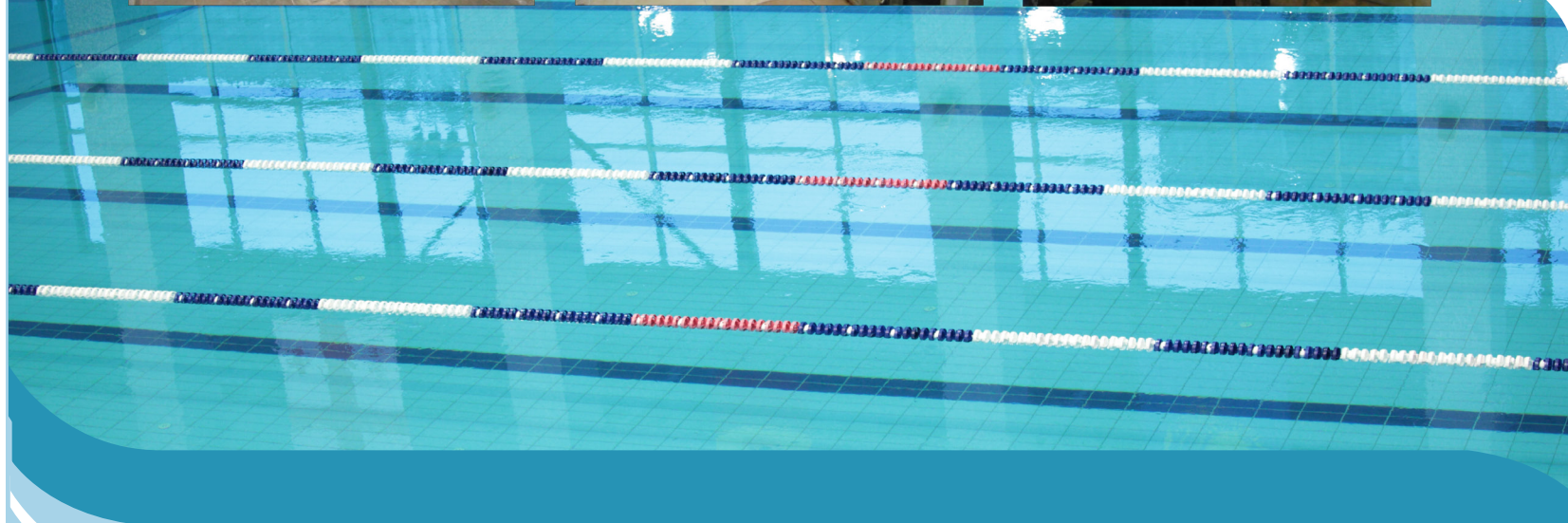


Étude de procédés de désinfection et filtration visant à réduire l'utilisation du chlore dans les piscines publiques wallonnes.



Document rédigé par
T. Rombaut • J. De Wit • L. Feyen • S. Weckx
En collaboration avec le Service public de Wallonie

SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
LISTE DES TABLEAUX	5
LISTE DES FIGURES	5
1 INTRODUCTION	1
1.1. CONTEXTE DE L'ÉTUDE ET OBJECTIF	1
1.2. STRUCTURATION DU DOCUMENT	1
1.3. ELABORATION DU DOCUMENT	1
2 VALEURS CLÉS ET NORMES	3
2.1 INTRODUCTION & RÉSUMÉ	3
2.2. DÉFINITION DES SOUS PRODUITS FORMÉS PAR LA DÉSINFECTION AU CHLORE ET AUTRES PARAMÈTRES DE LA RÉGLEMENTATION REPRIS DANS LES TABLEAUX CI-DESSOUS	3
2.2.1. LES PARAMÈTRES PRINCIPALEMENT ANALYSÉS SONT :	3
2.2.2. LES SOUS PRODUITS FORMÉS PAR LA DÉSINFECTION AU CHLORE SONT :	4
2.2.3. LES AUTRES PARAMÈTRES ÉTUDIÉS DANS LES TABLEAUX ET REPRIS DANS LA LÉGISLATION SONT :	4
2.3. RÉSUMÉ DES VALEURS-CLÉS DANS DIFFÉRENTS PAYS ET RÉGIONS EUROPÉENS	8
2.2 EN ALLEMAGNE	9
2.2.1. RÉFÉRENCES LÉGALES	9
2.2.2. ANALYSE DU TABLEAU	9
2.2.3. CONCLUSIONS POUR L'ALLEMAGNE	10
2.6 EN FRANCE	10
2.6.1. RÉFÉRENCES LÉGALES	10
2.7 AUX PAYS-BAS	13
2.7.1. RÉFÉRENCES LÉGALES	13
2.8 EN FLANDRE	14
2.8.1. RÉFÉRENCES LÉGALES	14
2.9 À BRUXELLES	15
2.9.1. RÉFÉRENCES LÉGALES	15
2.10 EN WALLONIE	16
2.11. RECOMMANDATIONS POUR LA WALLONIE	16
2.11.1. ÉCHANTILLONNAGE ET ANALYSE	16
2.11.2. APPLICATION DE LA RÉGLEMENTATION	17
3. ANALYSE DU CONTEXTE	19
3.1. INTRODUCTION	19
3.2. ANALYSE ET COMMENTAIRE	20
3.2.1. SITUATION DES BÂTIMENTS	20
3.2.2. SITUATION TECHNIQUE	20
3.2.3. FONCTIONNEMENT	21
3.2.4. HYGIÈNE ET QUALITÉ DE L'EAU	22
3.3. RAPPEL	24
3.4. CRITÈRES PERTINENTS DE SÉCURITÉ ET D'HYGIÈNE	25
3.5. NOTE MÉTHODOLOGIQUE / CONSEILS D'UTILISATION ET D'EXPLOITATION	25
3.5.1. LA CIRCULATION HYDRAULIQUE	25
3.5.2. LE BAC TAMPON	26
3.5.3. L'APPORT D'EAU FRAÎCHE	26
3.5.4. LA GESTION DES FILTRES	26
3.5.5. LA GESTION DES PRODUITS CHIMIQUES	26
4. ÉTUDE DE CAS PARTICULIERS	28
4.1. PISCINE DU BLOCRY, LOUVAIN-LA-NEUVE	28

4.1.2.	FONCTIONNEMENT -----	28
4.1.3.	AVANTAGES -----	29
4.1.4.	INCONVÉNIENTS -----	30
4.1.5.	AUTRES ASPECTS -----	30
4.2.	PISCINE LES DAUPHINS, MOUSCRON -----	30
4.2.2.	FONCTIONNEMENT -----	31
4.2.3.	AVANTAGES -----	32
4.2.4.	RÉSERVES -----	32
5.	TROIS PROCÉDÉS ALTERNATIFS DE DÉSINFECTION -----	34
5.1.	SYSTÈME CUIVRE-ARGENT -----	34
5.1.1.	CONSTITUTION -----	34
5.1.2.	ÉLECTROLYSE -----	34
5.1.3.	FLOCCULATION -----	35
5.1.4.	FILTRATION -----	36
5.1.5.	CAPACITÉ DÉSINFECTANTE -----	36
5.1.7.	SANTÉ, SÉCURITÉ ET ENVIRONNEMENT -----	37
5.1.8.	COÛTS -----	38
5.1.9.	ÉLÉMENTS D'INFORMATIONS TECHNIQUES SUR LE SYSTÈME -----	38
5.1.10.	CONCLUSION -----	39
5.2.	SYSTÈME D'OXYDATION AVANCÉE – « AOS » -----	39
5.2.1.	CONSTITUTION -----	40
5.2.2.	UV -----	40
5.2.3.	AOS -----	41
5.2.4.	FLOCCULATION, FILTRATION ET DÉSINFECTION -----	41
5.2.5.	SANTÉ, SÉCURITÉ ET ENVIRONNEMENT -----	42
5.2.6.	COÛTS -----	43
5.2.7.	RÉSUMÉ -----	43
5.2.8.	CONCLUSION -----	44
5.3.	PEROXYDE D'HYDROGÈNE -----	44
5.3.1.	DÉSINFECTION -----	44
5.3.2.	CONSTITUTION, FLOCCULATION ET FILTRATION -----	44
5.3.3.	SANTÉ, SÉCURITÉ ET ENVIRONNEMENT -----	45
5.3.4.	COÛTS -----	46
5.3.5.	ÉLÉMENTS D'INFORMATION TECHNIQUE -----	46
6.	SYSTÈME PROPOSÉ POUR OPTIMISER LE TRAITEMENT DE L'EAU FONCTIONNANT AVEC DU CHLORE -----	48
6.1.	LE SYSTÈME DE TRAITEMENT DE L'EAU OPTIMISÉ -----	48
6.2.	COMPOSANTS DU SYSTÈME OPTIMISÉ -----	49
6.2.1.	ÉQUIPEMENTS DE REFOULEMENT ET DE REPRISE D'EAU -----	49
6.2.2.	BAC TAMPON -----	49
6.2.3.	POMPES -----	50
6.2.4.	FILTRES -----	50
6.2.5.	DÉSINFECTION -----	51
6.3.	TRAVAUX À PRÉVOIR EN RÉNOVATION -----	51
7.	APPROCHE TECHNIQUE D'UN SYSTÈME ALTERNATIF -----	54
7.1.	CAS PRATIQUE -----	54
7.2.	DESCRIPTION DU SYSTÈME ALTERNATIF -----	54
7.3.	RECOMMANDATIONS POUR CAHIER DES CHARGES -----	55
7.3.1.	TRAVAUX DE CANALISATIONS ET ACCESSOIRES -----	55
7.3.2.	GRILLES -----	55
7.3.3.	PRÉ-FILTRES -----	56
7.3.4.	POMPES DE CIRCULATION -----	56
7.3.5.	BAC TAMPON ET ACCESSOIRES -----	56
7.3.6.	FILTRES -----	56
7.3.7.	ÉQUIPEMENTS D'APPORT EN EAU FRAÎCHE -----	57
7.3.8.	DOSAGE CHIMIQUE -----	57
7.4.	MÉTRÉ ESTIMATIF -----	58
7.4.1.	CONSTRUCTION NEUVE -----	59
7.4.2.	RÉNOVATION -----	61

7.5.	AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DU PEROXYDE D'HYDROGÈNE -----	64
7.6.	EXPLOITATION ET ENTRETIEN -----	64
7.7.	COÛTS D'UTILISATION -----	64
8.	CONCLUSION	69

BIBLIOGRAPHIE	71
----------------------	-----------

ANNEXE A : RAPPORTS DES VISITES DES PISCINES	1
---	----------

A.1	VISITE DE LA PISCINE « HÉLIOS » À CHARLEROI -----	1
A.1.1	COORDONNÉES-----	1
A.1.2	GÉNÉRAL-----	1
A.1.3	TRAITEMENT DE L'EAU-----	1
A.1.4	DISCUSSION-----	1
A.1.5	PHOTOS-----	3
A.2	VISITE DE LA PISCINE « OMNISPORT » À GEMBLOUX -----	4
A.2.1	COORDONNÉES-----	4
A.2.2	GÉNÉRAL-----	4
A.2.3	TRAITEMENT DE L'EAU-----	4
A.2.4	PHOTOS-----	5
A.3	VISITE DE LA PISCINE COMMUNALE À GRIVEGNÉE (LIÈGE) -----	6
A.3.1	COORDONNÉES-----	6
A.3.2	GÉNÉRAL-----	6
A.3.3	TRAITEMENT DE L'EAU-----	6
A.3.4	DISCUSSION-----	6
A.3.5	PHOTOS-----	7
A.4	VISITE DE LA PISCINE COMMUNALE À HERVE -----	8
A.4.1	COORDONNÉES-----	8
A.4.2	GÉNÉRAL-----	8
A.4.3	TRAITEMENT DE L'EAU-----	8
A.4.4	DISCUSSION-----	8
A.4.5	PHOTOS-----	10
A.5	VISITE DE LA PISCINE DU « BLOCRY » À LOUVAIN-LA-NEUVE -----	10
A.5.1	COORDONNÉES-----	10
A.5.2	GÉNÉRAL-----	11
A.5.3	TRAITEMENT DE L'EAU-----	11
A.5.4	DISCUSSION-----	11
A.5.5	PHOTOS-----	13
A.6	VISITE DE LA PISCINE COMMUNALE À MARCHE-EN-FAMENNE -----	13
A.6.1	COORDONNÉES-----	14
A.6.2	GÉNÉRAL-----	14
A.6.3	TRAITEMENT DE L'EAU-----	14
A.6.4	DISCUSSION-----	14
A.6.5	PHOTOS-----	15
A.7	VISITE DE LA PISCINE « LES DAUPHINS » À MOUSCRON -----	16
A.7.1	COORDONNÉES-----	16
A.7.2	GÉNÉRAL-----	16
A.7.3	TRAITEMENT DE L'EAU-----	16
A.7.4	DISCUSSION-----	16
A.7.5	PHOTOS-----	18
A.8	VISITE DE LA PISCINE COMMUNALE À SALZINNES (NAMUR) -----	20
A.8.1	COORDONNÉES-----	20
A.8.2	GÉNÉRAL-----	20
A.8.3	TRAITEMENT DE L'EAU-----	20
A.8.4	DISCUSSION-----	20
A.8.5	PHOTOS-----	21
A.9	VISITE DE LA PISCINE « NAUSICAA » À WATERLOO -----	22
A.9.1	COORDONNÉES-----	22
A.9.2	GÉNÉRAL-----	22
A.9.3	TRAITEMENT DE L'EAU-----	22
A.9.4	DISCUSSION-----	23
A.9.5	PHOTOS-----	23

A.10	VISITE DE LA PISCINE « LIPPE BAD » À LÜNEN (ALLEMAGNE) -----	24
A.10.1	COORDONNÉES-----	24
A.10.2	GÉNÉRAL-----	24
A.10.3	TRAITEMENT DE L'EAU-----	24
A.10.4	DISCUSSION-----	24
A.10.5	PHOTOS-----	25

ANNEXE B : RÉSULTATS DES ANALYSES DE LA QUALITÉ DE L'EAU VISANT LES SOUS-PRODUITS DE DÉSINFECTION 27

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1	: Résumé des valeurs-clés dans différents pays et régions Européens.....	8
Tableau 2.2	: Valeurs clés en Allemagne	9
Tableau 2.3	: Valeurs clés en France	11
Tableau 2.4	: Valeurs clés pour la France proposées par l'AFSSET	12
Tableau 2.5	: Valeurs clés aux Pays-Bas	13
Tableau 2.6	: Valeurs clés pour les Pays-Bas proposées par l'équipe d'experts.....	14
Tableau 2.7	: Valeurs clés en Flandre	15
Tableau 2.8	: Valeurs clés à Bruxelles.....	15
Tableau 2.9	: Valeurs clés en Wallonie.....	16
Tableau 3.1	: Caractéristiques des piscines analysées (1/2).....	19
Tableau 3.2	: Caractéristiques des piscines analysées (2/2).....	19
Tableau 3.3	: Visites et consommations des piscines analysées	22
Tableau 6.1	: Métré estimatif des modifications d'optimisation en cas de rénovation	53
Tableau 7.1	: Métré estimatif pour une construction neuve (1/2).....	59
Tableau 7.2	: Métré estimatif pour une construction neuve (2/2).....	60
Tableau 7.3	: Différences de prix entre les systèmes de désinfection utilisant le NaOCl ou le H ₂ O ₂ (constr. neuve)	60
Tableau 7.4	: Métré estimatif pour une rénovation (1/3)	61
Tableau 7.5	: Métré estimatif pour une rénovation (2/3)	62
Tableau 7.6	: Différences de prix entre les systèmes de désinfection utilisant le NaOCl ou le H ₂ O ₂ (rénovation).....	62
Tableau 7.7	: Métré estimatif pour une rénovation (3/3)	63
Tableau 7.8	: Métré estimatif 30 ans - Remplacement	66
Tableau 7.9	: Métré estimatif 30 ans - Maintenance périodique et curative et gestion technique (1/2)	67
Tableau 7.10	: Métré estimatif 30 ans - Maintenance périodique et curative et gestion technique (2/2)	68
Annexe :		
Tableau B. 1:	Résultats d'analyse des paramètres supplémentaires de qualité de l'eau	A27

LISTE DES FIGURES

Figure 4.1	: Plaques en cuivre à placer dans les batteries	28
Figure 4.2	: Batteries de cuivre dans la piscine du Blocry.....	28
Figure 4.3	: Schéma de principe simplifié du traitement de l'eau de la piscine basse du Blocry, Louvain-la-Neuve	29
Figure 4.4	: Résidu séché des précipitations de l'eau de lavage des filtres de la piscine du Blocry.....	30
Figure 4.5	: Schéma de principe simplifié du traitement de l'eau de la grande piscine Les Dauphins, Mouscron	31
Figure 4.6	: Réacteur UV de la grande piscine Les Dauphins, Mouscron.....	32
Figure 4.7	: Granulés de verre polis.....	32
Figure 5.1	: Schéma de principe simplifié du traitement de l'eau utilisant le système cuivre-argent	34
Figure 5.2	: Schéma de principe simplifié du traitement de l'eau utilisant l'AOS.....	40
Figure 5.3	: Schéma de principe simplifié du traitement de l'eau utilisant le peroxyde d'hydrogène	45
Figure 6.1	: Schéma de principe simplifié du traitement de l'eau du système optimisé	48
Figure 7.1	: Schéma de principe simplifié du traitement de l'eau utilisant le peroxyde d'hydrogène	55
Annexe :		
Figure A. 1.1	: Charleroi : Grand bassin	A3
Figure A. 1.2	: Charleroi : Petit bassin.....	A3
Figure A. 1.3	: Charleroi : Anciens et nouveaux branchements.....	A3
Figure A. 1.4	: Charleroi : Réacteurs UV	A3
Figure A. 1.5	: Charleroi : Joint de dilatation grand bassin	A3
Figure A. 1.6	: Charleroi : Électrolyse de sel	A3

