

TRAITEMENT DES MICROPOLLUANTS – VERS LES RÉALISATIONS

ARPEA-VSA 2015

DES DÉFIS POUR L'INGÉNIEUR

Jean-Marc Cuanillon, Samuel Besse

www.bg-21.com

■ INGENIOUS SOLUTIONS





CONTENU

- Tâches de l'ingénieur
- Défis à priori
- Le chemin parcouru et les questions (plus ou moins) ouvertes
- Les familles de solutions
- Intégration le long de la filière
- Critères d'appréciation
- Approche environnementale intégrale ?
- STEP Sophia-Antipolis, quelques retours





QUELLES SONT LES TÂCHES ET DÉFIS DE L'INGÉNIEUR ?

TÂCHES DE L'INGÉNIEUR

- valeurs de dimensionnement et objectifs de traitement
- analyse rendement de la STEP existante
- dimensionnement + emprise des variantes de projet
- implantation générale dans les infrastructures existantes
- conseiller le MO dans le choix des variantes
- Être un interlocuteur compétent avec les fournisseurs
- Établir un concept de conduite et de réglage
- Conduire le projet et la réalisation à travers les phases SIA !

QUELS SONT A PRIORI LES DÉFIS POUR L'INGÉNIEUR QUI VEUT RÉALISER ?

- Même si beaucoup d'études ont été réalisées, il y a encore **peu de recul sur des réalisations**
- L'ingénieur doit bien conseiller le maître de l'ouvrage au sujet de l'état de l'art, qui est encore en **évolution rapide**
- il faut gérer au mieux une certaine **incertitude technique et environnementale** résiduelle qui n'est pas présente sur les procédés biologiques conventionnels



OÙ EN SOMMES-NOUS ?

LE CHEMIN PARCOURU

- essais pilotes Regensdorf 2009, Vidy 2011 (rapports ad-hoc)
- "Aide à la conception" (Ville de Lausanne)
 - Recommandations process ("traitement biologique poussé COD / N / MES pour favoriser le traitement MP", doses nécessaires, etc.)
 - Recommandations constructives (bétons, joints, passages muraux etc.)
 - Checklists techniques applications ozone et CAP

EXEMPLES DE QUESTIONS OUVERTES

- Questions générales: débit dimensionnement, redondances
- **Procédés à CAP:**
 - dosage de CAP en amont du décanteur final ou de la biologie ? (alternative à réacteur séparé avec nouvelle sédimentation)
 - procédés de séparation optimaux ? Décantation + FS ou séparation directe sur filtre ou membrane ?
- **Procédés à O₃**
 - Peroxyde d'hydrogène: potentiel des radicaux OH pour micropolluants difficilement oxydables ?
 - Concept de régulation. Régulation par absorption UV à tester;
 - Toxicité des sous-produits

QUESTIONS OUVERTES - TRAVAUX DU VSA

-> Présentations précédentes !

LE PROBLÈME DE L'UP-SCALING

- performance sur essais pilotes **transposable à grande échelle** (full scale) ?
- fournisseurs seront-ils prêts à **garantir** ces niveaux de performance sur une grande installation ?
- Résultats essais pilotes **transposables sur autre installation** ?
- Exemple: séparation par membrane – problème de l'up-scaling (débit surfacique atteignable, garanties, colmatage, besoin de lavage chimiques, conso. énergie).



QUELLES SONT LES FAMILLES DE SOLUTIONS ?

LES FAMILLES DE SOLUTIONS

- Variantes **ozone + filtration biologique**: cinétique d'oxydation, l'efficacité f(structure moléculaire)
- Variantes **CAP/G + séparation (filtration ou UF)**: adsorption -> affinité pour les molécules polaires

Remarques

- *Technologies eau potable appliquées de longue date (O3 à Nice depuis 1906, CA comme adsorbant dès 1960).*
- *Transposition dans les eaux usées: contraintes suppl. (variations de charge)*
- *Certaines substances mieux éliminées par l'un ou l'autre procédé*

■ **Procédés combinés**

O3 + CA (diff. technologies) + séparation CA (filtration ou UF)

LES FAMILLES DE VARIANTES

OXYDATION A L'OZONE

Mise en œuvre

- Production O₂ par stockage LOX ou à partir de l'air
- Ozoneur(s)+ Réacteur de contact à 1-3 chambres
- Régulation Q, résiduel, Abs. UV
- Traitement biologique subséquent

Avantages typiques

- Coût, emprise faible

Inconvénients typiques

- Question des sous-produits, affinités substances

LES FAMILLES DE VARIANTES – ADSORPTION SUR CHARBON ACTIF

Mise en œuvre

- Par réacteur de contact mélangé ou à lit fluidisé
- Séparation du charbon par filtre à sable ou membranes
- Différents schémas de recirculation

Avantages typiques

- Adsorption des MP sans formation de sous-produits

Inconvénients typiques

- coûts plutôt élevés, complexité régulation, affinités substances

Dose à appliquer – nécessaire flexibilité (-> 25 g/m³) pour gérer les incertitudes de performance

LES FAMILLES DE VARIANTES – PROCÉDÉS COMBINÉS O₃/CA

Mise en oeuvre

- Avec accent plus ou moins marqué sur l'ozone ou sur le CAP/G
- Dosages O₃ et CAP variables et ajustables (*p.ex. de 0-12 gO₃/m³, CAP 0-25 g/m³*)
- Temps de contacts CAP typiques 10-20 min (temps de séjour CAP découplé)
- Utilisation partielle ou totale en "tout CAP" possible

Avantages typiques

- Spectres d'action élargi (+ attaque O₃ rend adsorbables des substances qui ne l'étaient pas)

Inconvénients typiques

- Complexité (régulation, optimisation), év. coûts



POINTS-CLÉS POUR LA CONCEPTION

POINTS-CLÉS POUR LA CONCEPTION

Choix process de traitement

- développement continu + peu de recul -> **imposition délicate** de la filière de traitement dans le cahier des charges.
- Sauf si conditions cadres précises (substances de référence imposées) orientent clairement vers une variante

Conception des réacteurs (ozonation, dosage CAP) – l'imposer (hydraulique, T_{contact}), l'encadrer, la laisser libre ?

