place couvrent de façon discontinue des gammes de débit allant de 40,00 à 300,00 m³/h puis de 340,00 à 520,00 m³/h et de 520,00 à 820,00 m³/h.

L'installation d'une pompe « jockey » d'un débit unitaire plus faible ($\approx 25,00$ m³/h) et dotée d'un variateur de vitesse qui lui serait propre pourrait permettre de lisser la recirculation des eaux boueuses et par conséquent, de limiter les à-coups hydrauliques qui altèrent aujourd'hui les performances épuratoires des décanteurs, notamment vis-à-vis de l'élimination des matières en suspension.

Cette modification, qui pourrait être couplée à une gestion des niveaux dans la bache d'eaux boueuses différente, basée sur 4 seuils au lieu de 2, requiert cependant des études plus approfondies et des investissements sans doute importants.

La décision de lancer ces travaux pourrait être reportée d'une année ou deux, le temps de bien cerner ce que procureront en matière de stabilisation du lit de boues des optimisations plus simples à mettre en œuvre telles que :

- ☞ L'asservissement des injections de chlorure ferrique et de polymère anionique à la charge,
- ☞ L'introduction d'un réactif complémentaire, un polymère cationique (POLYDADMAC ou équivalent) qui jouera à la fois un rôle de flocculant et un rôle d'adjuvant de coagulation,
- ☞ La mise en place de sondes de détection de voile de boues destinées à piloter les extractions des fonds des décanteurs.

La faisabilité et l'opportunité de la mise en œuvre d'autres dispositions pourraient aussi être examinées. Par exemple, l'idée de mettre en service un plus grand nombre de filtres C et de filtres N que cela n'était fait à l'époque pour essayer de répartir la charge polluante émise par les décanteurs et ainsi, ralentir l'encrassement, n'a pas encore été développée. L'étalement des lavages sur 24 heures de façon à limiter les à-coups hydrauliques et à laisser aux filtres le temps de se stabiliser entre 2 lavages reste également une voie à approfondir.

RESUME METHODOLOGIQUE

N°	ETAPE	OBJECTIFS	DOCUMENTS ET INFORMATIONS NECESSAIRES	OBSERVATIONS
1	AUDIT DES INSTALLATIONS EXISTANTES	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prendre connaissance des conditions d'exploitation, des principes de conception et de dimensionnement ▪ Caractériser les performances obtenues et les comparer aux engagements du constructeur ☞ Etablir un état initial de référence 	<ul style="list-style-type: none"> × Mémoire technique constructeur × Schémas et plans × Résultats des analyses d'autosurveillance (3 dernières années) × Données archivées par le système de supervision (3 dernières années) 	--
2	RENFORCEMENT DU PLAN D'AUTOSURVEILLANCE ET DE L'INSTRUMENTATION EN CONTINU	Mieux appréhender la qualité des effluents à traiter et des eaux traitées ainsi que leur variabilité horaire, journalière et/ou saisonnière	<ul style="list-style-type: none"> × Plan d'autosurveillance existant, avec indication des méthodes d'analyse employées × Fiches techniques d'analyseurs de qualité en continu 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pour le plan d'autosurveillance : liste des paramètres suivis et fréquences à adapter ✓ Pour les analyseurs en continu : <ul style="list-style-type: none"> – Choisir des matériels donnés comme adaptés à la qualité des effluents à analyser – Prévoir des périodes d'essais in situ suffisamment longues pour s'assurer du bon fonctionnement des appareils, de la représentativité et de la fiabilité des résultats et de la faisabilité des tâches d'entretien et de maintenance
3	RECHERCHE DE PARAMETRES TEMOINS DE L'EFFICACITE DES DECANTEURS LAMELLAIRES ET DE CORRELATIONS ENTRE EUX	Identifier un ou des paramètres qui permettront de mesurer la pertinence des pistes d'optimisations recensées et mises en œuvre	--	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Dans le cas des stations d'épuration exploitées par le Syndicat d'Assainissement des Aravis, le choix s'est porté sur la turbidité, la teneur en MES, l'absorption UV à 260 nm et la DCO. ✓ Les corrélations inter-paramètres ont été mises en évidence par la réalisation de bilans sur 24 heures (Prélèvement d'un échantillon par heure et analyse en laboratoire).