Figure A. 2.1 : Gembloux : Vue piscine côté profond	A5
Figure A. 2.2 : Gembloux : Vue piscine autre côté	A5
Figure A. 2.3 : Gembloux : La seule grille d'aspiration	A5
Figure A. 2.4 : Gembloux : Dosage de chlore.....	A5
Figure A. 3.1 : Grivegnée: Grand bassin	A7
Figure A. 3.2 : Grivegnée : Petit bassin.....	A7
Figure A. 3.3 : Grivegnée : Nouveaux bacs tampon.....	A7
Figure A. 3.4 : Grivegnée : Nouveau stockage produits chimiques	A7
Figure A. 4.1 : Herve : Hall du bassin	A10
Figure A. 4.2 : Herve : Ozonneur	A10
Figure A. 4.3 : Herve : Tour de contact de l'ozonation	A10
Figure A. 4.4 : Herve : Ozonneur (détail)	A10
Figure A. 4.5 : Herve : Anciennes tuyauteries corrodées	A10
Figure A. 4.6 : Herve : Nouvelles tuyauteries en inox.....	A10
Figure A. 5.1 : Louvain-la-Neuve : Vue piscine haute	A13
Figure A. 5.2 : Louvain-la-Neuve : Batteries de cuivre piscine haute	A13
Figure A. 5.3 : Louvain-la-Neuve : Batteries de cuivre pataugeoire	A13
Figure A. 5.4 : Louvain-la-Neuve : Batterie d'argent pataugeoire	A13
Figure A. 5.5 : Louvain-la-Neuve : Nouvelles plaques de cuivre.....	A13
Figure A. 5.6 : Louvain-la-Neuve : Plaques de cuivre usées	A13
Figure A. 6.1 : Marche-en-Famenne : Hall des bassins.....	A15
Figure A. 6.2 : Marche-en-Famenne : Grilles d'aspiration.....	A15
Figure A. 6.3 : Marche-en-Famenne : Traitement de l'eau grand bassin	A15
Figure A. 6.4 : Marche-en-Famenne : Traitement de l'eau petit bassin	A15
Figure A. 7.1 : Mouscron : Grand bassin.....	A18
Figure A. 7.2 : Mouscron : Petit bassin	A18
Figure A. 7.3 : Mouscron : Bassin extérieur.....	A18
Figure A. 7.4 : Mouscron : Granulés de verre polis	A18
Figure A. 7.5 : Mouscron : Réacteur UV petit bassin.....	A18
Figure A. 7.6 : Mouscron : Réacteur UV pataugeoire	A18
Figure A. 7.7 : Mouscron : Citernes journalières	A19
Figure A. 7.8 : Mouscron : Stockage produits chimiques	A19
Figure A. 7.9 : Mouscron : Ancien mesurage Cl + pH.....	A19
Figure A. 7.10 : Mouscron : Nouveau mesurage Cl + pH	A19
Figure A. 8.1 : Namur : Grand bassin.....	A21
Figure A. 8.2 : Namur : Petit bassin	A21
Figure A. 8.3 : Namur : Filtres à diatomées	A21
Figure A. 8.4 : Namur : Large cave technique.....	A21
Figure A. 9.1 : Waterloo : Grand bassin.....	A23
Figure A. 9.2 : Waterloo : Petit bassin	A23
Figure A. 9.3 : Waterloo : Réacteur UV	A23
Figure A. 9.4 : Waterloo : Stockage produits chimiques.....	A23
Figure A. 10.1 : Lünen : Grand bassin	A25
Figure A. 10.2 : Lünen : Petit bassin	A25
Figure A. 10.3 : Lünen : Bassin d'instruction	A25
Figure A. 10.4 : Lünen : Pataugeoire	A25
Figure A. 10.5 : Lünen : préfiltres	A25
Figure A. 10.6 : Lünen : ultrafiltres	A25
Figure A. 10.7 : Lünen : filtres à charbon actif.....	A26
Figure A. 10.8 : Lünen : ultrafiltration eau sanitaire.....	A26
Figure A. 10.9 : Lünen : bac tampon en plastique	A26
Figure A. 10.10 : Lünen : Citernes journalières.....	A26

1 INTRODUCTION

1.1. Contexte de l'étude et objectif

La région wallonne comptabilise environ 111 piscines publiques ouvertes. L'eau des bassins de natation de la majorité de ces piscines est désinfectée à l'aide des dérivés du chlore.

Les produits basés sur le chlore sont depuis longtemps considérés comme étant les désinfectants de l'eau de piscine les plus efficaces. Néanmoins, plusieurs études ont démontré les effets nocifs liés aux sous-produits de la désinfection au chlore.

Les composés organiques volatils générés par le chlore provoquent :

- L'irritation des voies respiratoires ;
- L'irritation des yeux, de la peau et des membranes muqueuses.
- Les sous-produits de désinfection sont également suspectés d'être cancérogènes.

L'objectif de la présente étude est donc d'évaluer les techniques de filtration et de désinfection alternatives et les possibilités de les appliquer dans les piscines publiques existantes et neuves.

1.2. Structuration du document

Les résultats de cette étude sont détaillés dans les **cinq chapitres suivants**.

Le chapitre 2 reprend les **valeurs-clés qui figurent dans les normes et dans les textes législatifs** actuellement en vigueur dans notre pays (en Wallonie, en Flandre et à Bruxelles) et dans quelques pays voisins : l'Allemagne, la France et les Pays-Bas. Les paramètres considérés et leurs valeurs limites sont résumés et analysés.

Le chapitre 3 aborde la **situation actuelle de 9 piscines publiques en Wallonie et d'une piscine en Allemagne**. Ces piscines sont différentes du point de vue des techniques utilisées et année de construction. Les conclusions de ces visites, ainsi que des résultats d'analyse de la qualité de l'eau des bassins, sont résumées dans le chapitre 3. Les rapports de visites sont annexés (A1 à A25).

Le chapitre 4 reprend **l'analyse approfondie de 2 piscines** en matière de traitement de l'eau utilisé : la piscine du Blocry à Louvain-la-Neuve, où l'eau est désinfectée sans utilisation de chlore (Cu/Ag), et la piscine Les Dauphins à Mouscron, qui dispose de réacteurs UV et de filtres à billes de verre.

Le chapitre 5 évalue **trois techniques de désinfection alternatives au chlore**, sélectionnées en concordance avec le comité d'accompagnement : la désinfection à ionisation de cuivre et d'argent, le système d'oxydation avancée et la désinfection au peroxyde d'hydrogène. L'évaluation de chaque procédé porte sur les aspects différents : la constitution du système, la filtration, la désinfection, les effets sur la santé, la sécurité et l'environnement ainsi que les coûts.

Le chapitre 6 propose **un système de filtration et de désinfection optimisé** en matière de qualité de l'eau et lors de la sécurité et santé des nageurs. Ce chapitre donne une description du système et les implications techniques lors des travaux de rénovation.

Finalement, le chapitre 7 introduit **une approche technique d'un système alternatif**, incluant des recommandations pour des clauses techniques, un métré estimatif de travaux et une estimation des frais d'utilisation et de maintenance.

1.3. Elaboration du document

Cette étude a été réalisée par l'association d'Artabel, Labo Derva et Lotec. Artabel est un bureau d'architectes et d'ingénieurs, spécialisé dans les piscines publiques (référence d'une cinquantaine de projets de conception de piscine) Labo Derva est un laboratoire d'analyse de l'eau agréé par les trois régions belges, aux Pays-Bas et en Allemagne, et est également co-auteur des réglementations des piscines en Flandre et aux Pays-Bas. Lotec

est une entreprise spécialisée dans le traitement de l'eau exécutant également la maintenance à long terme des piscines. Ces trois associés disposent d'une expérience étendue dans le domaine des piscines.

Un comité d'accompagnement a été institué afin de superviser cette étude. Les membres en sont :

- Mme Isabelle Jadot (SPW, Département des Infrastructures subsidiées – DGO1), directrice des Bâtiments subsidiés ;
- Mme Bénédicte Vanderzeypen (SPW, Département des Infrastructures subsidiées – DGO1), responsable des financements alternatifs des grandes infrastructures sportives à Infraspports ;
- M. Marc Jeanmoye ;(Directeur du Complexe sportif du Blocry) ;
- M. Philippe Brasseur (SPW, Département des Permis et des Autorisations – DGO3), attaché ;
- M. Jean-François Renuart (SPW, Département des Infrastructures subsidiées – DGO1), ingénieur à Infraspports ;
- M. Jan De Wit (Artabel), chef d'entreprise ;
- M. Thomas Rombaut (Artabel), ingénieur en techniques spéciales de piscine ;
- M. Ludo Feyen (Labo Derva), chef d'entreprise ;
- M. Stan Weckx (Lotec), ingénieur en chef.

2 VALEURS CLÉS ET NORMES

2.1 Introduction & Résumé

Le but principal du traitement de l'eau de piscine est de garantir en permanence, l'hygiène, la sécurité et le confort du nageur. L'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) formule dans sa directive concernant les piscines et les zones de baignade les trois actions suivantes [2] :

- contrôler la clarté de l'eau afin de minimiser le risque de blessures ;
- contrôler la qualité de l'eau afin d'éviter la transmission des maladies infectieuses ;
- minimiser les risques potentiels causés par les sous-produits de désinfection du chlore.

Les gouvernements des pays et des régions ont promulgué des textes législatifs et des normes qui déterminent les exigences de qualité de l'eau de piscine afin de mettre en œuvre ces actions.

Ce chapitre aborde le cadre législatif de trois pays européens : l'Allemagne, la France et les Pays-Bas et des 3 régions en Belgique (la Wallonie, la Flandre et Bruxelles).

Afin de réaliser les objectifs principaux formulés par l'OMS, il ne suffit pas de répondre aux exigences paramétrées de qualité de l'eau, il faut également un système complet et adéquat de traitement de l'eau et des procédures élaborées pour garantir le bon fonctionnement de l'installation, l'hygiène et la sécurité des nageurs.

Les pays et régions voisines ont incorporé les réglementations concernant la qualité de l'eau des piscines publiques de différentes façons dans leurs législations. En France et aux Pays-Bas, ainsi qu'en Flandre, à Bruxelles et en Wallonie, les valeurs limitatives se trouvent dans les textes législatifs (décrets, arrêtés, ...) tandis qu'en Allemagne elles ne figurent que dans la norme DIN 19643 (Traitement de l'eau des bassins des piscines).

Ces dernières années, des équipes d'experts ont formulé leurs avis quant à la révision des législations en vigueur. Les conclusions de ces rapports sont reprises dans ce chapitre.

2.2. Définition des sous produits formés par la désinfection au chlore et autres paramètres de la réglementation repris dans les tableaux ci-dessous

2.2.1. Les paramètres principalement analysés sont :

- Le PH

L'acidité ou le pH a une grande influence sur la qualité de l'eau des piscines qui sont désinfectées à l'aide de chlore. **Le pH détermine l'équilibre entre le chlore libre et le chlore actif.**

- ❖ **Un pH bas** stimule la formation des chloramines nuisibles et cause la corrosion des métaux et du ciment, tandis que la plupart du chlore sera présent dans sa forme active.
- ❖ **Un pH élevé** causera le glissement de l'équilibre de chlore vers la forme non active (donc peu de chlore actif par rapport au chlore disponible) et provoque des irritations de la peau et les dépôts de tartre.

La plage du pH convenable pour le corps humain et les matériaux constructifs est assez large. Sans utilisation de chlore, le pH de l'eau fraîche ne pose pas de problèmes et une correction du pH n'est pas nécessaire.

❖ **Dans le cas d'une désinfection au chlore**, le pH doit être surveillé de manière plus stricte et dans une plage moins large. L'addition d'hypochlorite de sodium, qui est alcalin, fait augmenter le pH de l'eau. Pour contrarier cette action, de l'acide sulfurique ou chlorhydrique est ajoutée à l'eau

❖ **La valeur recommandée du pH** devrait se trouver entre 7,0 et 7,6. Les valeurs guides dans les conditions sectorielles en Wallonie pour ce paramètre (7,2 à 7,4) sont donc bien choisies, ainsi que les limites supérieures de 7,6 pour les bassins utilisant le chlore et de 8,3 pour les autres bassins. La limite inférieure de 6,5 par contre peut induire une situation dangereuse suite à la formation de chloramines (mono-, di- et

trichloramines, dont les derniers s'évaporent facilement dans l'air, provoquant des irritations des yeux et des voies respiratoires).

- Le chlore libre

Le taux de chlore libre (ou chlore libre disponible) dans l'eau peut être mesuré de manière directe, contrairement au taux de chlore actif (voir ci-dessous). En combinaison avec le pH ce paramètre indique la capacité désinfectante de l'eau chlorée. La quantité de chlore libre est la somme des ions hypochlorites (OCl^-) et de l'acide hypochloreux (HOCl). Cette dernière substance, appelée également le chlore actif, est le vrai désinfectant. Les ions hypochlorites n'ont pas de capacité désinfectante. La valeur du pH déterminera l'équilibre entre les deux formes d'hypochlorite et donc la capacité désinfectante dans l'eau. Comme expliqué ci-dessus, un pH moins élevé augmentera la concentration du chlore actif, mais comporte des effets indésirables.

En Wallonie, La concentration en chlore libre peut s'étendre de 0,3 mg/l dans les petits bassins, 0,5 mg/l dans les grands bassins et 0,8 mg/l dans les bassins extérieurs, à 1,5 mg/l dans les petits et grands bassins intérieurs et 3,0 mg/l dans les bassins extérieurs.

2.2.2. Les sous produits formés par la désinfection au chlore sont :

- Le chlore combiné et les trichloramines:

Le chlore actif « attaque » les substances polluantes dans l'eau de piscine. Il réagit avec ces substances en se liant avec eux, en formant des composés de chlore et d'autres substances comme p.ex. les matières organiques venant des baigneurs. **Une filtration efficace est capable de capter une grande partie du chlore combiné.**

Les chloramines sont les composés de chlore combiné les plus importants dans l'eau de piscine.

Dans ces composés le chlore s'est lié à l'azote. Dépendant du pH, les monochloramines peuvent évoluer vers des di- et des trichloramines. Ces dernières sont les plus volatiles et les plus nuisibles. Il est donc important de limiter le taux de chlore combiné afin d'éviter la formation de ces substances.

La valeur limite de ce paramètre est de 0,8 mg/l en Wallonie (ainsi qu'à Bruxelles).

Les pays et les régions voisins ont diminué (ou dans le cas des Pays-Bas diminueront) la limite à 0,6 mg/l (en Allemagne : 0,2 mg/l). L'attention et la pression croissante du législateur au sujet du chlore combiné risque en essayant de réduire le taux du chlore combiné, de provoquer une ignorance ou même une augmentation d'autres sous-produits de désinfection, comme les THM, le chlorate et le bromate. Ceux-ci peuvent pourtant être plus nuisibles.

Le chlore combiné est un terme général qui désigne les combinaisons chimiques formées entre le chlore et l'azote dans les matières organiques comme les chloramines. **Un taux de trichloramines élevé peut causer des irritations des yeux et une odeur de chlore indésirable dans l'air. Une teneur excessive de chlore combiné peut être causée par un apport élevé de matière organique (nombre de nageurs élevé et hygiène insuffisante des nageurs), un manque d'apport d'eau fraîche au système, une filtration insuffisante ou par une combinaison de ces raisons, mais surtout en présence d'un pH trop bas.**

- Les chlorates :

La formation indésirable des chlorates est causée par le « vieillissement » ou la dégradation du chlore dans les réservoirs de stockage, ou par le rayonnement des lampes UV à basse pression.

La teneur en chlorates donne une idée du temps de stockage du chlore.

La valeur maximale acceptable est de 30 mg/l [14].

En incluant ce paramètre, on aurait une meilleure gestion des réserves de chlore, et donc une consommation d'hypochlorite de sodium réduite et un risque réduit de formation de sous-produits.

- L'urée :

L'urée est un composé organique éliminé par l'homme (les urines et la sueur). Sa présence dans l'eau en petites quantités ne pose pas de problème direct. En combinaison avec du chlore, l'importance de cette substance augmente fortement. L'urée, contenant du nitrogène, est une source potentielle pour la formation des chloramines et pourrait donc avoir de conséquences nuisibles.

Pour cette raison la valeur limite du taux d'urée dans l'eau de piscine est de 2 mg/l.

Les filtres à charbon actif enlèvent l'urée de l'eau de piscine, éliminant ainsi l'indicateur mais pas la pollution.

2.2.3. Les autres paramètres étudiés dans les tableaux et repris dans la législation sont :

Les paramètres bactériologiques :

- Nombre total de germes revivifiables à 37°C

Le nombre total de germes revivifiables (parfois appelé « germes (aérobies) totaux ») désigne le nombre des bactéries ou micro-organismes cultivables dans un environnement oxygéné. Cette culture a lieu à une température de 37°C (la température du corps humain) durant 48 heures. Les colonies de germes sont ensuite comptées, et donnent lieu au nombre total de germes revivifiables.

Ces bactéries ne sont pas dangereuses ou nuisibles, elles n'ont pas d'effets directs sur la santé humaine. Cependant ce nombre représente la teneur moyenne en bactéries dans l'eau. **Il est un indicateur d'une éventuelle contamination bactériologique.** Dans ce cas, il indique donc l'efficacité de la désinfection de l'eau de piscine.

Vu que ce paramètre varie à cause de facteurs très locaux et momentanés (p.ex. la proximité d'un nageur), il ne donne pas une image représentative de la qualité générale de l'eau dans le bassin.

De plus, on remarque que la valeur limite de ce paramètre dans l'eau de piscine est de 100, tandis que pour l'eau potable en Belgique la valeur maximale est de 3000. Le groupe de travail s'interroge donc sur l'opportunité de continuer à utiliser cet indicateur non fiable et obsolète.

Les *Cryptosporidium parvum* et *Giardia lamblia* sont deux bactéries qui sont nuisibles à la santé et qui peuvent apparaître dans l'eau de piscine et y survivre longtemps. Ce sont des parasites pathogènes qui peuvent provoquer des diarrhées graves.

Le contrôle de la présence de ces parasites dans l'eau est très onéreux. Cependant, **il est plus facile et moins coûteux de détecter les spores des Clostridia sulfito-réductrices (SCSR). Les spores résistent au chlore et restent donc présents dans l'eau de piscine. Vu la similarité avec les parasites mentionnés ci-dessus, ce sont des bons indicateurs de la présence de ces parasites et une preuve d'une mauvaise élimination de ceux-ci par le traitement de l'eau.**

- *Pseudomonas aeruginosa*

Cette bactérie peut être pathogène et peut survivre dans l'eau. La présence de cette bactérie dans l'eau peut indiquer la formation d'un biofilm (une couche composée de micro-organismes adhérant à la surface intérieure des conduites) et doit être recherchée dans les échantillons d'eau de piscine.

- Staphylocoques à coagulase positive

La coagulase est une enzyme qui est utilisée pour déterminer si les staphylocoques retrouvés sont de l'espèce *Staphylococcus aureus* (staphylocoque doré). Une vingtaine d'espèces de la famille des staphylocoques sont connues, dont la plupart ne sont pas pathogènes, mais dont le *Staphylococcus aureus* est l'espèce la plus pathogène. Il est retrouvé chez l'homme au niveau des fosses nasales et de la gorge, ainsi que dans le tube digestif et au niveau du périnée. Il peut être responsable de plusieurs infections, dans certains cas mortelles.

Ils sont un indicateur de la pollution humaine (autre de charge fécale), de la charge du bassin par occupation et de la résistance au chlore.

La présence de staphylocoques est donc en principe un signal que la désinfection de l'eau n'est pas suffisante et que d'autres bactéries sont présentes.