Garanties à obtenir -> l'ingénieur doit aujourd'hui **encadrer** cette conception, c-à-d

- Imposer un cadre minimum approprié
- questionner la conception proposée par le fournisseur (dimensionnement, hydraulique, layout, régulation)

LES GARANTIES

Valeurs de garantie d'entrée

- cahier des charges doit indiquer les valeurs garanties en sortie de l'étage biologique en (y.c. COD et NO₂)
- Base pour les garanties complètes en sortie MP

Valeurs d'entrée maximales

- Valeurs à gérer sur le traitement mais sans garanties de sortie complètes

Quelques besoins

- système rigoureux de garanties techniques et commerciales et de procédures de test de performance
- Définition claire du rendement

INTERACTIONS LE LONG DE LA FILIÈRE

- à prendre en compte !
- à plus forte raison si étapes process = lots adjudgés séparément. **Quelques exemples:**
- **Niveau de traitement biologique**
 - influence coût du traitement biologique (une garantie de 0.3 au lieu de 1 mgNO₂/l peut = surcoût de 10%)
 - influence dimensionnement + coût d'un traitement à l'ozone (-> dose en gO₃/gCOD ou /gN-NO₂.)
 - -> chercher l'optimum des coûts
- des **pertes en eau (lavage)** plus faibles pourront limiter la charge sur la décantation primaire.

INTERACTIONS LE LONG DE LA FILIÈRE

■ Filières CAP

- Introduire des boues avec CAP en digestion ?
- dosage dans boue activée: extraction semble possible avec boues en excès / primaires. Plus difficile avec les filières comprenant une biofiltration.

■ séparation CAP par membranes

- permet d'améliorer la qualité du rejet (eau de baignade).
- produisent beaucoup de boues (rejet MES < 1 mg/l) : impact sur traitement des boues et retours liés.

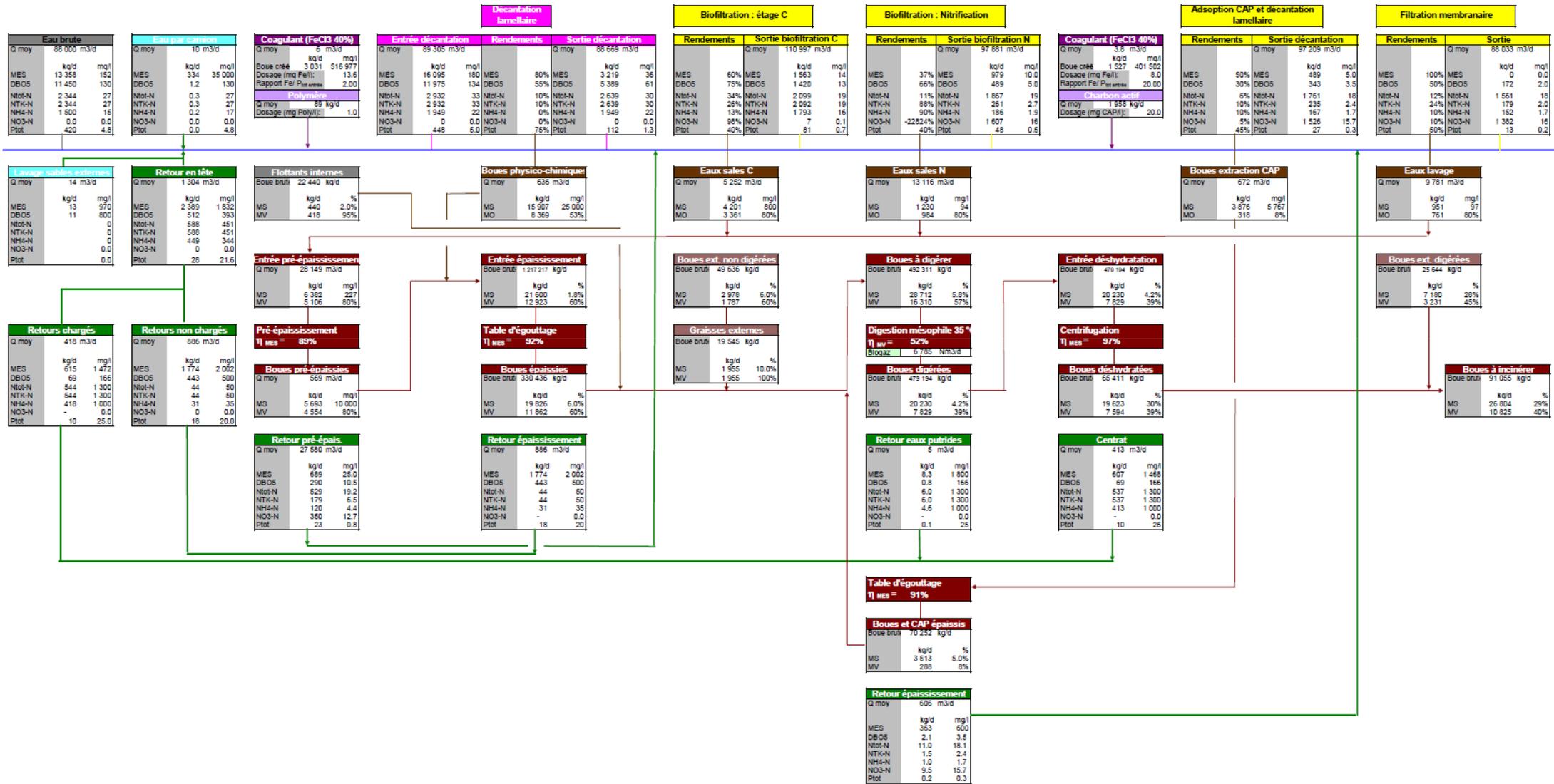
INTERACTIONS LE LONG DE LA FILIERE

- nécessité de pouvoir mettre en œuvre un **bilan de matière** global sur l'ensemble de l'installation
- différents cas de charges p.ex TTC 50, 85, 95%
- simulation des répercussions des ajustements process
- réviser les dimensionnements et coûts

BILAN DE MATIÈRE: STEP DE VIDY

STEP Vidy - Renouvellement des filières
Bilan de matière - Schéma des flux - Phase 2

Situation S0 TTC 50 %





QUELS SONT LES CRITÈRES D'APPRÉCIATION ?