N°	ETAPE	OBJECTIFS	DOCUMENTS ET INFORMATIONS NECESSAIRES	OBSERVATIONS
4	<p align="center">RECHERCHE D'UN PARAMETRE AUQUEL ASSERVIR LES INJECTIONS DE REACTIFS EN TETE DES DECANTEURS LAMELAIRES (COAGULANT ET FLOCULANT) EN COMPLEMENT DU DEBIT</p>	<p align="center">Permettre aux injections de réactifs de s'adapter en temps réel aux variations non seulement du débit entrant mais aussi de la qualité des effluents bruts</p>	<p align="center">--</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Dans le cas des stations d'épuration exploitées par le Syndicat d'Assainissement des Aravis, le choix s'est porté sur la turbidité. De cette façon, l'accent a essentiellement été focalisé sur l'élimination des matières en suspension tout en conservant un bon abattement des matières organiques. Si l'on souhaite privilégier l'élimination des matières organiques, comme la DCO ne se mesure pas aisément en continu, il conviendra plutôt de sélectionner comme paramètre d'asservissement l'absorption UV à 260 nm. ✓ Afin de ne pas compliquer excessivement les régulations, nous nous en sommes tenus à des équations linéaires « Dose réactif = a x turbidité + b » Les équations ont d'abord été pré-déterminées par réalisation d'essais Jar-tests puis affinées et confortées par des essais en vraie grandeur (bilans sur 24 heures). ✓ Si la station d'épuration dispose de 2 files distinctes de traitement, utiliser cet avantage pour organiser des essais en vraie grandeur simultanés et comparatifs.
5	<p align="center">CONFIRMATION DE LA PERTINENCE DES ASSERVISSEMENTS AUTOMATIQUES DES INJECTIONS DE REACTIFS (COAGULANT ET FLOCULANT) EN FONCTION DE LA TURBIDITE</p>	<p align="center">S'assurer que les premiers résultats obtenus ne sont pas spécifiques d'une période de l'année et d'une certaine qualité d'effluents</p>	<p align="center">--</p>	<p align="center">Instaurer une expérimentation en vraie grandeur pendant une année complète, de façon à vivre toutes les situations, et un suivi renforcé du fonctionnement et des performances des décanteurs lamellaires (débits, qualités d'effluents, consommations de réactifs, marche des analyseurs en continu, ...)</p>

N°	ETAPE	OBJECTIFS	DOCUMENTS ET INFORMATIONS NECESSAIRES	OBSERVATIONS
6	<p align="center">ORGANISATION D'ESSAIS D'INJECTION D'UN POLYMERE CATIONIQUE (POLYDADMAC OU AUTRE PRODUIT COMMERCIAL ADAPTE)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stabiliser le lit de boues vis-à-vis des à-coups hydrauliques ▪ Réduire les taux de traitement en chlorure ferrique ☞ Moins acidifier l'eau et ainsi, consommer moins de chaux pour ajuster le pH ☞ Limiter l'abattement du phosphore (PO_4^{3-}) lors de la clarification primaire pour optimiser le fonctionnement des filtres nitrifiants (filtres N) ▪ Supprimer le flocculant (polymère anionique) ☞ Moins colmater les filtres C et allonger la durée des cycles de filtration 	--	<p>Cette piste d'optimisation reste à tester lors d'essais in situ, en vraie grandeur. Une chaîne de clarification servira de témoin (chlorure ferrique à dose optimale + polymère anionique). L'autre sera dédiée aux essais (Etape n°1 : Polymère cationique + chlorure ferrique à dose réduite + polymère anionique / Etape n°2 : Polymère cationique + chlorure ferrique à dose réduite)</p>