- Entérocoques intestinaux

Les entérocoques intestinaux sont des bactéries pathogènes qui causent des infections entériques. Ils proviennent d'une pollution fécale. Cet événement se produit régulièrement dans les piscines publiques à cause de la présence de très jeunes enfants. Ceci est inévitable et les piscines savent faire face à cette situation. La détection d'entérocoques intestinaux dans l'eau de piscine est donc normalement à attribuer à une pollution fécale temporaire, un événement momentané et local, qui est souvent résolu à court terme. Pour cette raison ce paramètre à une moindre valeur pour déterminer la qualité générale de l'eau. L'inclusion du paramètre plus intéressant des spores de Clostridia sulfito-réductrices (voir ci-dessus), qui sont également des indicateurs des résidus fécaux (qui restent dans l'eau après filtration), pourrait rendre la recherche des entérocoques intestinaux obsolète.

- *Legionella pneumophila*

La *Legionella pneumophila* est une espèce de la famille des légionelles, qui cause la légionellose. Cette bactérie peut se trouver dans les conduites d'eau sanitaire et d'eau de piscine. **Ils prospèrent grosso modo dans une eau de 25°C à 50°C. Pour cette raison, il faut que l'eau chaude sanitaire des douches provienne d'une installation qui chauffe l'eau à 65°C au minimum.** Les légionelles peuvent pénétrer dans le corps humain portées par des aérosols (des particules liquides minuscules en suspension dans l'air). Par conséquent **les douches sont donc des points d'usage à risque et doivent être contrôlées 2 fois par an.** Cependant, la légionelle peut se trouver également dans les conduites d'eau de piscine (ils peuvent résister au chlore). De ce fait, toutes attractions à jets d'eau ou à jets d'air dans les piscines, comme p.ex. dans les pataugeoires et dans les jacuzzis, sont également à considérer comme des points d'usage à risque.

Seule la Legionella pneumophila provoque la légionellose. Les autres espèces Legionella ne sont pas nuisibles et elles ne sont pas recherchées lors d'analyses de qualité de l'eau. Néanmoins la Legionella pneumophila et les autres espèces légionelles sont souvent retrouvées ensemble. La détection d'une autre espèce légionelle indique donc la présence de Legionella pneumophila. Il serait utile de rechercher toutes espèces légionelles afin d'augmenter les chances de détection.

Comparé aux autres pays et régions, la fréquence de ce contrôle est moins élevée en Wallonie. Aux Pays-Bas les légionelles sont recherchées 4 fois par an, en Allemagne tous les mois.

Les paramètres chimiques

- Le chlore libre actif :

Dans certains cas, le chlore libre actif n'est pas suffisamment présent dans l'eau (valeur minimale – selon la législation – pour atteindre la désinfection de 0,4 mg/l), mais l'eau est conforme bactériologiquement. Cette situation présente un risque de contamination car la capacité désinfectante n'est pas garantie.

- Le chlorure :

Un autre composé du chlore est le chlorure, qui est formé après le fonctionnement désinfectant du chlore. Les chlorures sont, en général, un indicateur de la fraîcheur de l'eau de piscine.

Les chlorures sont chimiquement stables dans l'eau et sont déjà présents dans l'eau de ville en faibles concentrations. La réaction entre le chlore ajouté et les matières organiques dans l'eau de piscine provoque l'augmentation des chlorures. Le taux de chlorures peut être diminué par des apports d'eau fraîche.

Le taux d'ions de chlorure (Cl⁻) est un paramètre indiquant la « fraîcheur » de l'eau. À l'exception de la corrosion de certains matériaux de construction (si présent en grandes quantités), le chlorure ne comporte pas d'influence négative sur la piscine ou sur les baigneurs.

Le taux de chlorure est limité à 800 mg/l uniquement pour assurer que l'eau soit assez fréquemment rafraîchie par l'apport d'eau.

Pour les bassins à eau salée par exemple, la limite du taux de chlorure est de 2000 mg/l en Flandre. Dans la même région, le taux de chlorure peut être plus élevé également dans le cas de production d'hypochlorite de sodium sur site au moyen d'électrolyse au sel.

- L'ozone :

L'ozone est utilisé dans quelques bassins comme désinfection supplémentaire et dans le but de diminuer la consommation de chlore.

Néanmoins, le chlore est également supprimé par le procédé lui-même devant prévenir la rémanence de l'ozone dans l'eau du bassin.

- Le bicarbonate :

Utilisé dans le traitement de l'eau des piscines comme stabilisateur du pH.

- Le sulfate :

Le sulfate apparaît lorsqu'on établit la correction du PH avec de l'H₂SO₄.

- Le bromate :

Composé chimique contenant l'anion BrO₃⁻, p.ex. NaBrO₃, KBrO₃, ... Le KBrO₃ est classé comme pouvant être cancérigène pour l'homme par le CIRC/IARC (groupe 2B). Le bromate est formé sur base des bromures présents dans l'eau fraîche. Le bromate est formé en solution aqueuse quand l'ozone est utilisé comme désinfectant.

- L'arsenic :

Élément chimique (As). L'arsenic est toxique et nuisible à la santé. Il pourrait causer différents types de cancer.

- Trihalométhanes (THM) :

Ce groupe de substances contient entre autres le chloroforme, le bromoforme, le dichlorobromométhane, et le dibromochlorométhane. Ils sont considérés comme des produits dangereux (cancérogènes) à partir d'un taux de 50 µg/l [14].

Ces produits sont formés sur base de substances inoffensives (des acides organiques) qui sont naturellement présentes dans l'eau potable. La formation de ces produits est influencée par les procédés de traitement de l'eau : par l'UV, l'ozone, le matériel filtrant, ...

Les THM sont plus chers à analyser, et les résultats de nos analyses dans les piscines (voir §3.2.4 et Annexe B) ne démontrent pas de concentrations alarmantes en THM. Il pourrait être envisageable d'imposer 2 analyses par an.

- L'oxydabilité :

L'oxydabilité au permanganate de potassium à chaud et en milieu acide, exprimée en masse d'oxygène, est un paramètre qui indique le taux de matières organiques dans l'eau. Ce paramètre donne une image générale de la charge en pollution organique dans l'eau.

Paramètres physiques

- La turbidité : Mesure la non transparence de l'eau vu la présence des matières en suspension.
- La coloration : mesure de l'état coloré, la couleur de l'eau, qui est un paramètre de contrôle visuel de l'eau.

2.3. Résumé des valeurs-clés dans différents pays et régions Européens

Tableau 2.1 : Résumé des valeurs-clés dans différents pays et régions Européens

paramètre	unité	Allemagne	France	Pays-Bas	Flandre	Bruxelles	Wallonie
bactériologiques							
nombre total de germes revivifiables à 37°C	n/ml	< 100	< 100	100	100	100	100
Legionella species	n/l	0		^a < 50			< 1000
Pseudomonas aeruginosa	n/100 ml	0		^b 0	0	0	0
Escherichia coli	n/100 ml	0					
coliformes totaux	n/100 ml	0	< 10				
coliformes fécaux	n/100 ml		< 1				
staphylocoques	n/100 ml	0	< 1 (90%)	0	0	0	0
streptocoques fécaux	n/100 ml					0	
entérocoques intestinaux	n/100 ml						0
chimiques							
pH	-	6,5 – 7,5	6,9 – 7,7	^c 6,8 – 7,8	7,0 – 7,6	7,0 – 7,6	6,5 – 7,6
chlore libre actif	mg/l		0,4 – 1,4				≥ 0,4
chlore libre disponible	mg/l	0,30 – 0,60		0,5 – 1,5	0,5 – 1,5	0,5 – 1,5	0,5 – 1,5
chlore combiné	mg/l	0,2	0,6	^d 1,0	0,6	0,8	0,8
chlore total	mg/l		Cl libre + 0,6				
chlorure	mg/l				800	800	800
ozone	mg/l			0	^e	0,05	
urée	mg/l			2	2	2	2
bicarbonate	mg/l	^f 42		≥ 60	≥ 60		
nitrate	mg/l	eau fr. + 20					
sulfate	mg/l						500
bromate	mg/l	2					
arsenic	mg/l	0,2					
total chlorite + chlorate	mg/l	30					
chloroforme	mg/l					0,1	
trihalométhanes (THM)	mg/l	0,02					
potentiel redox	mV	750 ou 770					
oxydabilité	mg O ₂ /l	0,75					< 5
oxydabilité	mg KMnO ₄ /l		eau fr. + 4	70% eau fr. +	< 5		< 5
physiques							
turbidité	UTN	0,5		0,5			
transparence			lignes de nage	fond		fond	fond
coloration		^g 0,5	0	absente	absente	absente	absente
pollution visible				absente	absente	absente	absente

^a contrôlé seulement sur les éléments ludiques à jets d'eau etc.

^b indicatif, contrôlé que si explicitement imposé par le gouvernement photométrique ($\lambda = 435 \text{ nm}$), en m^{-1}

^f ou 0,7 mmol/l

^g mesure

^c 7,3 ± 0,3 dès le 1^{er} janvier 2018

^d 0,6 dès le 1^{er} janvier 2018

^e l'utilisation d'ozone comme désinfectant est interdite en Flandre

2.2 En Allemagne

2.2.1. Références légales

Dans le monde des piscines, l'Allemagne est vue comme un pays exemplaire.

La norme DIN 19643 [3] est utilisée comme référence pour la conception et la gestion des piscines, non seulement en Allemagne mais également à l'étranger.

La loi allemande qui règle la qualité de l'eau des piscines publiques **est le *Infektionsschutzgesetz (la loi sur la protection contre les maladies infectieuses)* [4]**, et plus particulièrement les deux articles suivants :

- §37(2) : L'eau dans les piscines utilisées à un titre autre que purement privatif doit être de telle qualité que les effets nuisibles à la santé humaine, en particulier par des micro-organismes pathogènes, ne puissent pas se produire.
- §38(2) : Le Ministre fédéral de Santé publique peut promulguer une loi qui contient des règles détaillées concernant les paramètres de qualité dans l'eau de piscine, les obligations de l'exploitant de la piscine et des règles de maintenance de la qualité. Une liste des techniques de traitement et des produits chimiques à utiliser sera publiée par le *Umweltbundesamt* (le service public de l'environnement).

La loi mentionnée dans §38(2) n'a pas encore été approuvée par le sénat allemand fédéral. Ce document fixe les valeurs minimales et maximales des paramètres de qualité de l'eau comme affichées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2.2 : Valeurs clés en Allemagne

Paramètre	unité	valeur min.	valeur max.	description / explication
<u>Bactériologiques</u>				
Escherichia coli	n/100 ml		0	indicateur de charge fécale
Pseudomonas aeruginosa	n/100 ml		0	micro-organisme pathogène
Legionella species	n/ml		0	micro-organisme pathogène
nombre total de germes à 37°C	n/ml		< 100	indicateur de l'état hygiénique général
<u>Chimiques</u>				
pH	-	6,5	7,5	max. 7,2 utilisant flocculant à base d'aluminium
chlore libre	mg/l	0,30	0,60	
chlore combiné	mg/l		0,20	
trihalométhanés (THM)	mg/l		0,020	converti en chloroforme
total de chlorite + chlorate	mg/l		30	
Bromate	mg/l		2,0	
Arsenic	mg/l		0,2	seulement en cas d'eau fraîche à taux élevé d'arsenic
Nitrate	mg/l		20	écart entre l'eau fraîche et l'eau de piscine
Oxydabilité	mg O ₂ /l		0,75	écart entre l'eau fraîche et l'eau de piscine
potentiel redox	mV		750 770	pH ≤ 7,3 pH > 7,3
<u>Physiques</u>				
Turbidité	UTN		0,5	
Coloration	m ⁻¹		0,5	mesuré à une longueur d'onde de 435 nm

2.2.2. Analyse du tableau

Chlore libre

L'élément le plus frappant dans les exigences allemandes est la valeur maximum de chlore libre. En effet **la valeur maximum de chlore libre dans les piscines allemandes correspond à la valeur minimum dans les pays et régions voisins tel que la Wallonie, la Flandre et les Pays-Bas**. Pour pouvoir travailler avec ces valeurs minimum de chlore libre, il est nécessaire de maintenir un pH bas. Quand le pH descend, la portion active du

chlore libre augmente. Ainsi le taux de chlore actif sera quasi le même en Allemagne (à un pH plus bas) que dans les autres pays utilisant des concentrations diminuées de chlore libre.

PH

Lorsque le pH est en-dessous de 7,0, l'acide hypochloreux en excès réagit avec l'ammoniaque (formé à base d'urée) en formant des trichloramines volatiles qui causent une odeur écœurante et irritent les voies respiratoires. La formation des trichloramines décroît quand le pH augmente. Au-dessus d'un pH de 7,5 elle devient minimale. C'est pourquoi, dans la plupart des pays et régions, il est conseillé de maintenir le pH au-dessus de 7,0.

Le nitrate

La norme allemande impose que la différence entre la quantité de nitrate de l'eau de piscine et celui de l'eau fraîche (qui est environ à 5 mg/l) n'excède pas les 20 mg/l. Les nitrates sont des composés d'azote : l'urée et des autres substances liées à la pollution corporelle des nageurs. En effet, **le nitrate est le produit de la réaction finale des trichloramines**. Le nitrate est donc un indicateur de la formation potentielle de chloramines. Afin de maintenir des concentrations basses de nitrate, il sera nécessaire d'ajouter des grandes quantités d'eau fraîche.

Chlore combiné

Les valeurs fixées de 0,20 mg/l pour le chlore combiné et de 0,020 mg/l pour les trihalométhanes (THM) sont également très basses et sont difficiles à maintenir sans l'ajout des grandes quantités d'eau fraîche.

Les chlorates

Les chlorates sont formés pendant le stockage d'hypochlorite de sodium. Ils sont donc un indicateur du temps de stockage. Si les livraisons d'hypochlorite de sodium ont une fréquence trop basse (donc si le gestionnaire de la piscine ne commande des grandes quantités que quelques fois par an au lieu de livraisons de plus petites quantités mais plus fréquentes), une grande quantité d'hypochlorite peut être convertie en chlorate. Ainsi deux désavantages sont créés en même temps : la quantité disponible d'hypochlorite (donc du produit désinfectant) diminue et un produit toxique (le chlorate) est généré.

2.2.3. Conclusions pour l'Allemagne

Ce groupe de valeurs induit donc deux grands inconvénients : une consommation élevée d'eau (et donc également d'énergie nécessaire à chauffer cette eau) et des **circonstances favorables à la formation des trichloramines**. En pratique, ces normes sont difficilement applicables, ce qui pourrait expliquer le fait qu'elles ne sont toujours pas incorporées dans la législation Allemande. Sur Cette base, il est estimé qu'environ 80% des piscines en Allemagne ne répondent pas à la norme DIN 19643.

2.6. En France

2.6.1. Références légales

En France, la législation concernant la qualité de l'eau des piscines est concentrée :

- **dans le Code de la Santé publique** (articles L. 1332-1 à L. 1332-9) [7] Le Code de la Santé publique ne considère que les responsabilités et les obligations de l'exploitant de la piscine.
- **dans le décret n° 2003-462 du 21 mai 2003 relatif aux dispositions réglementaires des parties I, II et III du Code de la Santé publique** (articles D. 1332-1 à D. 1332-15) [8]. Ces dispositions ont depuis 2003 remplacé le décret n° 81-324 du 7 avril 1981 fixant les normes d'hygiène et de sécurité applicables aux piscines et aux baignades aménagées [9]
- **dans l'arrêté du 7 avril 1981 relatif aux dispositions techniques applicables aux piscines** [10] qui est toujours en vigueur.

Le décret n° 2003-462 et l'arrêté du 7 avril 1981 contiennent les réglementations concernant la construction de la piscine, les techniques de traitement de l'eau et la qualité de l'eau. Le décret fixe dans l'article D. 1332-2 des valeurs limites pour la qualité de l'eau des bassins aménagés qui sont repérées dans le tableau ci-dessous.

L'arrêté du 7 avril 1981 définit dans l'article 5 les produits ou procédés qui peuvent être employés pour la désinfection des eaux : les produits chlorés, le brome, l'ozone et le chlorhydrate de polyhexaméthylène biguanide (PHMB). Pour chaque type de produit, l'arrêté donne des valeurs limites différentes pour le pH et pour les teneurs des désinfectants. Le tableau ci-dessous contient les valeurs pour une désinfection utilisant des produits chlorés sans l'addition d'acide isocyanurique.

Tableau 2.3 : Valeurs clés en France

paramètre	unité	valeur min.	valeur max.
<u>Bactériologiques</u>			
nombre total de germes revivifiables à 37°C	n/ml		< 100
coliformes totaux	n/100 ml		< 10
coliformes fécaux	n/100 ml		< 1
staphylocoques pathogènes	n/100 ml		< 1 (pour 90% des échantillons)
<u>Chimiques</u>			
pH		6,9	7,7
chlore libre actif	mg/l	0,4	1,4
chlore total	mg/l		chlore libre + 0,6
substance oxydable au KMnO ₄	mg O ₂ /l		eau fraîche + 4
<u>Physiques</u>			
Transparence			visibilité parfaite des lignes de nage sombres de 0,30 m de côté au fond du bassin

La législation française prévoit la liberté d'introduire d'autres produits ou procédés en plus des quatre qui sont énumérés dans l'article 5 de l'AR du 07/04/81 (les produits chlorés, le brome, l'ozone et le PHMB). À cet effet les articles 7, 8 et 9 du décret n° 2003-462 permettent de déclarer selon une certaine procédure au Ministère chargé de la Santé d'autres produits. Ces produits ou procédés doivent d'abord être légalement utilisés dans un des autres états membres de l'Union européenne ou de l'Espace économique européen. L'Agence française de Sécurité sanitaire de l'Environnement et du Travail évaluera les produits ou les procédés proposés en considérant les points suivants :

- l'intérêt potentiel technologique du produit ou du procédé ;
- la composition précise du produit ou le descriptif détaillé du procédé ;
- les cinétiques de réaction mises en jeu ou les principes de fonctionnement ;
- la toxicité à court, moyen et long terme du produit ou du procédé lui-même et des sous-produits de réaction éventuellement formés ainsi que la vérification de leur innocuité pour les personnes au contact ;
- l'efficacité du produit, vis-à-vis des micro-organismes, dans les conditions d'utilisation préconisées ;
- les réactions éventuelles avec les autres composés chimiques habituellement présents dans les établissements de natation comme les produits de nettoyage et de désinfection des sols, les produits additifs de traitement de l'eau (algicides, ...) et les matières organiques ;
- les résultats d'essais en vraie grandeur selon un protocole validé par l'Agence française de Sécurité sanitaire, de l'Environnement et du Travail.

Si un produit ou un procédé est approuvé, il sera inscrit dans la liste des produits ou procédés utilisables qui est établie par le Ministre chargé de la Santé.

Sans juger ici les produits mentionnés dans l'AR du 07/04/81, il est clair que la France, a déjà incorporé d'autres moyens de désinfection dans sa législation et laisse en plus la possibilité d'introduire de nouveaux moyens de désinfection. Mais comme les produits doivent au moins être utilisés légalement dans un autre pays européen, les Français évitent (ou empêchent) l'introduction de produits totalement nouveaux.