CRITÈRES D'APPRÉCIATION - EXEMPLES

S'entendre à l'avance avec le MO sur les critères et sous-critères d'évaluation

- Conception générale, aspects qualitatifs, références
- Planning, phasage, emprise au sol
- Exploitabilité, ergonomie, flexibilité -> M. Duperrex
- Impact sur environnement, nuisances
- Fiabilité, robustesse
- Organisation, service après-vente
- Investissements (CAPEX). Prise en compte des charges induites (GC, EMCRC, CVSC)
- Coûts d'exploitation (OPEX); énergie, consommables, pièces d'usure (tube diélectriques, lampes UV, membranes, etc.)

CRITÈRES D'APPRÉCIATION – IMPACT ENVIRONNEMENT / SOUS-PRODUITS O3

évaluation du risque lié aux sous-produits traitement O3

- "études démontrent l'absence de risque toxique (ou seulement dans des cas particuliers)"
- "concentrations résiduelles très faibles + on retraite l'eau potable derrière !"
- "oui, mais on sait peu de choses concernant les effets cumulatifs, le principe de précaution doit prédominer"
- "les bromates -> problème important pour l'EP" ou "sont un problème surévalué (et d'ailleurs, comment agit la dilution)?"

-> échanger sur ces sujets avec le maître de l'ouvrage et/ou l'autorité cantonale pour définir une ligne d'appréciation

CRITÈRES D'APPRÉCIATION – ÉLÉMENTS DE SYNTHÈSE

- Chaque procédé avec ses **avantages et inconvénients propres**
- Enjeux **coûts / aspects environnement** entre O₃ et CAP "purs"
 - Ozone est tendanciuellement moins cher en CAPEX,
 - CA peut être considéré un avantage en terme de rejets de sous-produits
- Suivants la pondération utilisée, ces deux critères peuvent p.ex. **se compenser** tout ou partiellement
- Où veux-je mettre l'accent ?

APPROCHE ENVIRONNEMENTALE INTÉGRALE

- impossible **d'objectiver** les composantes environnementales dans une démarche "traditionnelle" d'évaluation multicritère (au-delà consommation directe d'énergie ou de réactifs)
- exemple énergie grise du CA
- une évaluation "rigoureuse" pourrait être intégrée à l'aide **d'analyses de cycle de vie** (ACV ou écobilans)
- toutes les composantes de projet, de la **production/fabrication** (matériaux, équipements, consommables,...) à la **construction**, l'**exploitation** jusqu'à **la déconstruction**.
- une telle approche est déjà réalisée par BG sur des projets de filières "conventionnelles" de traitement des eaux ou des boues



UN EXEMPLE DE RÉALISATION

STEP de Sophia-Antipolis

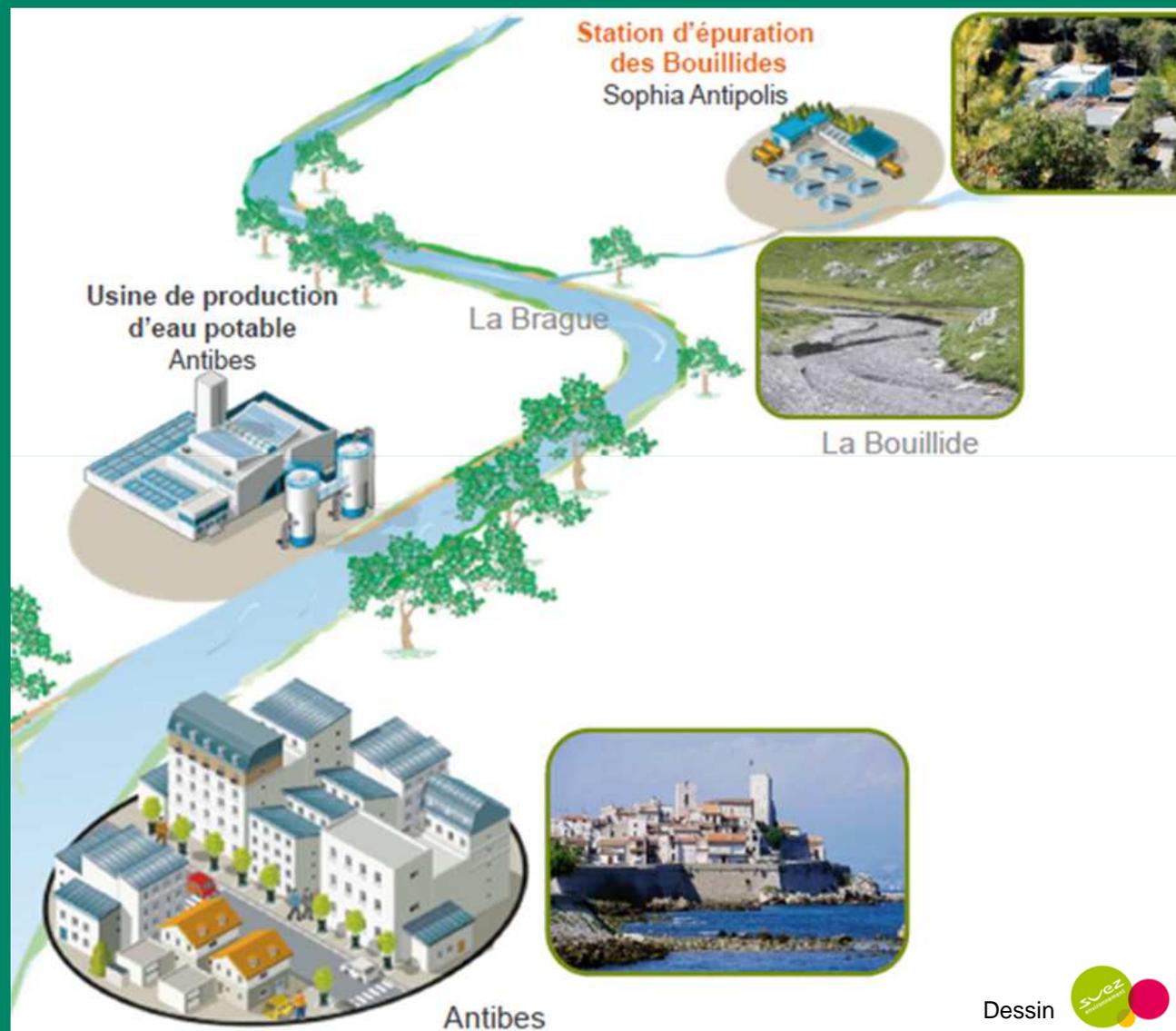
STEP DE SOPHIA-ANTIPOLIS – LES BOUILLIDES