La question se pose de savoir s'il est utile d'incorporer des procédés de désinfection dans la législation qui font, pour l'instant, l'objet des constatations suivantes :

- **Le brome cause des bromates** qui sont, même en petites quantités, nuisibles à la santé. En général, **les sous-produits de désinfection à base de brome sont environ trois fois plus nuisibles que ceux à base de chlore à cause de leur poids moléculaire plus élevé.**
- **L'ozone** comporte également le risque de formation des bromates (à base des bromures dans l'eau de suppléance) et le risque d'avoir de l'ozone dans l'eau du bassin. Excepté la fonction désinfectante locale, cette méthode n'apporte pas de réels avantages. La désinfection dans le bassin est toujours faite à base de chlore. Ce fait comporte également un grand risque : il est presque impossible de déterminer la concentration d'ozone dans l'eau en présence du chlore. L'ozone est uniquement utilisé comme oxydant supplémentaire afin de

pouvoir réduire la consommation de chlore. **Mais pour éviter la présence d’ozone résiduel dans l’eau du bassin**, un filtre à charbon actif est installé dans le réseau de l’eau de piscine. Ce filtre attrapera l’ozone mais aussi les composés de chlore. Par conséquent, plus de chlore devra être ajouté au système.

En 2010, l’Agence Française de Sécurité Sanitaire de l’Environnement et du Travail (AFSSET) a établi un avis extensif relatif à l’évaluation des risques sanitaires liés aux piscines [11]. Outre l’évaluation des risques, ce document considère la législation en vigueur et donne des avis afin de mieux contrôler les risques. Quelques recommandations de l’AFSSET sont reprises ci-dessous:

- Il semble que l’application des teneurs en chlore libre de la norme allemande (0,3 – 0,6 mg/l, attention : dans la norme française figure le chlore libre actif) serait possible dans les piscines n’utilisant pas l’acide isocyanurique, si les autres règles d’hygiène et de qualité de l’eau sont strictement appliquées et si des systèmes d’analyse et de dosage mesurent continuellement le pH et le taux de chlore libre.
- Il n’est pas encore possible d’évaluer les risques pour la santé des produits alternatifs permis comme le brome et l’ozone à cause d’absence de données d’exposition. Les données de la littérature montrent que certains sous-produits ont des effets nuisibles.
- Il serait utile de mettre en place le suivi de nouveaux indicateurs d’efficacité de la filtration, tels que la mesure de la turbidité et des spores des bactéries anaérobies sulfito-réductrices (ASR).

L’AFSSET formule également quelques propositions par rapport aux paramètres de qualité de l’eau : le remplacement de certains paramètres par d’autres, l’introduction de nouveaux paramètres, la suppression de certains paramètres, le changement des valeurs limites, ... Le tableau des paramètres de qualité de l’eau proposé par l’AFSSET est repris ci-dessous.

Tableau 2.4 : Valeurs clés pour la France proposées par l’AFSSET

paramètre	unité	valeur min.	valeur max.
<u>bactériologiques</u>			
nombre total de germes revivifiables à 37°C	n/ml		100
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	n/100 ml		absence
<i>Escherichia coli</i>	n/100 ml		absence
entérocoques intestinaux	n/100 ml		absence
spores des bactéries ASR			absence
staphylocoques pathogènes (sur 12 mois)	n/100 ml		absence (pour 90% des échantillons) 30 (pour 10% des échantillons)
staphylocoques pathogènes (sur 12 mois) (pour les piscines saisonnières)	n/100 ml		absence (pour 100% des échantillons)
<u>chimiques</u>			
pH		6,9	8,2 (en fonction du désinfectant utilisé)
carbone organique total (COT)	mg/l		5
chlore libre actif	mg/l	0,4	1,4
chlore libre actif (si conditions d’hygiène sont respectées)	mg/l	0,3	0,6
chlore libre disponible (dans le cas du chlore stabilisé)	mg/l	2,0	4,0
chlore combiné	mg/l		0,6
brome résiduel	mg/l	1,0	2,0
ozone résiduel (entre injection et désozonation)	mg/l		0,4
PHMB	mg/l	20,0	35,0
trihalométhanes totaux	mg/l		0,1 (de préférence 0,02)
trichloramine dans l’air	mg/m ³		0,3
<u>physiques</u>			
turbidité en sortie du filtre	NFU		0,3

En outre l’avis de l’AFSSET considère d’autres domaines comme l’hygiène des baigneurs, la gestion de la qualité de l’air, l’agencement, l’entretien et le nettoyage des locaux, la baignade de bébés et de jeunes enfants, des recommandations pour les travailleurs.

Finalement l’AFSSET fait des propositions d’amélioration des connaissances des sous-produits à l’aide des études et de la construction d’une base de données nationale.

2.7. Aux Pays-Bas

2.7.1. Références légales

Les Pays-Bas ont concentré la législation concernant les piscines publiques dans le *Besluit hygiëne en veiligheid badinrichtingen en zwemgelegenheden* (arrêté relatif à l'hygiène et la sécurité dans les baignades aménagées), *Bhvzb* [12].

Le tableau ci-dessous montre les valeurs liées à la qualité de l'eau des piscines publiques.

Tableau 2.5 : Valeurs clés aux Pays-Bas

paramètre	unité	valeur min.	valeur max.
<u>bactériologiques</u>			
nombre total de germes revivifiables à 37°C	n/ml		100
Legionella species	n/l		(éléments ludiques à jets d'eau etc.) < 100
Pseudomonas aeruginosa	n/100 ml		0 (indicatif, si imposé explicitement)
<u>chimiques</u>			
pH		6,8	7,8
chlore libre	mg/l	0,5	1,5 (5 pour bassins < 20 m³ et bassins extérieurs)
chlore combiné	mg/l		1,0
ozone (si utilisé comme oxydant)	mg/l		absent
consommation de KMnO ₄	mg KMnO ₄ /l		70% de la consommation KMnO ₄ de l'eau fraîche + 6
urée	mg/l		2
bicarbonate	mg/l	60	
capacité tampon	mmol/l	1	
<u>physiques</u>			
turbidité en sortie du filtre	NFU		0,5
transparence			jusqu'au fond

En 2011 une étude est établie ayant pour objectifs de formuler des recommandations vers une nouvelle législation concernant les piscines [13]. L'étude comportait : une inventarisation des législations des autres pays et des interviews avec des experts.

Les recommandations formulées concernant les paramètres de qualité de l'eau sont :

- **L'analyse des paramètres microbiologiques** devrait être effectuée plus fréquemment, même si les coûts engendrés par les prises d'analyses sont importants. (Cet avis ne sera pas incorporé dans la nouvelle législation). Les échantillons devraient être pris aux moments de grande occupation du bassin. Les données devraient être gardées et contrôlées au niveau national.
- **Les Cryptosporidium et Giardia**, méritent plus d'attention. Vu que les analyses de ces organismes seraient tellement difficiles et chères, il serait plus utile de prévoir des prescriptions plus strictes au niveau de la maintenance, du lavage et de l'inspection des filtres. Le risque de développement d'un biofilm et des bactéries légionelloses serait diminué.
- **Les staphylocoques** pathogènes sont un indicateur de l'efficacité de la désinfection relatif à l'occupation du bassin. (valeur recommandée < 1/100ml).
- **Les entérocoques** sont plus résistants au chlore que les E. coli et sont donc un bon indicateur de la charge fécale de l'eau. (valeur recommandée < 1/100ml).
- La relation entre le pH et la teneur en chlore libre est importante et doit être plus présente dans les règles. Dans ce cadre le paramètre chlore libre actif pourrait être calculé à base du chlore libre et du pH.
- **L'exigence d'ajouter 30 litres d'eau fraîche par nageur pourrait être remplacée par la teneur en chlorures ou la conductivité** comme paramètre indiquant le rafraîchissement de l'eau de piscine.
- **L'urée** est un indicateur de la pollution de l'eau par les nageurs et **un précurseur de la formation de trichloramines. L'importance de ce paramètre est évidente**, mais les filtres à charbon actif enlèvent l'urée de l'eau de piscine, éliminant ainsi l'indicateur mais pas la pollution. Il serait alors utile **d'intégrer les nitrates** ou la présence totale d'azote dans les paramètres. En général il faut faire attention à la suppression sélective des paramètres indicateurs. (urée ≤ 2 mg/l et nitrate ≤ 50 mg/l).
- Il y a des arguments pour et contre la diminution de la teneur maximale en chlore combiné. Le chlore combiné est à la base de la formation de trichloramines. Une diminution de la teneur permise

causerait une augmentation de la consommation d'eau. La réaction entre le chlore combiné et l'ammonium est la seule possibilité d'éliminer l'azote de l'eau en forme gazeuse.

Un autre rapport d'une équipe d'experts [14] (incluant Ludo Feyen de Labo Derva) parle des exigences à intégrer dans la nouvelle législation néerlandaise. Le rapport comprend des avis concernant les aspects suivants :

- les exigences pour les désinfectants existants et neufs ;
- la composition des produits chimiques ajoutés à l'eau de natation ;
- les exigences concernant la distribution et la circulation de l'eau dans un bassin ;
- les paramètres concernant les substances anthropogènes ;
- les paramètres concernant le rafraîchissement de l'eau de natation ;
- les sous-produits de désinfection.

La proposition d'un nouvel ensemble de paramètres est résumée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2.6 : Valeurs clés pour les Pays-Bas proposées par l'équipe d'experts

paramètre	unité	valeur limite
<u>A) désinfectant</u>		
chlore libre	mg/l	≥ 0,5 * ≤ 1,5
<u>B) sous-produits de désinfection</u>		
chlore combiné	mg/l	≤ 0,50
trichloramine	mg/m ³ (air)	≤ 0,50
chlorate	mg/l	< 30
bromate	µg/l	≤ 50
trihalométhanes	µg/l	≤ 50
<u>C) charge anthropogène microbiologique</u>		
Pseudomonas aeruginosa	/100 ml	< 1
entérocoques intestinales	/100 ml	< 1
spores de Clostridia sulfite-réductrice	/100 ml	< 1
Staphylococcus aureus	/100 ml	< 1
<u>D) charge anthropogène chimique</u>		
urée	mg/l	≤ 2,0
nitrate	mg/l	≤ 50
consommation KMnO ₄	mg/l O ₂	≤ 3,0
turbidité	FTE	≤ 0,50
<u>E) efficacité de désinfection</u>		
acidité (pH)		7,30 ± 0,30
carbonate d'hydrogène	mg/l	≥ 40
<u>F) transparence</u>		
transparence (organoleptique)		vision du fond
<u>G) indicateurs réguliers</u>		
chlorure	mg/l	† ≤ 800
légionelle	/l	< 1000

* ≤ 3,0 pour les bassins extérieurs

† à l'exception des bassins à eau salée et des bassins utilisant l'électrolyse au sel

La nouvelle législation sera en vigueur dès le 1^{er} janvier 2018 au plus tôt.

2.8. En Flandre

2.8.1. Références légales

La qualité de l'eau des piscines flamandes est déterminée par le *Vlaams Reglement betreffende de Milieuvergunning* (règlement flamand relatif à l'autorisation écologique = permis d'environnement), VLAREM [14], comparable aux conditions sectorielles en Wallonie.

Le chapitre 5.32.9 du livre II du VLAREM est d'application pour les piscines. Les valeurs limites reprises dans cette réglementation se trouvent dans le tableau ci-dessous. L'ozone n'est pas repris comme paramètre vu qu'il n'est pas admis comme désinfectant en Flandre.

Tableau 2.7 : Valeurs clés en Flandre

paramètre	unité	valeur min.	valeur max.
<u>bactériologiques</u>			
nombre total de germes revivifiables à 37°C	n/ml		100
staphylocoques à coagulase positive	n/100 ml		0
Pseudomonas aeruginosa	n/100 ml		0
<u>chimiques</u>			
pH		7,0	7,6
chlore libre	mg/l	^a 0,5	^a 1,5
chlore combiné	mg/l		0,6
bicarbonate	mg/l	60	
urée	mg/l		2,0
chlorure	mg/l		^b 800
oxydabilité à chaud (KMnO ₄)	mg O ₂ /l		5
<u>physiques</u>			
température	°C		^c 32
transparence			jusqu'au fond
pollution visible			absente
odeur			absente
écume			absente
couleur			incolorée

^a autres valeurs sont appliquées aux bassins extérieurs, hot whirlpools et bains froids

^b à l'exception des bassins salés et des bassins utilisant l'électrolyse au sel

^c à l'exception d'approbation du médecin environnemental ou de l'expert en santé environnementale

2.9. À Bruxelles

2.9.1. Références légales

Par Bruxelles, on entend dans ce cas la région de Bruxelles-Capitale. Le tableau ci-dessous reprend les valeurs clés formulées par l'Arrêté du 10 octobre 2002 fixant les conditions d'exploitation pour les bassins de natation [16].

La plupart des valeurs limites se rapproche des exigences en Flandre. Une particularité de cette réglementation est la présence de valeurs recommandées en plus des valeurs limites. Cette particularité figure également dans la législation wallonne (voir §2.10 ci-dessous).

Tableau 2.8 : Valeurs clés à Bruxelles

paramètre	unité	valeurs limites		valeurs recommandées	
		valeur min.	valeur max.	valeur min.	valeur max.
<u>bactériologiques †</u>					
nombre total de germes revivifiables à 37°C	n/ml		100		
Pseudomonas aeruginosa	n/100 ml		0		
staphylocoques à coagulase positive	n/100 ml		0		
streptocoques fécaux	n/100 ml		0		
<u>chimiques</u>					
pH		7,0	7,6		
chlore libre	mg/l	0,5	1,5	0,3	1,0
chlore combiné	mg/l		0,8		0,5
urée	mg/l		2,0		1,0
chlorure	mg/l		800		
oxydabilité à chaud (KMnO ₄)	mg O ₂ /l		5,0		
ozone *	mg/l		0,05		
chloroforme	mg/l		0,1		
<u>physiques</u>					
température	°C				28 (grands bassins) 30 (petits bassins)
transparence			vision du fond		
pollution visible			absente		
couleur			aucune		

* uniquement pour les piscines utilisant l'ozone comme désinfectant

† des valeurs spécifiques sont appliquées aux bacs pédiluves

2.10. En Wallonie

Trois Arrêtés du Gouvernement Wallon du 13 juin 2013 déterminent les conditions sectorielles et les conditions intégrales relatives aux piscines réglementent la construction et l'exploitation des bassins de natation [15]. La réglementation à appliquer est fonction des caractéristiques du bassin de natation et du système de désinfection utilisé :

- lorsque la surface est supérieure à 100 m² et la profondeur supérieure à 40 cm ;
- lorsque la surface est inférieure ou égale à 100 m² ou la profondeur inférieure ou égale à 40 cm, utilisant exclusivement le chlore comme procédé de désinfection de l'eau ;
- lorsque la surface est inférieure ou égale à 100 m² ou la profondeur inférieure ou égale à 40 cm, utilisant un procédé de désinfection autre que le chlore ou en combinaison avec du chlore.

L'arrêté visant les grands bassins (surface > 100 m² et profondeur > 40 cm) contient des valeurs de base pour tous procédés de désinfection et des valeurs supplémentaires pour les bassins désinfectés exclusivement au chlore.

Les tableaux figurant dans les arrêtés donnent des valeurs limites ainsi que des valeurs guides (des valeurs recommandées). Pour l'ensemble des 3 arrêtés, les valeurs sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2.9 : Valeurs clés en Wallonie pour les bassins couverts

paramètre	unité	valeurs limites		valeurs guides	
		valeur min.	valeur max.	valeur min.	valeur max.
<u>bactériologiques</u>					
nombre total de germes revivifiables à 37°C	n/ml		100		
Pseudomonas aeruginosa	n/100 ml		0		
staphylocoques à coagulase positive	n/100 ml		0		
entérocoques intestinaux	n/100 ml		0		
<u>chimiques</u>					
pH		6,5	^a 7,6 – 8,3	7,2	7,4
chlore libre *	mg/l	^b 0,3 – 0,5	1,5	0,5	1,0
chlore actif *	mg/l	0,4			
chlore combiné *	mg/l		0,8		0,3
urée	mg/l		2		
chlorure *	mg/l		^c 800		
sulfate *	mg/l		^d 500		
oxydabilité à chaud (KMnO ₄)	mg O ₂ /l		5		
<u>physiques</u>					
transparence			vision du fond		
pollution visible			absente		
couleur			absente		

* ces paramètres ne s'appliquent pas aux petits bassins utilisant d'autres désinfectants que le chlore

^a pour les bassins utilisant un désinfectant autre que le chlore ou en combinaison avec du chlore, le pH maximal est de 8,3

^b pour les grands bassins, la valeur minimale du chlore libre est de 0,5 mg/l

^c si la correction du pH est effectuée avec de l'acide chlorhydrique et à l'exception des bassins salés

^d si la correction du pH est effectuée avec de l'acide sulfurique

2.11. Recommandations pour la Wallonie

2.11.1. Échantillonnage et analyse

Le contrôle de la qualité de l'eau de piscine est basé sur les analyses mensuelles des échantillons pris dans les bassins. Il est donc de grande importance que ces échantillons soient représentatifs et que les analyses soient qualitatives.

Afin d'organiser les échantillonnages pendant les périodes de grande occupation, les gestionnaires devraient faire connaître ces périodes à l'avance aux laboratoires. En procédant de cette manière, l'effet de surprise des contrôles non annoncés serait perdu. Les résultats seraient dans ce cas moins représentatifs.

En cas d'utilisation de produits de désinfection autre que le chlore, il faut faire attention à la méthode d'échantillonnage de l'eau de piscine vu que le procédé dépend des produits utilisés. Une bonne connaissance en la matière est nécessaire pour échantillonner et analyser correctement l'eau de piscine.

Le dépassement d'un des paramètres contrôlés n'implique pas automatiquement qu'il y a une situation dangereuse. Il est possible que l'échantillon ait été contaminé pendant la prise dans le bassin, p.ex. par un nageur qui se trouvait trop proche de l'échantillonnage ou par une perte fécale récente dans le bassin (entérocoques), ... Si le personnel prend les mesures adéquates et qu'une analyse supplémentaire indique qu'il n'y a plus de dépassement, on ne peut pas parler d'incident grave.

Tableau de Valeurs recommandées par l'auteur de projet pour la Wallonie pour les grands bassins (lorsque la surface est supérieure à 100 m² et la profondeur supérieure à 40 cm), couverts et désinfectés au chlore

paramètre	unité	valeurs limites	
		valeur min.	valeur max.
<u>bactériologiques</u>			
nombre total de germes revivifiables à 37°C	n/ml		100
Spoires des Clostridia sulfito-réductrices (SCSR)	n/100 ml		0
Pseudomonas aeruginosa	n/100 ml		0
staphylocoques à coagulase positive	n/100 ml		0
entérocoques intestinaux	n/100 ml		0
<u>chimiques</u>			
pH			7,3+/-0,3
chlore libre *	mg/l	0,5	1,5
chlore combiné *	mg/l		0,6
urée	mg/l		2
chlorure *	mg/l		800
sulfate *	mg/l		500
oxydabilité à chaud (KMnO ₄)	mg O ₂ /l		5
trihalométhanes	µg/l		50
chlorate	mg/l		30
bromate	µg/l		50
<u>physiques</u>			
transparence			vision du fond
pollution visible			absente
couleur			absente

2.11.2. Application de la réglementation

Vidange du bassin

Les conditions sectorielles imposent la vidange complète des bassins au moins tous les 2 ans et, le cas échéant, la vidange du bac tampon chaque année.

Il existe un risque que l'on prête moins d'attention à la maintenance de la qualité de l'eau lorsque cette vidange approche. Sans obligation de vidanger, la qualité de l'eau doit être maintenue, et en cas d'urgence, la Police de l'Environnement peut toujours imposer une vidange complète (ce qui est actuellement le cas en Flandre).

Valeurs guides

Finalement la question se pose de savoir s'il est utile d'indiquer des valeurs guides bien choisies, et d'imposer en même temps des valeurs limites qui se trouvent très loin des valeurs guides.

Par exemple, les valeurs guides pour la limite inférieure et supérieure du pH sont de 7,2 et de 7,4, alors que les valeurs limites sont de 6,5 et de 7,6. Les valeurs guides sont bien choisies, mais les valeurs limites (dans cet exemple surtout la limite inférieure) s'écartent largement des valeurs guides. La valeur d'un paramètre peut se trouver loin de la valeur idéale, mais en même temps encore être acceptée par les valeurs limites.

En procédant de la sorte, une large plage de valeurs est acceptée et il s'est créé une grande liberté en ce qui concerne la composition de l'eau des piscines. Nous proposons d'utiliser plutôt des « valeurs buts » et une plage de déviation, p.ex. $7,3 \pm 0,3$ pour le pH. Cette formulation indiquerait plus clairement les valeurs souhaitées.

En même temps, on peut remettre en question les actions à prendre quand les valeurs se trouvent en dehors des guides ou des limites. **Actuellement, si les valeurs dépassent les valeurs limites, le problème doit être résolu dans les 30 minutes sans quoi la piscine doit être fermée. Si les valeurs se trouvent en dehors des valeurs guides mais entre les valeurs limites, aucune action n'est nécessaire.** Il serait judicieux, en cas de dépassement des valeurs limites (une situation potentiellement dangereuse !), de fermer immédiatement la piscine, et dans le cas d'un dépassement des valeurs guides, de donner un certain délai pour résoudre les problèmes, ou de ne pas permettre un certain nombre de dépassements successifs des valeurs guides.

Réglementation prescriptive ou axée sur les objectifs ?

On peut distinguer deux types de réglementation : une réglementation prescriptive et une réglementation axée sur les objectifs.

Dans une réglementation **prescriptive**, les moyens et les actions pour atteindre certains objectifs sont prescrits. La réglementation impose p.ex. le temps minimal de recyclage de l'eau d'un bassin, l'apport d'eau fraîche par baigneur, le taux maximal de chlorure (également pour assurer l'apport d'eau fraîche), etc (ce qui correspond à la réglementation en vigueur).

Une réglementation qui est axée sur les objectifs définira plutôt le niveau de qualité souhaité (une eau de piscine sûre et saine et un $\text{PH}=7,3\pm 0,3$) et laissera libre la manière utilisée pour atteindre cet objectif. Dans les pays et régions voisins, la tendance est de se diriger de plus en plus vers ce type de réglementation et de supprimer les prescriptions par rapport aux moyens.



Le groupe de travail recommande également d'aller vers une réglementation axée sur les objectifs.

3. ANALYSE DU CONTEXTE

3.1. Introduction

Pour cette étude, 10 piscines ont été sélectionnées pour réaliser des analyses qui ont permis d'obtenir un aperçu de la situation actuelle des piscines wallonnes en matière de sécurité et d'hygiène en général et de traitement de l'eau en particulier.

Les piscines retenues sont représentatives de l'ensemble des piscines en Wallonie.

L'état constructif des bâtiments visités varie d'ancien à partiellement ou totalement rénové.

Il en est de même pour les installations techniques de traitement de l'eau, de l'air et du sanitaire qui sont remplacées ou rénovées complètement ou partiellement.

Afin d'élargir le champ d'action et de vérifier les normes appliquées en Allemagne (voir chapitre 2), une des 10 piscines analysées est la *Lippe Bad* à Lünen, Allemagne.

Les paragraphes suivants résument les constatations faites pendant les visites des piscines et étudient les informations fournies par les gestionnaires. Les tableaux ci-dessous donnent un aperçu des caractéristiques des piscines analysées. Les rapports des visites et les analyses correspondantes se trouvent en annexe (A1 à A25).

Tableau 3.1 : Caractéristiques des piscines analysées (1/2)

piscine	bassin sportif					bassin d'instruction			pataugeoire	bassin extérieur	surface totale m ²
	long. m	larg. m	long. m	larg. m	surface m ²	long. m	larg. m	surface m ²	surface m ²	surface m ²	
Charleroi			50 ×	21 =	1 050	16 ×	12,5 =	200			1 250
Gembloux			25 ×	8 =	200	×	=				200
Grivegnée			25 ×	15 =	375	15 ×	8 =	120			495
Herve			25 ×	10 =	250	10 ×	8 =	80			330
Louvain-la-Neuve		2 ×	25 ×	15 =	750	×	=		x		750
Marche-en-Famenne			25 ×	15 =	375	15 ×	8 =	120			495
Mouscron			50 ×	21 =	1 050	25 ×	10 =	250	25	200	1 525
Namur - Salzinnes			25 ×	14,5 =	363	14 ×	9 =	126			489
Waterloo			25 ×	12,5 =	313	10 ×	10 =	100			413
Lünen	25 ×	10 +	25 ×	13 =	575			100	175		850

Tableau 3.2 : Caractéristiques des piscines analysées (2/2)

piscine	année de construction	état du bâtiment*	état de l'installation*	désinfectant	filtrant	UV
Charleroi	1976	R	N	électrolyse (chlore)	sable + hydroanthracite	oui
Gembloux	1971	A	R	hypochlorite	sable + hydroanthracite	
Grivegnée	1972	R	N	hypochlorite	sable + hydroanthracite	
Herve	1978	A	N	ozone + hypochlorite	sable + hydroanthracite	
Louvain-la-Neuve	1980	A	R	cuivre-argent	sable	
Marche-en-Famenne	1982	R	N	hypochlorite	sable + hydroanthracite	
Mouscron	1989	R	N	hypochlorite	billes de verre	oui
Namur - Salzinnes	1957	R	R	hypochlorite	diatomée	
Waterloo	1974	R	N	hypochlorite	sable + hydroanthracite	oui
Lünen	2013	N	N	électrolyse (chlore)	ultrafiltration + charbon actif	oui

* A = ancien, R = rénové, N = nouveau

3.2. Analyse et commentaire

3.2.1. Situation des bâtiments

Les années de construction des bâtiments visités varient de 1957 à 2013. Il est clair qu'un bâtiment datant des années '70 ou plus ancien nécessite des travaux de rénovation.

Constatations

Dans la plupart des bâtiments, on constate que:

- le carrelage a été remplacé sur les plages, dans les vestiaires et/ou dans la cuve.
- Dans plusieurs cas, le béton de la cuve a souffert de l'attaque de l'atmosphère chlorée (armatures apparentes, traces de corrosion, béton effrité....) et a dû être rénové ou protégé. C'est surtout le cas dans les piscines avec bacs tampon ouverts à proximité de la cuve. Il faut noter qu'auparavant, les bétons ne possédaient pas les qualités actuelles de résistances
- la ventilation des piscines était bien souvent sous dimensionnée
- Les menuiseries en bois ou en métal sont également sensibles à l'air humide et chloré. Celles-ci ont donc du être remplacées à plusieurs endroits.
- Dans certains cas, la structure du plafond ou de la toiture a été renouvelée.
- Les tuyauteries en acier ou équipements de ventilation sont également attaqués par le chlore (traces de corrosion).

Améliorations

En termes d'amélioration, la situation existante peut limiter les possibilités de rénovation des techniques. En effet, les caves où se trouvent souvent les installations techniques peuvent être vastes et spacieuses, mais également étroites et impraticables.

L'espace disponible en cave est un facteur important pour estimer les possibilités de rénovation ou de remplacement des installations techniques.

De plus, dans beaucoup de cas les détails de construction sont liés aux principes techniques de fonctionnement, p.ex. la présence ou l'absence d'une goulotte de débordement ou du type de débordement, les pentes de sol de la cuve et des plages, la présence ou absence et le volume des bacs tampon, la position des conduites d'eau de piscine enterrées ou coulées dans les dalles et les parois en béton, ... Ces éléments ne sont modifiables qu'à l'aide d'une rénovation profonde (extension, création d'un nouveau local technique).

3.2.2. Situation technique

À l'exception de la piscine allemande qui a été construite il y a quelques années, aucune installation technique des différentes piscines visitées ne se trouve dans son état d'origine. Les anciennes installations ne sont plus conformes aux nouvelles réglementations reprises dans les conditions sectorielles (la qualité de l'eau exigée est difficilement maintenue) et ont une durée de vie limitée.

Ces conditions exigent un certain temps de recyclage de l'eau du bassin, des mesures automatiques du désinfectant et du pH et imposent également des exigences en matière de filtration et d'injection de produits chimiques.

Par conséquent, la plupart des piscines ont remplacé certains ou presque tous les éléments de leur installation de traitement de l'eau : les filtres, les pompes de circulation, le système de désinfection, le mesurage automatique des paramètres (s'il existait), les bacs tampons (s'ils existaient), ...

- Les filtres

Dans la plus grande partie des piscines visitées, on a remplacé les anciens filtres (souvent des filtres en acier) par des filtres en plastique, remplis de sable et parfois d'hydroanthracite. Dans plusieurs cas, le corps des filtres est assez bas, ce qui a pour conséquence que la hauteur totale des couches filtrantes n'est pas suffisante ou que la masse filtrante n'arrive pas à se décomposer lors du lavage du filtre.

La hauteur du corps des filtres devrait être de 2,5 m minimum.

- Les pompes de circulation ont été remplacées, souvent par des pompes à régulateur de fréquence.

Autour du système filtrant, la tuyauterie a dû être remplacée et dans plusieurs cas, on a remplacé toutes les anciennes conduites accessibles (qui parfois étaient en amiante-ciment).

- Stockage des produits chimique :

Les piscines visitées répondent plus ou moins aux exigences des conditions sectorielles en matière de stockage et de dosage des produits chimiques. Souvent des locaux séparés de stockage ont été construits dans le volume du bâtiment existant lors des travaux de rénovation.

- La circulation hydraulique

Un élément de grande importance pour la qualité de l'eau des bassins et qui n'a pas fait l'objet de travaux de rénovation depuis sa construction est la circulation hydraulique à travers le bassin. En effet, les points de refoulement et de reprise de l'eau dans la cuve et le système de débordement sont déterminés pendant la construction de la cuve. Il est clair qu'il n'est pas du tout simple d'adapter ces éléments par la suite vu

l'étanchéité de la cuve ou l'état du béton (pas de nouveaux trous dans les parois). Les conduites de reprise sont souvent enterrées sous la dalle du bassin. Pour changer le type de débordement, il est nécessaire de détruire le bord du bassin et les plages ce qui n'est à ce jour pas envisagé.

Ces aspects ont pourtant une grande influence sur la qualité de l'eau.

Si la circulation de l'eau se fait de manière uniforme et rapide, les analyses de qualité de l'eau sont plus représentatives et le dosage des produits chimiques est mieux adapté aux besoins.

Le système réagit plus vite en évitant des périodes de surdosage et de grandes fluctuations des paramètres. Dans quelques piscines visitées, **le nombre de grilles de reprise des eaux** est souvent sous-dimensionné : si tout le débit de circulation est aspiré seulement par un petit nombre de grilles, la force aspirante d'une grille est très grande et une situation très dangereuse pourrait être générée.

- Le bac tampon

Un deuxième élément qui n'est pas facile à améliorer est le bac tampon. Dans les anciennes piscines, le bac tampon est souvent sous-dimensionné. Le volume d'eau stocké ne suffit alors pas pour le lavage des filtres et les pompes aspirent l'eau de lavage directement du bassin. Par conséquent, il est possible que le niveau de l'eau dans la cuve diminue fortement. Dès lors, il n'y a pas de débordement durant plusieurs heures (ou dans certains cas plusieurs jours !). Dans une des piscines visitées, il n'y a pas de bac tampon et toute l'eau qui passe par la goulotte de débordement va directement à l'égout.

3.2.3. Fonctionnement

Chaque piscine a ses propres particularités, mais en général, les systèmes de fonctionnement hydraulique des piscines sont assez similaires. On a cependant constaté des différences dans la gestion et dans la maintenance des systèmes de traitement de l'eau.

- Lavage des filtres

Bien que la plupart des piscines disposent de filtres similaires et que le matériel filtrant est comparable, la durée et la fréquence de lavage varient d'une piscine à l'autre. Les gestionnaires et les techniciens mentionnent des durées de lavage à partir de 30 secondes jusqu'à 10 minutes.

Le lavage est fait une ou deux fois par semaine par filtre ou même tous les deux jours. Souvent, on a peu de contrôle sur la quantité de l'eau qui est rejetée à l'égout. Parfois le lavage des filtres est la seule manière de pouvoir jeter une quantité déterminée de l'eau du système de piscine à l'égout. Cet appoint d'eau (la suppléance) peut s'effectuer automatiquement mais également manuellement selon le système installé.

Les possibilités d'appoint d'eau fraîche sont fortement liées aux caractéristiques du bac tampon. Si le bac tampon est (trop) petit, le système perdra constamment de l'eau. Dans ce cas, une grande quantité d'eau fraîche sera ajoutée ce qui contribuera à la qualité de l'eau mais induira une consommation élevée d'eau et d'énergie. Si le bac tampon est plus volumineux, on peut mieux contrôler les quantités d'eau rejetée et ajoutée au système. Une perte inévitable d'eau est la quantité d'eau qui est emportée du bassin par les nageurs (ca. 15 l/personne). Le tableau ci-dessous montre les grandes différences de consommations d'eau fraîche et de produits chimiques par rapport au nombre de visiteurs et ce pour les piscines analysées.

Tableau 3.3 : Visites et consommations des piscines analysées

piscine	visiteurs par an		Consommations chlore			consommations par visiteur		
	min./moy. pers.	max. pers.	chlore l/jour	acide l/jour	eau m ³ /jour	chlore l/pers.	acide l/pers.	eau l/pers.
Charleroi	275 000		*113	†18	25	*0,143	†0,022	32
Gembloux	95 000		20	(x)	8	0,069		30
Grivegnée	80 000	100 000	80	20	35	0,350	0,088	153
Herve	150 000		30	1	23	0,060	0,002	46
Louvain-la-Neuve	400 000		-	(x)	9	-		8
Marche-en-Famenne	95 000	110 000	28	3	30	0,104	0,011	112
Mouscron	405 000		60	9	50	0,053	0,008	44
Namur - Salzinnes	160 000	180 000	30	10	30	0,065	0,022	65
Waterloo	185 000		60	4	25	0,114	0,008	47
Lünen	220 000		*29	4	53	*0,043		77

* : valeur en litres calculée, en réalité consommation en kg de sel (1 l NaOCl (solution 15%) = 3,5 kg NaCl × 1,2 kg/l × 0,15)

† : valeur en litres calculée, donnée en kg de solution H₂SO₄ (ca. 1,3 kg/l)

(x) : données pas reçues

- Analyse du tableau :

Sur les 9 piscines visitées, 7 piscines ont une consommation >30 l/pers/jour. Deux d'entre-elles, ont une consommation 5 fois supérieure. Une piscine sur les 9 a une consommation <30 l/pers/jour.

On constate parmi les piscines analysées, que la consommation journalière d'eau et de chlore n'est pas proportionnelle au nombre de visiteurs.

Toutes les piscines analysées sont gérées par des techniciens qui connaissent bien les installations et suivent leur fonctionnement journalier. Néanmoins, on peut se poser la question de savoir si les piscines sont gérées de façon optimale avec une conscientisation des consommations d'eau journalière. Il y a des grandes différences en consommation par visiteur. Ceci peut être dû aux caractéristiques de l'installation mais dépend également de la gestion. Une optimisation est possible à ce niveau.

3.2.4. Hygiène et qualité de l'eau

Dans les rapports d'analyse de la qualité de l'eau de 2014, mis à disposition par 8 des piscines analysées, on peut voir qu'il est apparemment difficile de maintenir en permanence une qualité d'eau irréprochable.

- Contaminations observées :

Les bactéries qui témoignent de la capacité désinfectante de l'eau sont :

- ❖ Les staphylocoques
- ❖ le Pseudomonas aeruginosa
- ❖ le nombre total de micro-organismes revivifiables à 37°C par millilitre d'eau
- ❖ Les entérocoques

Chaque piscine doit faire face en moyenne à une ou deux contaminations de staphylocoques par an.

- Analyse des valeurs mensuelles observées :

Point de vue chimique, les différents composés du chlore sont analysés.

Les analyses rapportent que la teneur maximale en chlore combiné est parfois dépassée.

En général, les piscines analysées peuvent répondre aux exigences de qualité de l'eau (voir caractéristiques bactériologiques et chimiques du tableau en chapitre II). Une des piscines, n'utilisant pas le chlore mais le système cuivre-argent comme désinfectant, a des résultats moins favorables au niveau bactériologie.

On constate une différence significative entre les valeurs des paramètres chimiques des piscines, mais aussi entre les valeurs des différents bassins des piscines et dans certains cas même entre les valeurs des différentes analyses mensuelles des bassins individuels. Lorsque les teneurs en chlore et le pH varient pour un bassin de mois en mois, cela indique des faiblesses au niveau du système de traitement de l'eau : peut-être que le dosage de désinfectant ou de correcteur du pH n'est pas bien réglé, la circulation de l'eau dans la cuve n'est pas

optimale, les filtres ne sont pas bien lavés, l'hypochlorite de sodium est stocké trop longtemps, l'occupation a fortement changé, ... ou une combinaison de raisons.

Une fluctuation des paramètres ne veut pas dire que ces installations ne sont pas sûres, mais il est clair **qu'un système qui est capable de maintenir les valeurs à un niveau constant toute l'année y compris lors de périodes d'occupation changeante, comporte moins de risques et est plus fiable.**

Sur ce plan, une optimisation est certainement possible. Les différences entre les piscines démontrent qu'il n'y a pas de vision globale des valeurs optimales des paramètres.