Première STEP
d'Europe à traitement
par ozonation et
filtration

À terme 50'000 EH,
mise en service fin 2012

Prises d'eau potable de
la ville d'Antibes à l'aval

Problèmes
eutrophisation exutoire
-> dénitrification
demandée



STEP DE SOPHIA-ANTIPOLIS – GARANTIES

Micropolluants

33 substances à traiter (11 pesticides, 5 métaux, 6 composés organiques chlorés, 6 HAP, 3 COV, 2 alkylphénols)

Concentrations maximales en sortie station

0,01 à 1 µg/L

Rendements minimums sur l'ozonation (%)

15 à > 80%

Macropolluants

MES	10 mg/l ou 90%
DBO5	5 mg/l ou 80%
DCO	40 mg/l ou 75%
N-TK	7 mg/l
P total	1 mg/l



MAITRE D'OEUVRE



MANDATAIRE DU MAITRE D'OUVRAGE



MANDATAIRE



CO-TRAITANT GENIE-CIVIL



EXPLOITANT



CONTROLEUR
TECHNIQUE

SPS SUD EST

COORDINATEUR
SECURITE

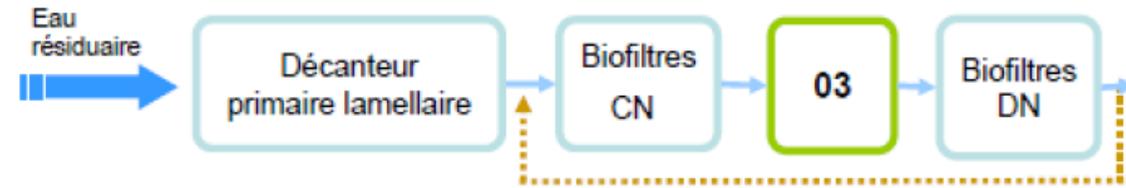
ETIENNE
MARY
architecte
D P L G

ARCHITECTE



GEOTECHNICIEN

STEP DE SOPHIA-ANTIPOLIS



Filière par biofiltration BIOFOR CN + O3 + DN

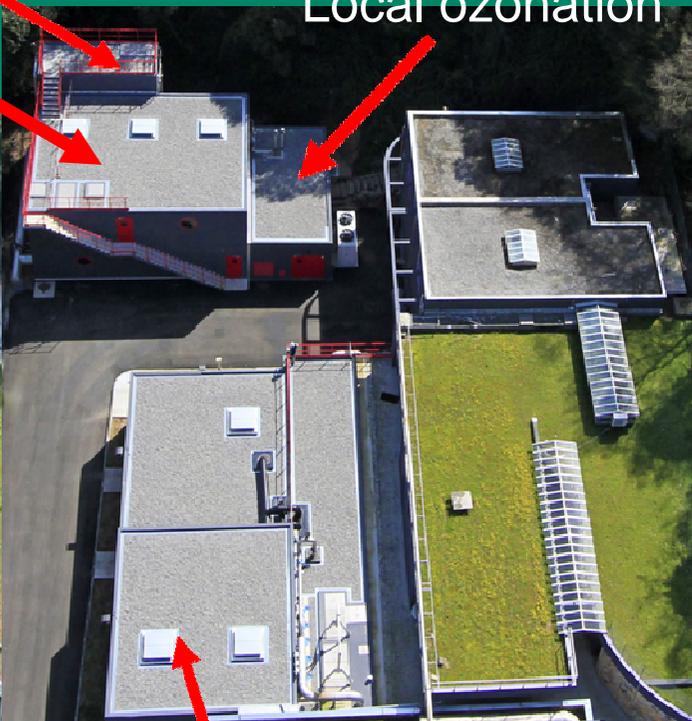
- Très fortes contraintes d'espace sur le site
- 1 générateur d'ozone type CFV-10 – Ozonia
- Production d'ozone à l'air
- Capacité de production maximale de 5.2 kgO₃/h
- Dose d'ozone appliquée: 5 gO₃/m³ (COD 10 mg_C/l (+/- 2 mg_C/l), 0.5 mgO₃/mgDOC).

Contact

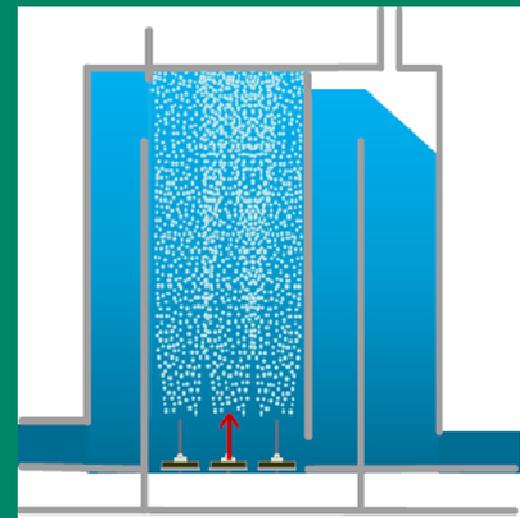
- Hauteur d'eau élevée (7 m) au dessus des poreux
- Contraintes et exigences -> temps de contact: 10 min
- Collecte de l'ozone résiduel et destruction thermo-catalytique