- Consommations d'eau fraîche

Les rapports d'analyses présentés pour les piscines démontrent que la consommation d'eau fraîche est assez élevée.

Ceci a pour conséquence que certains problèmes ou faiblesses des systèmes de traitement de l'eau sont masqués : on peut toujours obtenir une qualité suffisante de l'eau en ajoutant de grandes quantités d'eau fraîche. Cependant cette action comporte un coût important.

Une piscine fréquentée par 100.000 personnes par an pourrait économiser € 15.000 par an (à € 5 par m³ d'eau fraîche, le coût moyen de l'eau en Wallonie TVAC) si la consommation d'eau fraîche par nageur était diminuée de 60 à 30 litres par nageur.

- Identification des sous-produits de désinfection

Les paramètres de vérification de la qualité de l'eau dont l'analyse mensuelle est imposée par la législation ne donnent pas une image complète de la qualité de l'eau. La présence des sous-produits indésirables de désinfection dans les piscines wallonnes n'est pas connue actuellement. Dans le cadre de cette étude, nous avons mesuré les concentrations de trois (groupes de) substances qui sont des sous-produits de désinfection de l'eau de piscine dans les 9 piscines publiques wallonnes analysées :

- ❖ les trihalométhanes (THM) ;
- ❖ le chlorate ;
- ❖ le bromate

Quatre séries d'échantillons par piscine ont été pris avec des intervalles d'environ 2 semaines entre les analyses pendant 2 mois. Les résultats sont détaillés en annexe B.

- Les résultats

- ❖ **Les trihalométhanes :**

Les concentrations moyennes par piscine en trihalométhanes dans l'eau se situent autour de 16 à 33 µg/l (somme des THM exprimée en chloroforme). **La concentration maximale étant de 38 µg/l.**

Les valeurs obtenues suite aux analyses sont donc inférieures à la valeur maximale. Ces concentrations ne sont donc pas considérées comme étant dangereuses. Par conséquent, on peut présumer que les concentrations de THM dans l'air ne poseront pas non plus de problèmes.

- ❖ **Les chlorates :**

Un tiers des piscines visitées fait face à des **concentrations de chlorates élevées au-dessus de 30 mg/l. Pour ces piscines, les valeurs mesurées s'étendent de 50 à 120 mg/l. Une explication possible serait le stockage de l'hypochlorite de sodium, stocké trop longtemps avant d'être utilisé**, il se dégrade en formant des chlorates. On peut remédier à ce problème en augmentant la fréquence des livraisons de chlore et en réduisant ainsi le volume fourni par livraison. Ainsi, le temps de stockage diminue et moins de chlorate se formera. Il est également important que le contenu de la citerne de stockage soit bien mélangé ou qu'il soit consommé dans l'ordre des livraisons. Ceci peut être obtenu en positionnant la conduite de remplissage de la citerne en haut et le tuyau d'aspiration vers la pompe doseuse en bas de la citerne.

- ❖ **Les bromates :**

Quant au bromate, la situation des piscines wallonnes analysées est plus grave. La plupart des piscines analysées **souffrent d'une concentration trop élevée de bromate. Sept piscines sur les 9 piscines analysées montrent des teneurs en bromate au-dessus de 100 µg/l**, et dans une des deux autres piscines les résultats approchent cette valeur limite. Cinq des neuf piscines ont une **concentration de bromate qui excède 200 µg/l.**

La présence du bromate peut provenir de la conversion des bromures qui se trouvent dans l'eau potable pendant le processus de désinfection utilisant l'ozone, ou pendant l'électrolyse de sel à base de saumure contenant beaucoup de bromures. En outre le **bromure peut être un sous-produit de la production d'hypochlorite de sodium**. Une réglementation qualifiant les solutions d'hypochlorite de sodium et de saumure pourrait résoudre cette cause. (Une directive européenne visant les biocides et couvrant ces produits sera établie dans le futur.)

Actuellement la seule action possible afin de réduire le taux de bromates dans l'eau de piscine est de la diluer avec de l'eau fraîche.

- La piscine du Blocry à Louvain-la-Neuve :

Grâce à l'absence de chlore, la piscine du Blocry est la seule des piscines visitées qui **démontre une absence des trois groupes de sous-produits indésirables de désinfection analysés** (hormis une détection de bromate dont la cause est encore à rechercher).

- Conclusion de la campagne additionnelle d'analyses :

Les résultats de cette campagne additionnelle d'analyses démontrent que, même si l'eau d'une piscine répond aux exigences imposées par les normes ou par la législation, il est toujours possible que cette eau entraîne des risques pour la santé à cause des substances qui ne sont pas analysées actuellement. Il serait donc utile d'incorporer certains sous-produits de désinfection dans la liste des paramètres obligatoires à analyser mensuellement (voir §2.11).

3.3. Rappel

- Dimensionnement hydraulique :

Toutes les piscines wallonnes visitées dans le cadre de cette étude ont subi plusieurs rénovations, au niveau des éléments constructifs et au niveau des installations techniques. Ces rénovations étaient nécessaires suite à la dégradation des matériaux mais également pour se mettre en conformité par rapport aux normes en vigueur.

Les éléments structurels influencent le fonctionnement technique de la piscine : citons par exemple, la construction de la cuve : le nombre de points de refoulement et d'aspiration d'eau, le type de débordement mais aussi, le dimensionnement du bac tampon, les installations de filtration, le stockage des produits chimiques....

Ces éléments qui sont déterminants pour la qualité du traitement de l'eau restent souvent sans modification. Il a été constaté que l'eau n'est souvent pas distribuée uniformément dans le bassin, entraînant une surconsommation de produits chimiques ainsi qu'une désinfection de l'eau qui ne fonctionne pas de manière optimale.

Il s'agit donc de veiller au bon dimensionnement de la circulation hydraulique du/des bassins. Ce dimensionnement dépendra entre autres :

- ❖ **Du nombre de points de refoulement et d'aspiration dans le/les bassins et donc, d'une répartition homogène de l'eau**
- ❖ **Du dimensionnement de la goulotte de débordement**
- ❖ **Du dimensionnement du bac tampon**

Installations techniques de traitement de l'eau : suite à leur vieillissement, beaucoup d'éléments techniques ont été remplacés (les pompes de circulation, les filtres, les tuyauteries, ...). Malheureusement, ces éléments sont remplacés à l'identique sans avoir fait l'objet d'une optimisation du système comme, par exemple, l'installation d'un variateur à fréquence pour les pompes.

- Analyse de la qualité de l'eau :

Les piscines analysées répondent en général aux normes de qualité de l'eau. Cependant, les résultats d'analyse démontrent une variation significative des valeurs des paramètres entre les différentes piscines. Cette variation peut être causée par le mode de gestion des installations de traitement de l'eau qui diffère d'une piscine à l'autre.

Les résultats d'analyse de quelques paramètres supplémentaires (qui ne sont pas imposés par la législation) démontrent que dans plusieurs piscines, l'eau contient des concentrations dangereuses de produits nuisibles à la santé (chlorate, bromate). Cette constatation prouve qu'il est nécessaire de prêter plus d'attention à ces produits qui sont actuellement peu connus et non contrôlés.

3.4. Critères pertinents de sécurité et d'hygiène

La sécurité des piscines doit être garantie à deux niveaux : au niveau de **la construction** et au niveau de **l'exploitation**. La **norme européenne EN 15288** [19] donne des conseils afin d'assurer une sécurité suffisante :

- Au niveau de la construction :

On doit veiller au bon dimensionnement des éléments de constructions (les bassins, les plages, les locaux techniques) et aux pentes des sols, ainsi qu'aux routes et aux sorties d'évacuation. Les matériaux des éléments structurels doivent être choisis afin d'assurer la stabilité mais également d'éviter la corrosion ou la dégradation. La classe antidérapante du carrelage est importante afin d'éviter des blessures. L'installation électrique doit être conçue de manière à ce que tout accident d'électrocution soit évité. La performance des installations de ventilation, de chauffage et d'éclairage doit atteindre un niveau suffisant. Des mesures de sécurité sont appliquées au niveau des locaux de stockage des produits chimiques.

Notre analyse des piscines wallonnes ne démontre pas de défauts par rapport à ces exigences. Néanmoins, dans plusieurs cas une situation dangereuse est causée par les bouches d'aspiration (risque d'aspiration de nageurs, voir §3.2.2).

- Au niveau de l'exploitation :

***La qualité de l'eau** : La surveillance est un des éléments les plus importants.

L'exploitant doit pouvoir garantir la qualité et la capacité désinfectante de l'eau.

La qualité de l'eau doit être uniforme dans le bassin. Pour cette raison il est important de pouvoir assurer une bonne circulation de l'eau. Dans ce but, la norme propose l'exécution d'un test de coloration (voir §6.2.1) en cas de construction d'une nouvelle piscine ou en cas de modification significative du bassin ou du système de traitement de l'eau.

Comme mentionné ci-dessus, il est clair que pour plusieurs des piscines visitées on peut se poser la question de savoir si la circulation passera le test de coloration en 15 minutes.

L'hygiène dans les piscines peut être considérée à différents égards. Les sols autour des bassins doivent être nettoyés et désinfectés fréquemment. La piscine doit disposer de zones sanitaires qualitatives et suffisantes par rapport au nombre de visiteurs. La présence de douches et de pédiluves ou de douches à pieds est nécessaire pour l'hygiène des baigneurs.

***La qualité de l'air** : la qualité de l'eau influence la qualité de l'air. L'analyse d'une concentration d'une substance dans l'air est également beaucoup plus coûteuse (15 à 20 fois le prix) que l'analyse de l'eau.

***L'hygiène personnelle des baigneurs** : Il est supposé que les nageurs contribuent à la qualité de l'eau de piscine par leur hygiène personnelle : la prise d'une douche et la désinfection des pieds avant d'entrer dans la zone des bassins est obligatoire. Néanmoins une grande partie des visiteurs essaieront d'éviter les douches (même les douches forcées, donc automatiques) et les pédiluves. De plus, afin de vraiment influencer la qualité de l'eau de manière positive, il serait nécessaire que les visiteurs se lavent abondamment au savon et à nu.

3.5. Note méthodologique / Conseils d'utilisation et d'exploitation

Les recommandations listées ci-dessous offrent des méthodologies pour optimiser les éléments influençant la qualité du traitement de l'eau, à savoir :

- ❖ la circulation hydraulique ;
- ❖ le bac tampon ;
- ❖ l'apport d'eau fraîche ;
- ❖ la gestion des filtres ;
- ❖ la gestion des produits chimiques.

3.5.1. La circulation hydraulique

Il s'agit de vérifier et de dimensionner le nombre de points de refoulement et de reprise de l'eau dans la cuve ainsi que la goulotte de débordement.

Ces interventions étant difficiles à exécuter, la solution préconisée est de **construire une nouvelle goulotte de débordement sur la plage** :

Il n'est dès lors, pas nécessaire de démolir de grandes parties de la structure du béton de la cuve et des plages. Il s'agit dans un même temps, de rehausser le sol de la cuve. Ceci permet le placement de nouvelles conduites et grilles dans le sol du bassin, ce qui améliorerait la circulation de l'eau dans la cuve.

Il faut également veiller au bon dimensionnement et nombre de grilles d'aspiration dans le fond et dans les parois de la cuve (actuellement, il a été constaté un certain risque d'aspiration des nageurs suite au sous-dimensionnement du nombre de grilles)

3.5.2. Le bac tampon

Il est indispensable de prévoir un bac tampon de volume suffisant pour le lavage des filtres du système

Ainsi le lavage peut être effectué sans influencer la circulation de l'eau dans le bassin (aspiration de l'eau du bassin pour le lavage des filtres, débordement insuffisant,...). Un plus grand volume du bac tampon réduira également les pertes d'eau par débordement du bac tampon dans le cas où un grand nombre de nageurs entre dans le bassin en même temps.

3.5.3. L'apport d'eau fraîche

Un apport d'eau fraîche automatisé sur base d'un contrôle de niveau dans le bac tampon est important.. Une automatisation sur base de la fréquentation réelle (p.ex. sur base des données d'un logiciel de caisse) n'est pas recommandée : la nécessité d'apports en eau fraîche dépend en pratique d'autres facteurs comme la concentration de l'urée (qui est liée à la température de l'eau) et le volume du bac tampon.

3.5.4. La gestion des filtres

Deux lavages par semaine sont recommandés afin d'éviter la présence résiduelle de Cryptosporidium parvum et de Giardia lamblia dans le filtre.

L'état du filtre est influencé par différents facteurs :

- ❖ la vitesse de filtration,
- ❖ le turnover (temps de circulation du volume total de la cuve),
- ❖ la charge polluante (nombre de nageurs), ...
- ❖ la perte de pression à travers le filtre : elle est un bon indicateur de la pollution ou du colmatage du filtre. Une augmentation de la perte de pression de 20% par rapport à un filtre non pollué indique le besoin de lavage.

3.5.5. La gestion des produits chimiques

La réglementation impose que les produits à base de chlore et d'acide doivent être séparés et les citernes doivent être pourvues d'un bac de rétention ou d'une double paroi afin de pouvoir reprendre le contenu des citernes en cas de rupture.

Les locaux de stockage doivent répondre à d'autres exigences :

- ❖ L'hypochlorite de sodium :

En ce qui concerne l'hypochlorite de sodium, il est important de **limiter le temps de stockage**.

L'hypochlorite de sodium se dégrade en formant des chlorates, qui sont nuisibles à la santé. De plus, de cette façon, la quantité du chlore disponible à la désinfection diminue.

Il vaut donc mieux **prévoir des livraisons d'hypochlorite de sodium moins volumineuses mais plus fréquentes**. En pratique, le temps de stockage de l'hypochlorite de sodium devrait être limité à 30 ou 40 jours. Un temps de stockage de plus de 2 mois devrait être absolument évité. (Il n'est pas nécessaire de limiter la durée de stockage de l'acide sulfurique : celle-ci reste invariable.) Commander une quantité proportionnelle d'hypochlorite de sodium. Indiquer la date de remplissage des bidons ou des citernes. Le technicien peut de cette manière, facilement vérifier le temps de stockage du produit.

❖ Chlore : Evaluation de la consommation mensuelle de chlore :

Normalement le gestionnaire de la piscine dispose de la consommation annuelle de chlore et des nombres de visiteurs par jour, par semaine ou par mois. Sur base de ces données, le gestionnaire pourrait **estimer la consommation de chlore mensuelle**.

4. ÉTUDE DE CAS PARTICULIERS

Deux piscines ont été analysées plus en détail : la piscine du Blocry à Louvain-la-Neuve, n'utilisant pas le chlore mais le système cuivre-argent, et la piscine Les Dauphins à Mouscron, qui dispose d'éléments spécifiques comme des filtres à billes de verre polis et des réacteurs UV.

4.1. Piscine du Blocry, Louvain-la-Neuve

4.1.1. Description

La piscine du Blocry a deux bassins sportifs de 25 m sur 15 m (de différentes profondeurs), appelés le bassin haut et le bassin bas, et une patageoire. Dès l'ouverture en 1980, la désinfection de l'eau est faite par le système Velas-Casanova, utilisant des batteries de cuivre et d'argent. La piscine est fréquentée par environ 400.000 visiteurs par an selon l'exploitant.

4.1.2. Fonctionnement

Le système Velas-Casanova fonctionne sans chlore. Des 'batteries' composées de plaques en cuivres dissolvent des ions de cuivre dans l'eau passant à travers les plaques lorsqu'il y a un courant électrique.

Le cuivre a un effet floculant et est capté avec la pollution dans le filtre. Pour cette raison, le cuivre est ajouté avant le filtre.

L'argent, qui apporte la plupart de la capacité désinfectante, est ajouté après le filtre et circule dissous dans l'eau à travers le bassin. Le fonctionnement du procédé est expliqué en détail ci-dessous (voir §5.1).

Figure 4.1 : Plaques en cuivre à placer dans les batteries

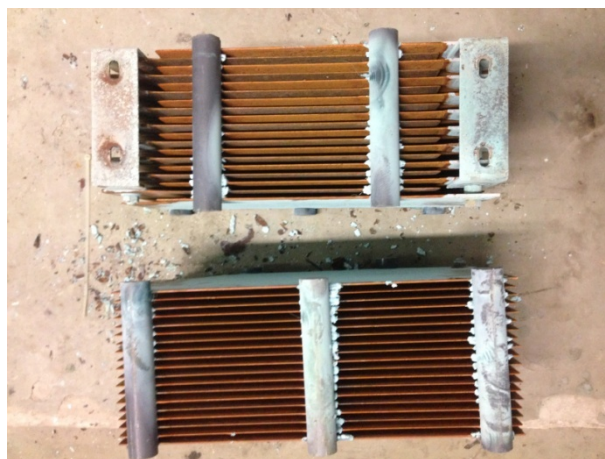
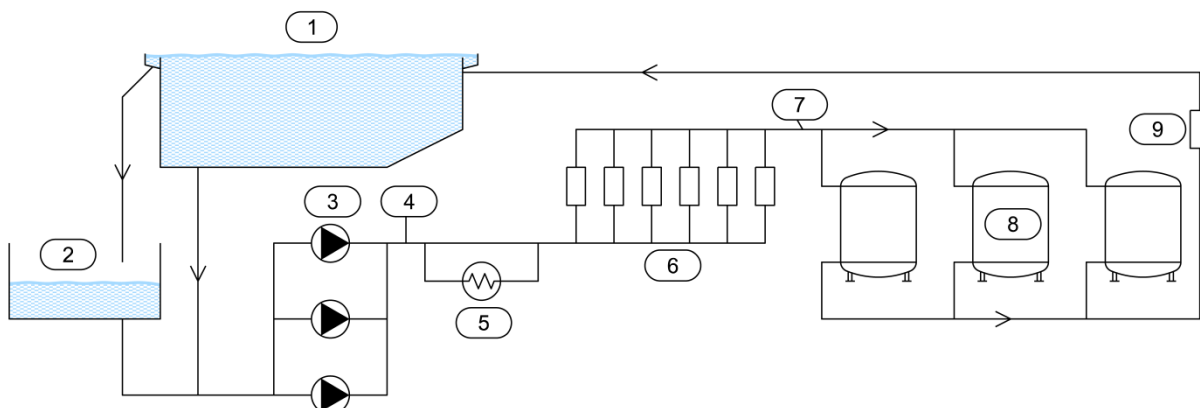


Figure 4.2 : Batteries de cuivre dans la piscine du Blocry



Le système de traitement de l'eau est constitué de trois filtres cylindriques en acier (Ø 2500 mm) par bassin, remplis de deux granulométries de sable. **Avant les filtres, le cuivre est ajouté par 6 batteries, suivi par l'injection d'acide sulfurique pour la stabilisation du pH** Après les filtres, se trouve une batterie d'argent. Le cuivre et l'argent ne sont jamais ajoutés en même temps. Le fonctionnement des batteries est contrôlé par des horloges de régulation.