STEP SOPHIA ANTIPOLIS – QUELQUES IMAGES

Contacteur O3
Local ozonation
Filtres DN



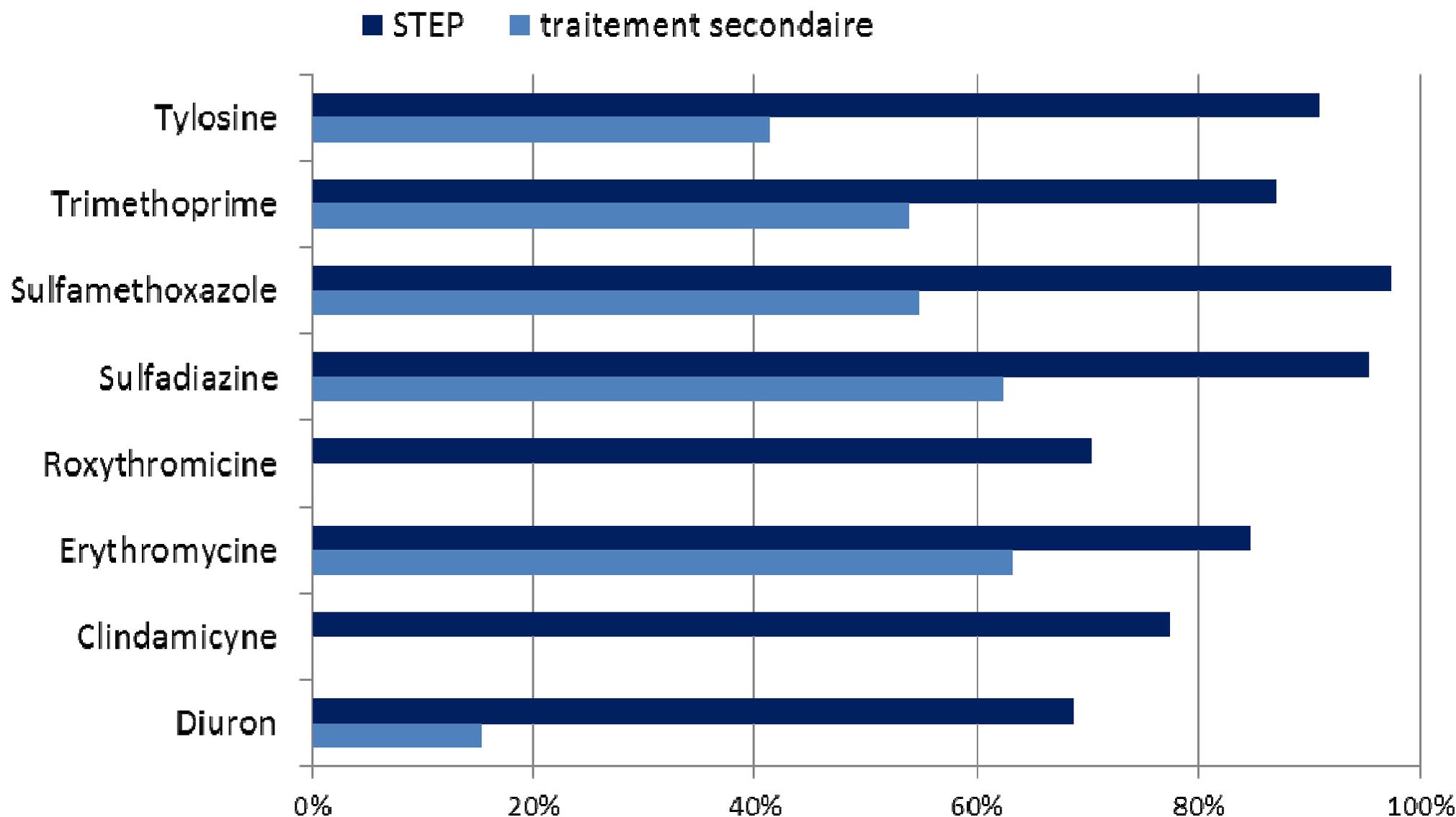
Filtres C/N



QUELQUES ENSEIGNEMENTS

- MES en sortie 2014 environ 5 mg/l
- résultats provisoires: rendement élimination MP: 70-98%.
Substance de référence Diuron 70% (15% sur le secondaire, 55% sur le tertiaire)
- transfert O₃ proche de 95%,
- pas de résiduel O₃ en sortie de contacteur, sursaturation en oxygène en dessous du filtre DN final non problématique
- rendement en dénitrification 80% dans le corps et la partie supérieure du filtre (*en 2014: 7-8 mg/l N_{tot} et 4 mg/l NTK*)
- **objectifs de traitement atteints**

RENDEMENTS D'ÉLIMINATION – CAMPAGNE 2012



MICROPOLIS - PROCÉDÉS

Evaluation de traitements avancés des MICROpolluants à Sophia
AntiPOLIS

Leader: IRSTEA

- Partenaire: Suez Environnement
- Contribution technique: Syndicat des Bouillides, Degrémont, Ozonia, Lyonnaise des Eaux
- Support financier: Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse
- Durée: 36 mois – 2014 - 2016

Objectifs

Evaluation technique, économique et environnementale des performances de traitement des micropolluants du traitement tertiaire de la STEP de Sophia Antipolis

Description

Lot 1: Suivi des performances pour différentes conditions opératoires (dose d'ozone) et de qualité d'eau à traiter

- 4 campagnes sur la STEP des Bouillides

Lot 2: Optimisation du traitement et modélisation

- Etude cinétique en batch et modélisation de la dégradation de molécules cibles

Lot 3: Evaluation des impacts environnementaux de la filière tertiaire

- Audit énergie et Analyse de cycle de vie





UNE CONCLUSION ...PROVISOIRE !

CONCLUSION... PROVISOIRE

- ... "état de l'art encore en *évolution rapide*".
- ... "certaine *incertitude technique et environnementale*"
- ... "encore *peu de recul sur des réalisations*".

Certes, mais ça change !

- avec le recul en traitement de l'eau potable, on (ingénieurs, fournisseurs) **sait construire** des installations à l'O3, CAP/G, membranes, etc. qui soient durables
- Aujourd'hui, il est possible dans beaucoup de cas de **maîtriser suffisamment le cadre technique** pour avancer vers les réalisations

BILAN SUR LES DÉFIS POUR L'INGÉNIEUR

■ Compétences process

- *connaître l'état de la discussion technique, avoir du recul sur les avantages et inconvénients respectifs des procédés*
- *Savoir concevoir / dimensionner les installations*
- *Être un interlocuteur compétent et critique vis-à-vis des fournisseurs*

■ Compétences gestion de projet

- *contexte spécifique de chaque STEP -> conseiller sur la démarche de projet*
- *conseiller le MO également en matière de prise de risque*
- *Être d'une grande rigueur sur la gestion de projet*

BILAN SUR LES DÉFIS POUR L'INGÉNIEUR

■ Compétence construction

- STEP avec traitement tertiaire: grande complexité
- Grande exigence de maîtrise de la coordination interdisciplinaire (conception générale, E, MCRC, CVSC, Architecture, etc.)
- Grande interaction entre les choix process et les coûts de génie civil (et autres)
- -> expérience demandée en ingénierie totale !

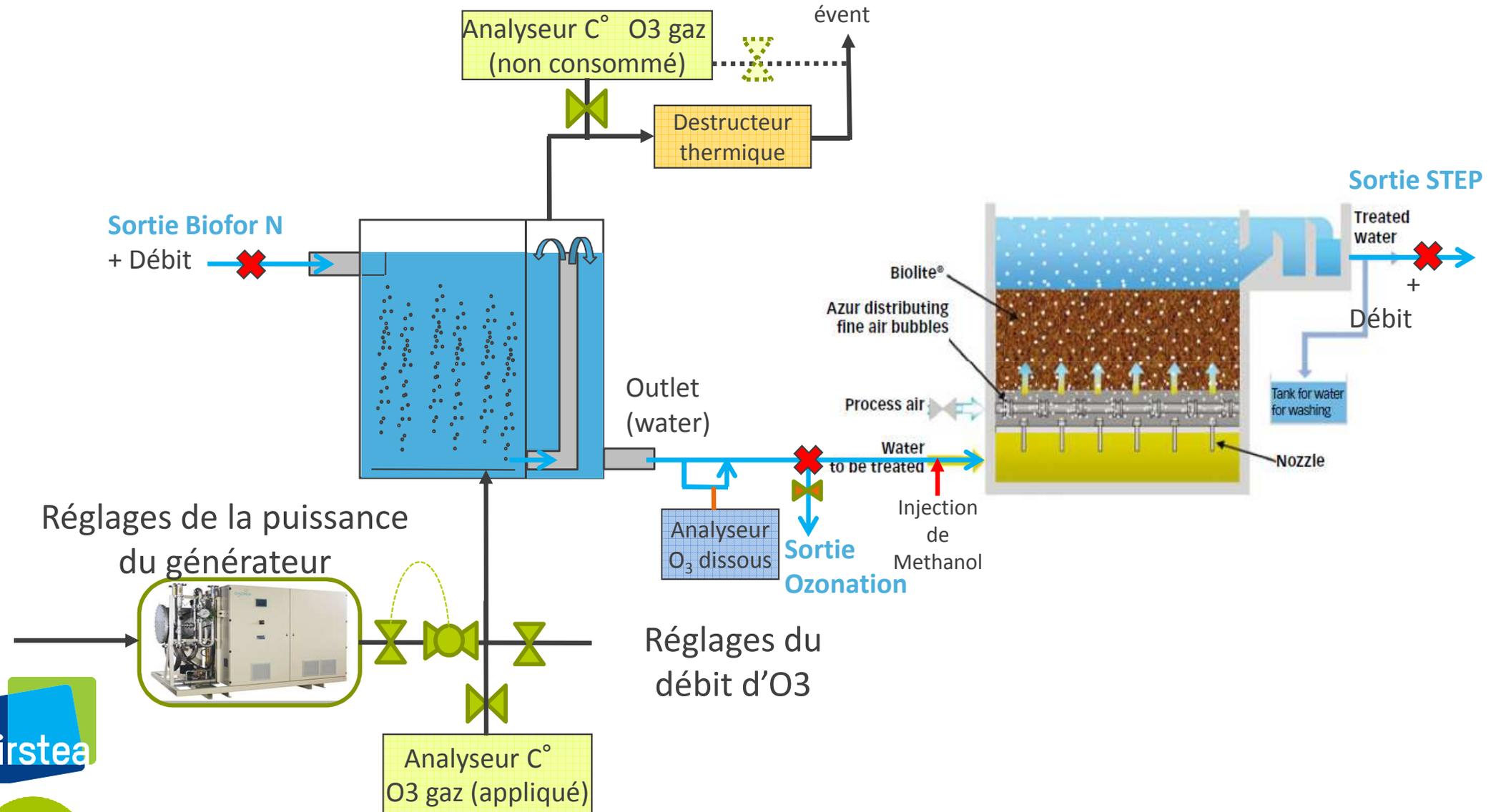


MERCI DE VOTRE ATTENTION !