Figure 4.3 : Schéma de principe simplifié du traitement de l'eau de la piscine basse du Blocry, Louvain-la-Neuve



Explication des éléments dans la Figure 4.3 : 1 : bassin, 2 : bac tampon, 3 : pompes de circulation, 4 : mesurage du pH, 5 : échangeur de chaleur, 6 : batteries de cuivre, 7 : injection d'acide sulfurique, 8 : filtres, 9 : batterie d'argent.

- Dosage :

Le dosage du cuivre et de l'argent est indépendant de l'occupation ou de la pollution du bassin. Aujourd'hui, le système est géré sur base des configurations faites au début (pH 7,6 à 8,0 ; teneur en cuivre ca. 640 µg/l ; teneur en argent ca. 3 à 4 µg/l).

- La durée de vie des batteries de cuivre est d'environ 3 mois. La batterie d'argent a une plus grande durée de vie vu son faible dosage.

Les gestionnaires actuels ne connaissent pas l'origine de ces configurations.

- Les concentrations de cuivre mesurées dans les deux grands bassins varient de ca. 500 µg/l à ca. 1200 µg/l. On ne trouve pratiquement jamais d'argent dans les échantillons mensuels. La concentration rarement retrouvée est de 4 µg/l au maximum. Un programme de contrôle a démarré en collaboration avec l'UCL et Labo Derva afin de déterminer la configuration optimale sur base des résultats de certaines variations (du pH, cuivre et argent) appliquées.
- Le personnel de la piscine contrôle tous les jours la température de l'eau, le pH, la transparence et les teneurs en cuivre et en argent. Contrôle des paramètres microbiologiques :

Mensuellement seulement trois paramètres microbiologiques sont obligatoirement contrôlés (conditions particulières du permis) : les coliformes, les E. coli et les micro-organismes revivifiables à 37°C. Le permis d'environnement a été renouvelé en 2013. La question est de savoir si la capacité désinfectante dans l'eau du bassin est suffisante vu que les contrôles ne peuvent souvent pas affirmer la présence de l'argent dans l'eau et que les batteries d'argent ne fonctionnent actuellement que 30% du temps.

Il y a 10 à 15 ans, la qualité de l'eau était abominable : souvent plus de 50.000 micro-organismes revivifiables étaient trouvés par ml. Depuis, la qualité de l'eau s'est fortement améliorée sans aucun changement du système de traitement de l'eau. Aujourd'hui, souvent des entérocoques et des Pseudomonas aeruginosa se manifestent dans le bassin (les entérocoques ne sont pas affectés par l'argent). Ce qui posera des problèmes après l'expiration du permis lors de l'analyse des paramètres de la législation en vigueur.

4.1.3. Avantages

Le plus grand avantage est **l'absence de formation de sous-produits nuisibles**, contrairement à la désinfection au chlore. Par conséquent, il ne faut pas prendre des mesures pour éviter ces sous-produits et de ce fait les exigences au niveau des caractéristiques de l'eau (p.ex. le pH) peuvent être moins strictes. Le système engendre moins de corrosion à cause d'un taux de chlorures moins élevé.

L'absence du chlore implique évidemment qu'il ne faut plus manipuler l'hypochlorite de sodium, qui est une substance dangereuse.

Le remplacement des batteries de cuivre et d'argent est un travail simple et sans risque.

Le dosage nécessaire de cuivre et d'argent est peu influencé par la pollution, donc par l'occupation du bassin. Ceci rend possible l'application **d'un dosage fixe** qui ne doit pas être corrigé ou adapté en fonction des valeurs mesurées (à condition que la pollution n'excède pas la quantité qui peut être traitée par les doses de cuivre et d'argent configurées).

4.1.4. Inconvénients

Le dosage des deux métaux est indépendant de la pollution dans l'eau et réglé selon un certain horaire. Les résultats des analyses mensuelles de l'eau démontrent que **la concentration du cuivre dans l'eau peut varier fortement. La plupart du temps, aucun milligramme d'argent n'est retrouvé dans l'eau.** Il est clair qu'il **manque un système de contrôle qui peut adapter le dosage de cuivre et d'argent au besoin**, p.ex. pour prévenir lors d'un surdosage de cuivre (le double de la concentration souhaitée est mesurée – voir également le problème de rejet de cuivre ci-dessous) ou l'absence d'argent. Cependant, les teneurs en cuivre et en argent ne peuvent pas être mesurées sur site. Ceci rend difficile le contrôle des paramètres et la régulation du système de dosage.

Un problème particulier lié au système cuivre-argent est la **présence de cuivre dans l'eau rejetée**. Vu qu'environ **85% du cuivre est capté par le filtre, l'eau de lavage des filtres contient un taux élevé de cuivre dépassant la valeur limite imposée aux eaux usées.** (Dans les eaux usées industrielles, le cuivre dissous est limité à 2 mg/l et le cuivre total à 4 mg/l [20]). Pour cette raison, à Louvain-la-Neuve **l'eau de lavage des filtres est stockée dans un bac tampon où les composés de cuivre et polluants peuvent précipiter.** Ensuite, l'eau est rejetée vers l'égout et les précipitations peuvent sécher. Des analyses sur les résidus démontrent que les bactéries dans ces précipitations sont complètement tuées. La récupération du cuivre précipité n'est pas réalisable vu que les atomes y sont liés aux différents polluants. La libération des atomes de cuivre n'est pas faisable sur place. **Le traitement de ces résidus doit être fait par une entreprise spécialisée dans le traitement de déchets contenant des métaux lourds.**

Figure 4.4 : Résidu séché des précipitations de l'eau de lavage des filtres de la piscine du Blocry



4.1.5. Autres aspects

Quelques autres aspects du système de traitement de l'eau et du bâtiment, qui ne sont pas liés à l'utilisation du procédé cuivre-argent et qui ont des effets néfastes sur la qualité de l'eau :

- Il n'y a pas de pédiluve.
- La goulotte de débordement ne fonctionne que dans le cas où il y a un certain nombre de nageurs dans le bassin. Sinon, la circulation de l'eau est effectuée uniquement par reprise d'eau dans le sol de la cuve.
- La pompe de circulation qui aspire l'eau du bac tampon ne démarre qu'au moment où un certain niveau dans le bac tampon est atteint.
- Pour le lavage des filtres, l'eau est aspirée directement de la cuve du bassin haut (également pour le lavage des filtres de l'autre bassin) parce que ce bassin a le plus grand volume et l'apport d'eau fraîche dans ce bassin se sent moins que dans le bassin de moindre volume. Par conséquent le niveau de l'eau dans ce bassin baisse après le lavage, en empêchant encore plus le débordement. De plus l'eau du bassin bas est moins rafraîchie, parce que le grand volume d'eau qui est rejeté en lavant les filtres est toujours rajouté dans le bassin haut.
- Le système de la patageoire ne dispose pas d'une correction du pH. L'eau de ce bassin est rejetée et remplacée chaque semaine.
-

4.2. Piscine Les Dauphins, Mouscron

4.2.1. Description

La piscine Les Dauphins à Mouscron a été construite en 1989 et est une des plus importantes piscines de sa région : elle reçoit environ 405.000 nageurs par an. Pour accueillir ce grand public, la piscine dispose d'un grand bassin olympique de 50 m sur 21 m, un 'petit' bassin de 25 m sur 10 m, une pataugeoire, un bassin extérieur de 25 m sur 8 m, un toboggan ouvert à l'intérieur du bâtiment et encore deux toboggans qui sortent du bâtiment, avec leur propre bassin de réception.

Entre 2007 et 2012, différentes modifications ont été effectuées : renouvellement de la ventilation, remplacement du carrelage des plages, rénovation de la zone des douches, réorganisation de l'entrée et de la caisse, rénovation des vestiaires, installation de contrôle d'accès, installation des réacteurs UV, remplacement du sable par des granulés de verre polis comme matériel filtrant.

4.2.2. Fonctionnement

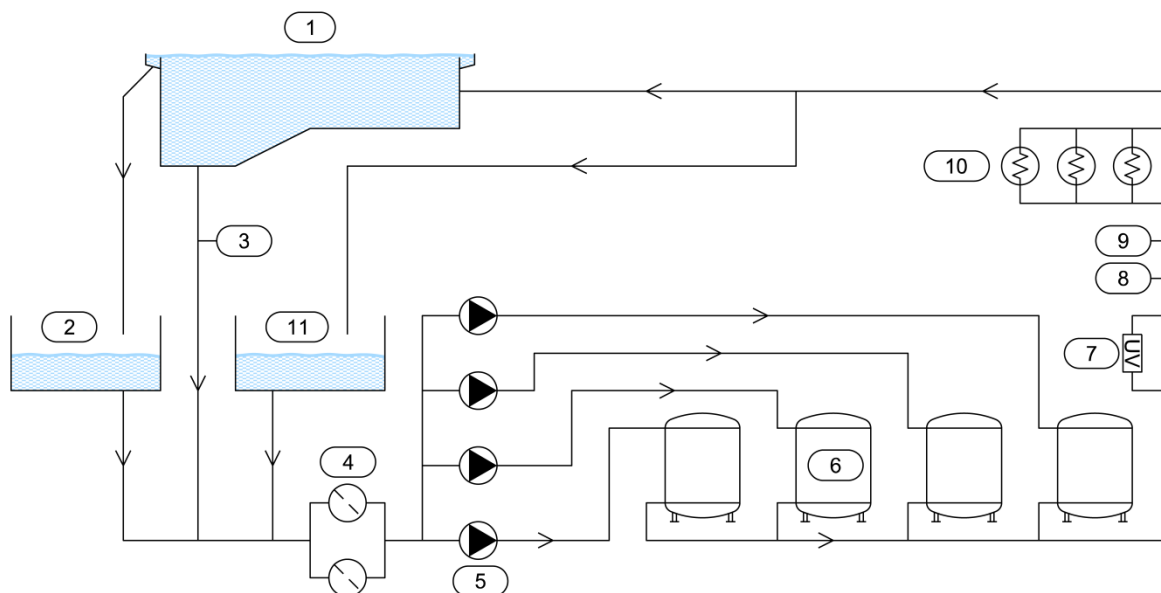
À l'exception des réacteurs UV et des filtres à granulés de verre polis, le système de traitement de l'eau à Mouscron est plus ou moins classique. L'eau entre dans les bassins par des grilles dans la paroi du côté le moins profond et retourne par des goulottes de débordement et des grilles de reprise dans le sol dans la partie la plus profonde de la cuve. L'eau de reprise s'écoulant par la goulotte de débordement passe par un bac tampon.

Une petite partie du débit de circulation est menée vers un bac séparé qui est utilisé pour le lavage des filtres. Avant que l'eau n'entre dans ce bac de lavage, la chaleur est récupérée par échange de chaleur vers l'eau fraîche qui est ajoutée au système. De cette manière on ne perd que peu d'énergie thermique durant le lavage des filtres. L'apport d'eau fraîche est ajouté à l'aide d'un faible débit qui est presque permanent.

L'eau de lavage des filtres est également utilisée pour le rinçage des toilettes.

Un problème qui se pose à nouveau est le volume limité du bac tampon. Le débordement du bac tampon du grand bassin causerait une perte d'eau d'à peu près 10 m³/jour. Un volume de stockage complémentaire devra résoudre ce problème dans le futur.

Figure 4.5 : Schéma de principe simplifié du traitement de l'eau de la grande piscine Les Dauphins, Mouscron



Explication des éléments dans la Figure 4.5 : 1 : bassin, 2 et 11 : bacs tampon, 3 : mesure du chlore et du pH, 4 : préfiltres, 5 : pompes de circulation, 6 : filtres, 7 : réacteur UV, 8 : injection acide sulfurique, 9 : injection hypochlorite de sodium, 10 : échangeurs de chaleur, 11° pour le lavage des filtres ?

La désinfection se fait par de l'hypochlorite de sodium et la correction du pH se fait par dosage d'acide sulfurique. Le dosage se fait de manière automatique. Il n'y a pas de grandes citernes de stockage pour les produits chimiques. Ceci est un peu étonnant pour une piscine rénovée et tellement équipée. Les produits chimiques sont fournis en bidons et ajoutés manuellement aux citernes journalières. Les appareils de dosage ont été remplacés par des appareils à régulation proportionnelle. Les appareils précédents n'avaient qu'une régulation on/off, ce qui causait de grandes fluctuations du taux de chlore dans l'eau. Les sondes d'échantillon chlore/pH ont été déplacées vers des endroits plus proches des bassins. Le chlore gazeux a été remplacé par l'hypochlorite de sodium pour raisons de sécurité.

Le personnel fait 4 contrôles de la qualité de l'eau par jour : 3 fois dans la cave technique et 1 fois dans le bassin. Une fois par semaine, le taux d'urée dans l'eau est contrôlé.

4.2.3. Avantages

L'installation des réacteurs UV a eu pour conséquence que le taux de chlore combiné a fortement baissé. Les lampes UV éliminent les composés de chlore. L'objectif dans cette piscine est de maintenir le taux de chlore combiné en-dessous de 0,5 mg/l. La nuit, les lampes UV fonctionnent à 50% de leur puissance et ce jusqu'à 6 h le matin. Elles s'enclenchent quand le taux de chlore combiné augmente au-dessus de 0,45 mg/l. Cette situation se produit généralement pendant l'après-midi, dépendant de l'occupation des bassins. Depuis l'installation des lampes UV, les résultats d'analyse de l'eau sont meilleurs, où les limites étaient tout justement respectées. La présence de chloramines a fortement diminué. En plus, la consommation d'eau fraîche a baissé de 140 m³/jour à 50 m³/jour selon le gestionnaire. Le fonctionnement du traitement UV est traité plus en détail ci-après (voir §5.2.2).

Fonctionnement des lampes UV

Vu que les lampes UV ne fonctionnent pas tout le temps et que leur puissance est limitée (moins de 20 kW pour l'ensemble des bassins), elles n'ont pas généré une grosse augmentation de la consommation électrique selon le gestionnaire (estimation : 20 kW × 50% × 16 h/jour × 355 jours/an = 56.800 kWh/an ou ca. € 11.000 à 0,20 €/kWh). Ceci contrairement à la rénovation du système de ventilation qui a apporté une hausse de plus de 25% de la consommation électrique.

Figure 4.6 : Réacteur UV de la grande piscine Les Dauphins, Mouscron



Après avoir visité d'autres piscines en France, le sable a été remplacé comme matière filtrante par des granulés de verre polis (en 2 différentes granulométries). **La durée de vie du verre comme matière filtrante est de 15 ans.**

Figure 4.7 : Granulés de verre polis



4.2.4. Réserves

Il est possible que, sous certaines conditions, les réacteurs UV forment des trihalométhanes (THM) (voir §5.2.5). Cependant les analyses de ce paramètre ne démontrent pas de présence excédentaire de THM dans l'eau (voir Annexe B). Une autre conséquence possible de l'utilisation des lampes UV est une augmentation de la consommation de chlore (voir §5.2.5). Une optimisation du système UV peut être réalisée au moyen du système d'oxydation avancée (voir §5.2).

Comparaison des différents dispositifs de filtration :

En théorie le fonctionnement filtrant mécanique des granulés de verre est le même que celui du sable. Une étude comparative par l'IFTS (Institut de la Filtration et des Techniques Séparatives) commandée par un des fournisseurs de granulés de verre a démontré que la performance mécanique du verre et du sable de ce fournisseur est au même niveau, avec un léger avantage pour le verre. Les granulés de verre d'autres fabricants

démontrent une moindre performance [21]. Peut-être que le remplacement de l'ancien sable dans les filtres par une nouvelle charge de sable aurait donné la même amélioration. Pendant le lavage des filtres, les granulés de verre seront de plus en plus affouillés et perdront leur acuité de sorte qu'ils ressembleront plus à des granulés de sable. **La différence entre le sable et le verre dans les filtres se trouve au niveau biologique. Au niveau du sable dans le filtre, un biofilm peut se développer. Ce biofilm contiendra des bactéries et des enzymes qui apporteront un fonctionnement biologique** (ce qui peut être désirable ou parfois non désirable). Le fonctionnement biologique peut être utilisé en faveur de la qualité de l'eau : **les enzymes dans le biofilm réduisent l'urée** qui est un prédécesseur des chloramines. **Cet aspect ne se produit pas dans un filtre rempli de granulés de verre. Il y a quand même une grande différence de prix entre ces deux matières filtrantes (sable : ca. 0,40 €/kg, verre : ca. 1,80 €/kg).**

Les rapports des analyses de la qualité de l'eau de cette piscine démontrent un degré plus élevé de rafraîchissement (44 l par visiteur au lieu de 30 l), donc un **grand apport d'eau fraîche au système**. Par conséquent la qualité de l'eau est bonne, mais les résultats ne sont pas vraiment représentatifs pour la qualité du traitement de l'eau, de la filtration et de la désinfection.

5. TROIS PROCÉDÉS ALTERNATIFS DE DÉSINFECTION

Afin d'évaluer les alternatives à la désinfection utilisant le chlore, trois autres procédés sont sélectionnés et étudiés : la désinfection utilisant les ions de cuivre et d'argent, la désinfection par oxydation avancée, et la désinfection au peroxyde d'hydrogène.

Pour les trois procédés, les aspects suivants sont traités :

- la constitution du système ;
- la floculation et la filtration ;
- le fonctionnement de la désinfection ;
- les implications sur la santé, la sécurité et l'environnement ;
- les coûts, à savoir les frais d'installation et la maintenance.

5.1. Système cuivre-argent

Le système cuivre-argent, aussi connu comme le système Velas-Casanova ou le procédé électro-physique, utilise des ions de cuivre et d'argent pour assurer à la fois la floculation et la désinfection. Le fonctionnement du procédé est expliqué ci-dessous comme décrit par Legros et al. dans les années 1980.

5.1.1. Constitution

Ce système de traitement de l'eau fonctionne de la même façon qu'un système classique, sauf que **l'injection des produits chimiques est ici remplacée par des « batteries » contenant des électrodes de cuivre et d'argent qui produisent les ions.**

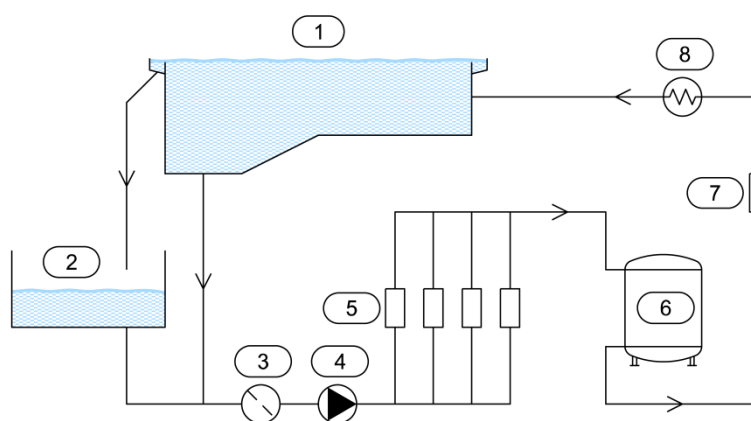
L'installation de traitement de l'eau est composée des éléments suivants (dans l'ordre du cours de l'eau, à partir du retour de l'eau du bassin (1) ou du bac tampon (2) si présent :

- un pré-filtre (3) ;
- une ou plusieurs pompes de circulation (4) ;
- une ou plusieurs batteries d'électrodes de cuivre (5) ;
- un ou plusieurs filtres à sable (6) ;
- une batterie d'électrodes d'argent (7) ;
- un échangeur de chaleur (8).