Ci-dessous réserve

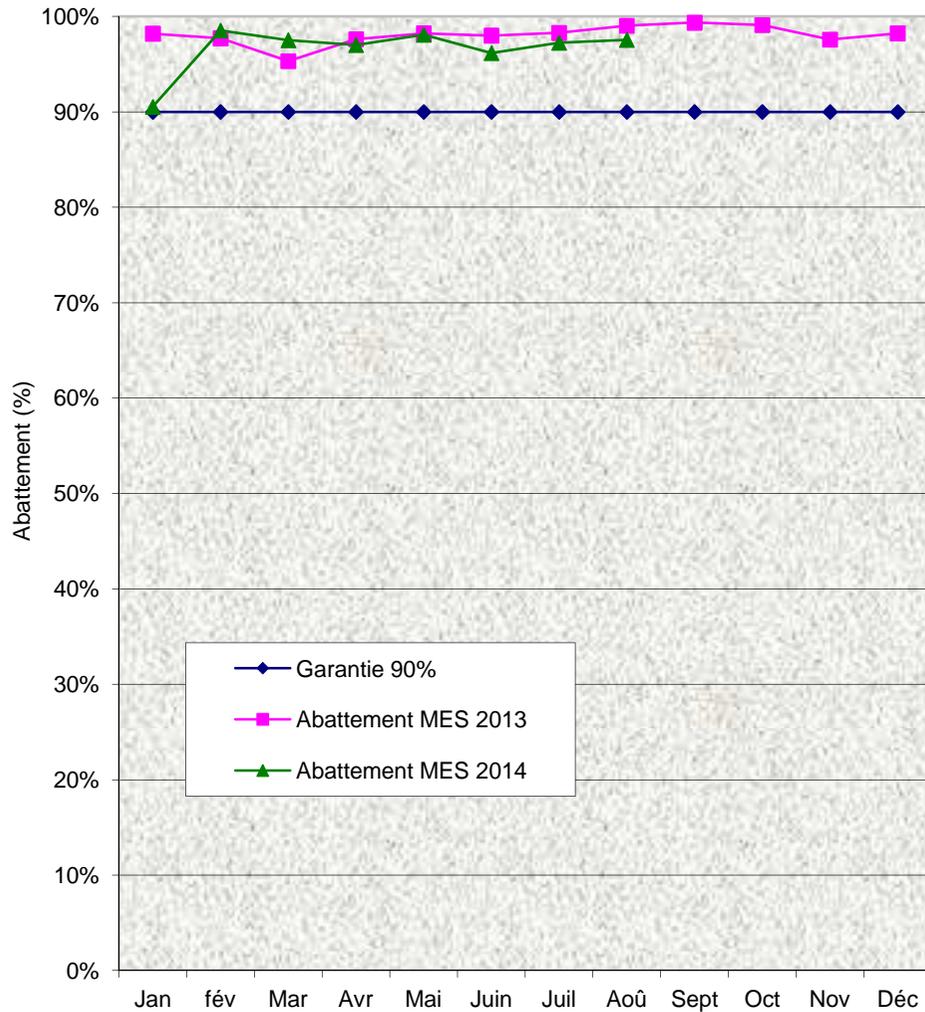
MICROPOLIS - PROCÉDÉS

Monitoring de l'ozonation à Sophia Antipolis

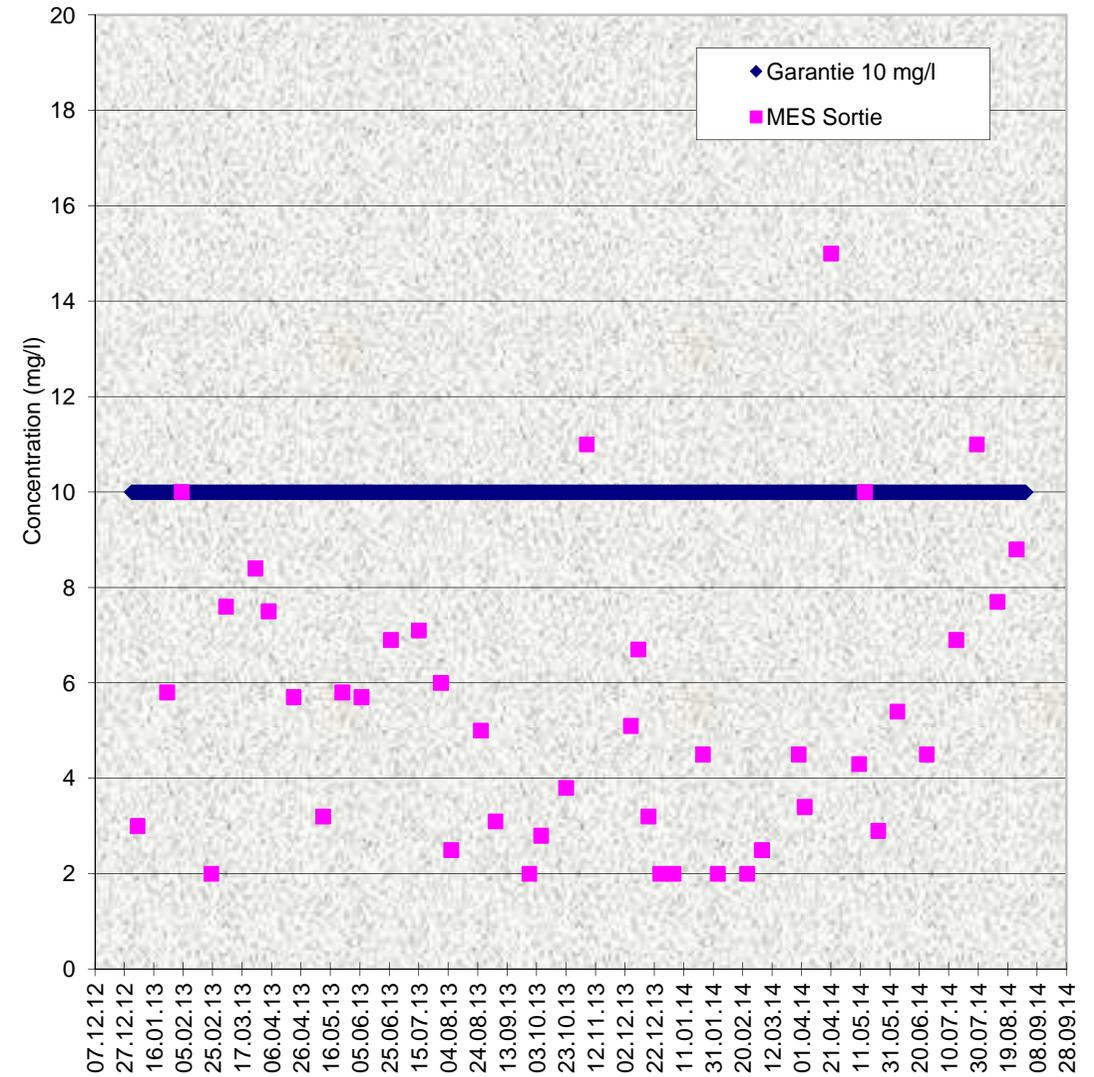


5. CHARGES SORTANT DE LA STATION – MES

Evolution Abattement MES 2013-2014

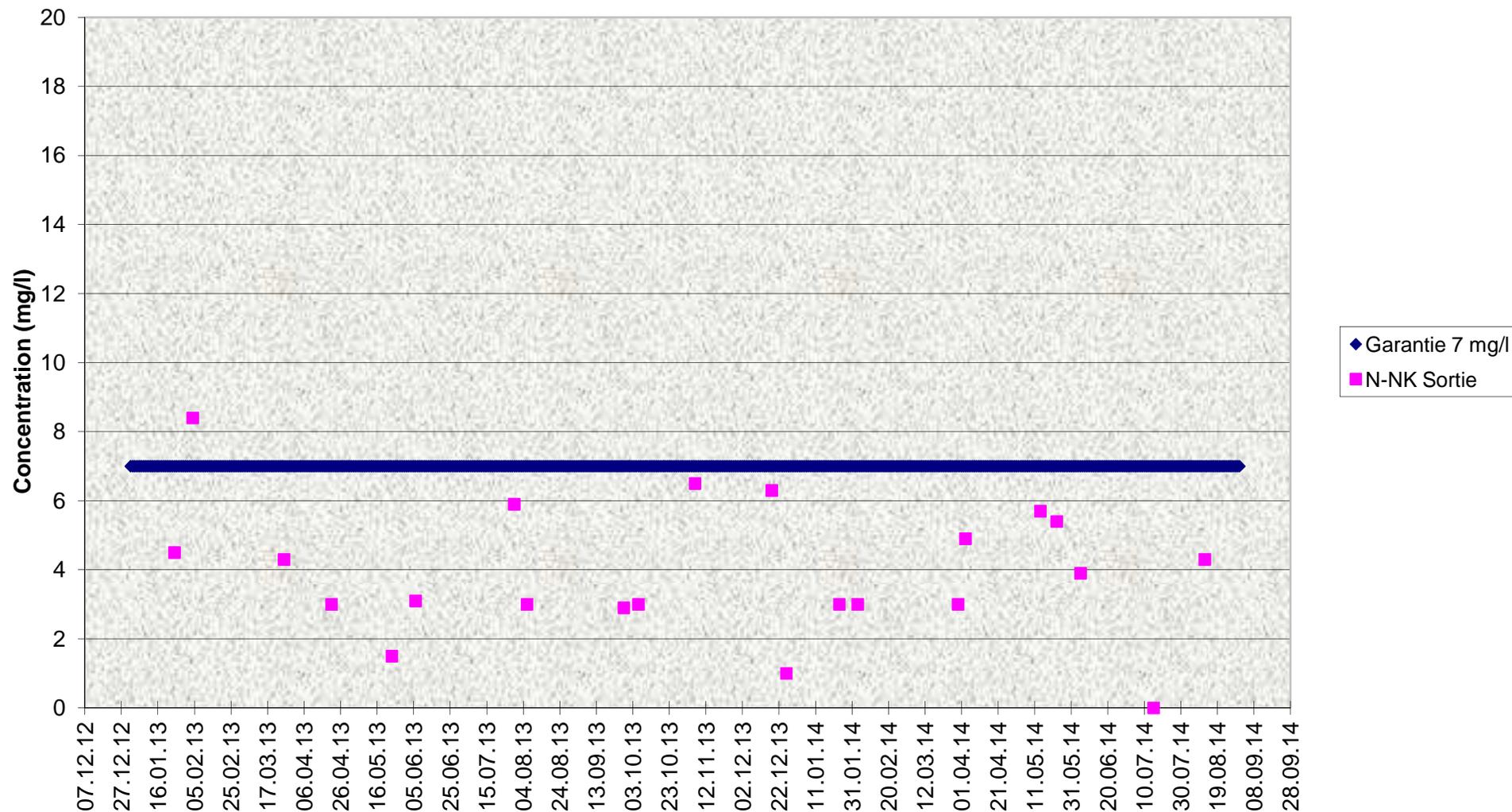


Evolution MES rejetée 2013-2014 selon relevé Autosurveillance



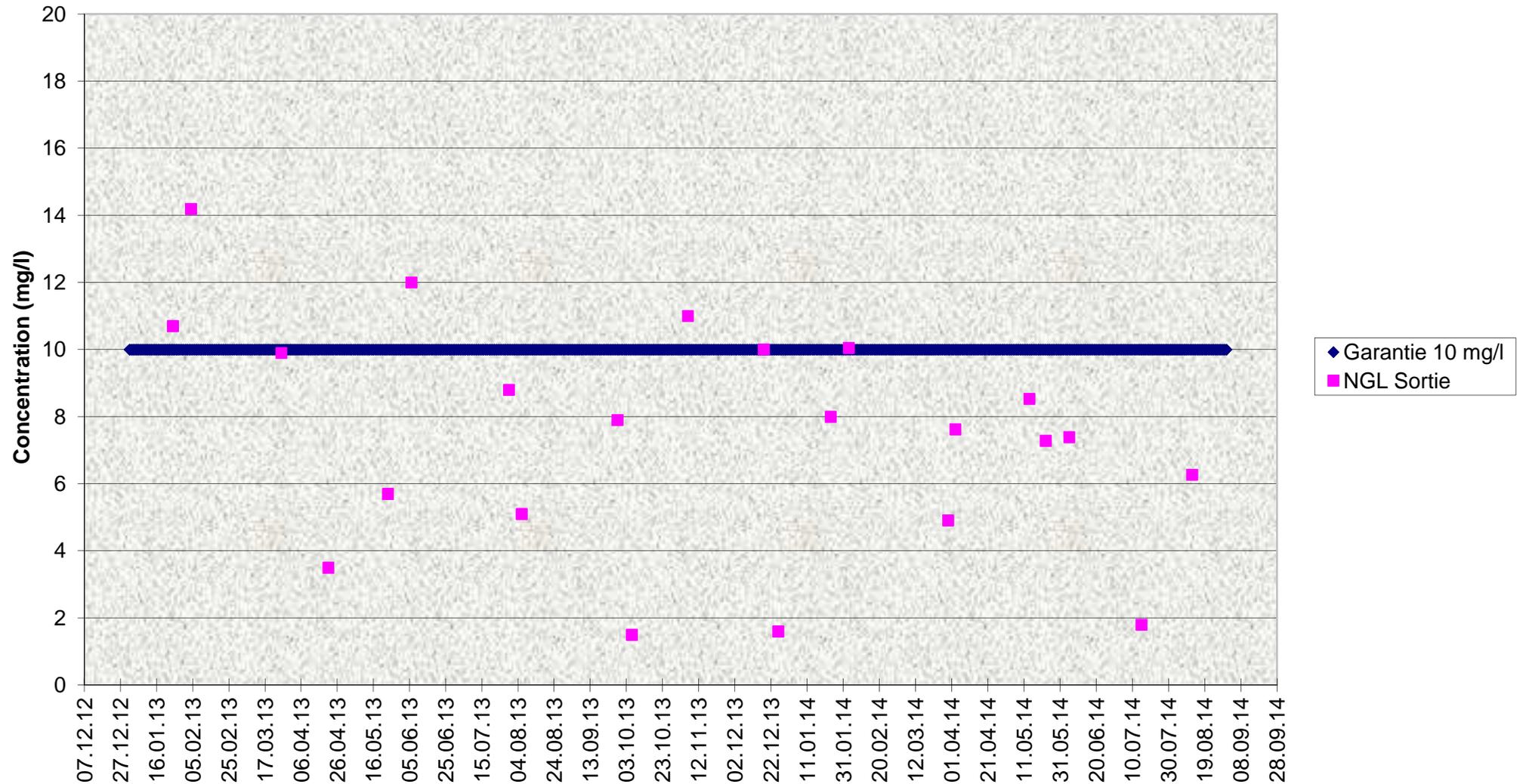
5. CHARGES SORTANT DE LA STATION – N-NK

Evolution N-NK rejeté 2013-2014
selon relevé Autosurveillance



5. CHARGES SORTANT DE LA STATION - NGL

Evolution NGL rejeté 2013-2014
selon relevé Autosurveillance



CAMPAGNE D'ÉTUDE DE 2012

Log des concentrations des micropolluants analysés