Ayant passé cette chaîne d'équipements, l'eau est injectée de nouveau dans le bassin.

Dépendant du pH de l'eau fraîche, un stabilisateur de pH comme p.ex. l'acide sulfurique pourrait être injecté dans le circuit.

Figure 5.1 : Schéma de principe simplifié du traitement de l'eau utilisant le système cuivre-argent



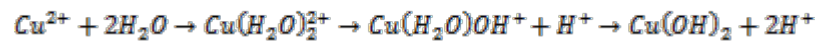
5.1.2. Électrolyse

Les batteries de cuivre contiennent des plaques en cuivre qui servent d'électrodes. L'imposition d'un courant électrique sur les électrodes provoque la libération d'ions de cuivre Cu^{2+} par électrolyse à l'anode :



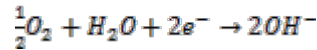
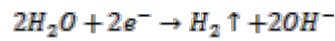
La différence de potentiel électrique nécessaire pour cette réaction n'est que de l'ordre de quelques volts, ce qui ne pose aucun danger pour les nageurs.

Les ions bivalents de cuivre Cu^{2+} réagissent avec l'eau en subissant des phénomènes d'hydratation et d'hydrolyse. Le résultat est la formation d'hydroxyde de cuivre :



Ces réactions libèrent des ions d'hydrogène et ont donc un effet acidifiant.

En même temps que la production d'ions bivalents de cuivre à l'anode, des ions hydroxyles sont formés à la cathode :



Ces réactions neutralisent l'acidification provoquée par la réaction précédente. **L'ajout d'un stabilisateur de pH à l'eau de piscine n'est pas nécessaire, il se stabilise spontanément à des valeurs de 7,8 à 8,0.** (Néanmoins, il faut une surveillance du pH afin qu'il reste entre les valeurs admises.) En général, il reste la production d'hydroxyde de cuivre :



En réalité, les réactions décrites ci-dessus ne sont pas les seules qui se produisent dans les batteries. Des phénomènes liés induisent : la libération d'ions cuivreux Cu^+ , la production d'oxygène O_2 et la formation d'ions carbonates CO_3^{2-} . Ces derniers peuvent réagir avec des ions hydroxyles et des ions bivalents de cuivre ou de calcium et ainsi former des carbonates de cuivre (soluble) et de calcium (insoluble). Pour empêcher le durcissement du dépôt de ces molécules, qui provoque l'augmentation de la différence de potentiel sur l'électrode pour y faire passer la même intensité de courant, il faut donc inverser périodiquement la polarité des électrodes.

Les ions bivalents de cuivre Cu^{2+} ont également la possibilité de former des complexes autres que l'hydroxyde de cuivre. Ils peuvent réagir avec l'eau pour former un complexe mononucléaire $\text{Cu}(\text{OH})^+$ ou binucléaire hydroxylé $\text{Cu}_2(\text{OH})_2^{2+}$. En présence de carbonates, la formation du carbonate basique insoluble $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ est possible. En présence de phosphates, la formation du phosphate de cuivre insoluble $\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2$ est possible. Encore, en présence de grandes quantités d'ammonium NH_4^+ ou d'ammoniaque NH_3 le cuivre peut réagir en formant des complexes divers. La probabilité de toutes ces réactions dépend de la composition de l'eau et de la concentration totale en espèces chimiques cuivriques.

Dans la plupart des eaux, les produits les plus importants des ions cuivriques sont le complexe de carbonate de cuivre soluble CuCO_3 et l'hydroxyde de cuivre $\text{Cu}(\text{OH})_2$ qui précipite.

- Rendement de l'électrolyse :

Différents facteurs influencent le rendement de l'électrolyse (donc la fraction du courant électrique qui est utilisée en réalité pour la libération d'ions cuivriques Cu^{2+}) :

- ❖ les dimensions des électrodes (fixées par le fabricant),
- ❖ l'écartement entre les plaques,
- ❖ l'intensité du courant électrique (adapter après installation),
- ❖ la durée entre les inversions de polarité,
- ❖ le flux de passage de l'eau, ...

Quand les premiers paramètres sont déterminés selon le type de batteries de cuivre utilisées, les derniers paramètres sont à adapter en fonction de la composition de l'eau de piscine pour optimiser le fonctionnement du procédé.

5.1.3. Flocculation

Le composé hydroxyde de cuivre $\text{Cu}(\text{OH})_2$ mentionné ci-dessus joue un rôle très important dans le procédé cuivre-argent, car il sert de floculant. L'hydroxyde de cuivre précipite, piège et entraîne mécaniquement par occlusion les colloïdes en suspension dans l'eau de piscine. Ce principe dénommé coagulation par balayage assure la clarification de l'eau, qui est une des actions principales du traitement de l'eau.

Cette forme de coagulation comporte un avantage important : **son efficacité est indépendante de la composition de l'eau.** Il ne faut pas tenir compte de la quantité de colloïdes présents dans l'eau pour le dosage de réactif dans le système. On peut donc introduire une quantité constante de réactif, ce qui donne une grande stabilité au système ; une régulation ou un ajustement compliqué n'est pas nécessaire. Le dosage en réactif n'influence que la taille des flocons formés et est donc lié au dimensionnement du filtre.

5.1.4. Filtration

La masse filtrante est normalement composée de deux couches de sable de granulométrie différente. Il s'agit, d'une 1^{ère} couche de sable d'une hauteur de 20 à 40 cm avec des granulés de 1,0 à 1,4 mm ainsi que d'une 2^{ème} couche d'une hauteur de 80 cm avec des granulés de 0,2 à 0,4 mm. La vitesse de filtration doit être de 20 m par heure. (Pour le dimensionnement du filtre, voir aussi §6.2.4). La hauteur totale de la masse filtrante doit être d'1m.

La surface du sable forme une première barrière qui retient déjà les flocons les plus gros. Les petits flocons et les espèces cuivriques solubles pénètrent dans la masse filtrante. Ici, sur les grains de sable se forme un dépôt d'hydroxyde cuivrique $\text{Cu}(\text{OH})_2$ qui évoluera vers sa forme déshydratée, l'oxyde de cuivre CuO , qui donnera au sable une couleur verdâtre. L'eau sortant du filtre ne contient pas d'autres formes de cuivre que les ions solubles. Les autres composés cuivriques sont donc tous retenus dans le filtre. C'est également le cas pour les composés d'argent, ce qui donne au filtre un pouvoir stérilisant.

Puisque le dosage en cuivre dans l'eau influence la taille des flocons formés (voir §5.1.3), il est important de mettre en place un dosage correct et bien réglé. Une concentration de cuivre trop élevée forme des flocons trop gros qui sont pratiquement tous retenus en surface de la masse filtrante, ce qui cause un colmatage accéléré du filtre. Au contraire, une concentration trop faible engendre des flocons trop petits dont une partie peut passer le filtre et se dépose au fond du bassin.

5.1.5. Capacité désinfectante

Depuis l'antiquité la capacité désinfectante du cuivre et de l'argent est reconnue. Les premiers organismes qui sont affectés par la présence des métaux lourds sont les procaryotes : les bactéries et les algues, à cause de leur structure cellulaire très simple.

La membrane cellulaire des bactéries et des algues forme une frontière à perméabilité sélective. Elle permet le passage de l'eau et le passage sélectif des nutriments et des ions métalliques comme le cuivre et l'argent. Les enzymes responsables du métabolisme énergétique sont localisées dans la membrane cellulaire.

Les ions de cuivre et d'argent possèdent le pouvoir de désorganiser la cellule bactérienne à différents niveaux, en bloquant :

- des fonctions enzymatiques : les ions de cuivre et d'argent se fixent de façon irréversible sur les groupes thiols ($-\text{SH}$), carboxyles ($-\text{COOH}$) et aminés ($-\text{NH}_2$) des enzymes présents dans la membrane cellulaire ;
- l'information génétique : les ions de cuivre et d'argent peuvent se combiner avec l'acide désoxyribonucléique (ADN) entraînant la perte de l'information génétique de la bactérie ;
- la synthèse protéique : les ions de cuivre et d'argent peuvent se combiner avec l'acide ribonucléique (ARN) ;
- les mécanismes de transfert d'énergie : les ions de cuivre et d'argent peuvent se fixer sur les flavines mononucléotides (FMN) ou dinucléotides (FAD) de la chaîne respiratoire ou du système de photosynthèse, qui sont également présents dans la membrane cellulaire.

Dans les concentrations mentionnées ci-dessous, les ions de cuivre et d'argent préviennent le développement d'algues dans la piscine et provoquent un effet bactériostatique immédiat sur les germes cibles comme les coliformes, streptocoques, staphylocoques et Pseudomonas.

Certaines bactéries, p.ex. E. coli, sont plus sensibles à l'action du cuivre, tandis que les ions d'argent sont plus toxiques pour d'autres bactéries.

Le grand avantage du système cuivre-argent est l'effet de synergie entre les deux métaux : l'effet bactéricide des ions de cuivre en combinaison avec des ions d'argent est supérieur à la somme des effets des deux ions métalliques pris séparément.

La concentration en argent est toujours d'un ordre de grandeur plus petit que la concentration en cuivre. La littérature mentionne des concentrations en ions de cuivre de 0,4 à 1,0 mg/l et en ions d'argent de 2 à 80 $\mu\text{g/l}$. En général, dans la plupart des expériences la concentration en cuivre est de 10 fois supérieure à la concentration en argent.


5.1.6. Variantes du système

Plusieurs études sur l'effet bactéricide des ions cuivre et argent comparé à l'action bactéricide de chlore concluent néanmoins que la dernière action est beaucoup plus rapide. En outre, diverses études portant sur la combinaison du système cuivre-argent avec un dosage limité de chlore (0,1 à 0,4 mg/l) démontrent un effet synergique plus important [19], [20], [21]. Dans une série d'expériences par exemple, l'addition de 0,25 mg/l de chlore libre à un dosage de 0,4 mg/l de cuivre et de 40 $\mu\text{g/l}$ d'argent provoque une inactivation des bactéries (dans ce cas les staphylocoques) plus rapide que le seul dosage de 0,8 mg/l de chlore [22]. Mais il faut prendre en compte que l'addition de chlore apporte également les désavantages liés au chlore et à ses sous-produits.

Il existe des systèmes commercialisés combinant les électrodes de cuivre et d'argent dans la même batterie, qui est placée avant le filtre. Cette constitution semble rendre le procédé moins efficace : pendant qu'une

grande partie du cuivre agissant comme floculant, est captée dans le filtre, une grande quantité d'argent est également interceptée par le filtre avant de pouvoir exécuter sa capacité désinfectante.

Si la batterie combinée est placée derrière le filtre, la quantité de cuivre nécessaire pour la floculation provoque un excès de cuivre dans le bassin.

 **La configuration optimale est donc de placer la production d'ions de cuivre avant le filtre, où ils doivent servir de floculant, et de placer l'ionisation d'argent après le filtre, pour que tout l'argent produit soit dirigé vers le bassin et qu'il ne soit pas capté par le filtre avant de pouvoir effectuer sa capacité désinfectante.**

5.1.7. Santé, sécurité et environnement

- **Les concentrations en cuivre et en argent utilisées pour la désinfection sont bien inférieures aux valeurs maximales imposées pour l'eau potable et ne sont pas nuisibles à la santé. Les produits utilisés ne sont pas nocifs ou irritants pour les baigneurs.**
- Ils ne provoquent pas d'odeur ni de goût désagréable comparativement au chlore.
- La manipulation des produits (dans ce cas le remplacement des batteries) n'est pas dangereuse.
- Les produits utilisés ne causent pas de corrosion des matériaux.
- **Le fonctionnement est stable et n'a pas besoin d'un réglage** (après l'ajustement initial au stade de mise en service du système). Le cuivre et l'argent restent dans l'eau jusqu'au moment où ils réagissent avec les substances polluantes. **Un surdosage limité des ions ne provoque pas de problèmes** (contrairement au surdosage de chlore). Plus il y a de cuivre et d'argent dosés dans l'eau, plus longtemps l'eau pourra circuler avant un prochain dosage. Le réglage initial est donc important afin de ne pas perdre une grande quantité des métaux dissous dans le filtre (voir aussi §5.1.4), ce qui provoquerait ensuite des problèmes lors du rejet des eaux (voir ci-dessous), mais de garder en même temps une quantité suffisante dans le bassin pour la désinfection. Dans le cas peu probable de dérèglement ou de dosage excédentaire de cuivre, la conséquence la plus grave serait la précipitation du cuivre excédentaire sur le fond du bassin. Dans certaines conditions, une corrosion des aciers galvanisés pourrait être entraînée par un surdosage de cuivre.
- Comme décrit ci-dessus (voir §5.1.5), **l'inactivation des bactéries par le système cuivre-argent est plus lente par rapport à un système classique utilisant le chlore.** Une publication de l'OMS désigne l'ionisation de cuivre et d'argent comme ineffective contre les virus et effective contre les bactéries seulement en combinaison avec le chlore [23]. L'eau des deux piscines publiques en Wallonie utilisant ce procédé répond généralement aux exigences bactériologiques. Néanmoins, dans l'étude détaillée de la piscine de Louvain-la-Neuve (voir §4.1) on a constaté des dépassements assez fréquents des normes. Cependant, celles-ci peuvent être dues aux imperfections du dosage plutôt qu'à la qualité désinfectante théorique du procédé. Les paramètres de dosage des ions métalliques ne sont pas bien définis. Les réglages actuels dans les piscines utilisant ce procédé sont ajustés par expérience. Des études spécialisées pourraient apporter plus de précisions à ce sujet.
- Considérant le caractère plus lent de ce système, on pourrait limiter le nombre de baigneurs. Ceci est déjà le cas pour les bassins extérieurs naturels (les étangs de baignade), qui ne disposent souvent pas d'un système de désinfection. Une forte limitation du nombre de baigneurs n'est pas nécessaire, mais les grands pics d'occupation devraient être évités.
- Alors que le taux de cuivre dans l'eau du bassin peut être mesuré in situ à l'aide d'un kit ou d'un système d'analyse permanente, ceci n'est pas possible pour l'argent. Il n'y a donc pas de moyen de s'assurer de la capacité désinfectante de l'eau à tout moment. Il serait possible de contourner ce problème en démontrant une relation fixe entre les concentrations en cuivre et en argent. **La relation entre le dosage de cuivre et d'argent dépend de la configuration du système, des courants électriques imposés, des dimensions des électrodes et du débit d'eau qui y passe. Cependant le rapport des concentrations des deux métaux dans l'eau peut différer du rapport des dosages :** le filtre capte une partie des particules et les réactions avec les substances polluantes dans le bassin sont différentes pour le cuivre et l'argent (dépendent bien de la pollution de l'eau). Le fait d'avoir dosé une certaine quantité de cuivre et une quantité proportionnelle d'argent ne garantit pas la présence de certaines quantités de cuivre et d'argent sous leur forme « active » dans l'eau de bassin. Il est donc nécessaire de vérifier le pouvoir désinfectant de l'eau a posteriori.
- **L'inconvénient du système est la quantité de métaux dans l'eau de lavage des filtres.** Dépendant de la concentration de cuivre dans l'eau et de la fréquence de lavage des filtres, la teneur en cuivre des eaux usées peut excéder la concentration admissible de métaux lourds (voir aussi §4.1.4). Une solution pourrait être de laisser précipiter les composés de cuivre dans un réservoir avant de rejeter les eaux de lavage. Dans ce cas, les boues résiduelles devront être collectées et traitées par une entreprise spécialisée dans le traitement de déchets contenant des métaux lourds, ce qui engendrera un coût supplémentaire. En optimisant le dosage du cuivre dans l'eau et la fréquence des lavages des filtres afin de prévenir la saturation des filtres par le cuivre, le taux de cuivre dans les eaux usées

pourrait être réduit. Cette optimisation nécessiterait une étude complémentaire. Le réservoir doit avoir une capacité permettant de contenir l'eau de lavage des filtres (débit de lavage (m³/h)*temps de lavage (h)).

5.1.8. Coûts

Seul le système combiné est commercialisé et donc peut être facilement chiffré comme ci-dessous, à titre indicatif. Les recommandations décrites dans les chapitres précédents, concernant le système séparé, restent d'application en terme de performance du système.

Les coûts associés aux systèmes décrits dans cette étude sont normalisés partant d'une piscine composée d'un bassin sportif (15 × 25 m, 800 m³, à 28°C) et d'un bassin d'apprentissage (12 × 8 m, 90 m³, à 29°C) avec une fréquentation de 150.000 personnes par an.

Dans le système d'électrodes « combinées », qui sont composées d'un alliage de cuivre et d'argent, la proportion du dosage d'argent par rapport au cuivre est fixée à 2% (p.ex. 0,5 mg Cu²⁺/l, 10 µg Ag⁺/l). Pour la piscine fictive proposée, l'installation serait composée des éléments suivants, dont le prix est mentionné à titre indicatif (à noter : sans frais de transport, d'installation et hors TVA) :

- bassin sportif :
 - système pour 8 électrodes combinées : € 26.500
 - ensemble de 8 électrodes combinées de 8 kg : € 14.000
- bassin d'apprentissage :
 - système pour 2 électrodes combinées : € 15.000
 - ensemble de 2 électrodes combinées de 16 kg : € 7.000

Les systèmes consistent en une unité de régulation avec écran tactile et connexion LAN et un mesurage automatique de la concentration de cuivre (maintient la concentration de cuivre à un certain niveau). Cette configuration d'électrodes a été proposée pour pouvoir servir durant au moins un an d'exploitation sous la fréquence assumée de 150.000 visiteurs par an.

Le coût de remplacement des électrodes de cuivre et d'argent est un élément important. Vu qu'il n'existe pas vraiment de consensus sur les concentrations à maintenir et la gestion différente dans les piscines existantes, il est difficile de déterminer la consommation de ces électrodes (dépend de la température de l'eau, du nombre de visiteurs et de la composition de l'eau fraîche). De plus, le choix du nombre et du poids des électrodes est libre. Une installation avec plus d'électrodes ou contenant des électrodes plus lourdes diminuera la fréquence de remplacement, mais fera augmenter les frais d'installation et les frais d'achat de nouvelles électrodes. La consommation électrique du procédé cuivre-argent est presque négligeable à cause des courants faibles qui sont imposés aux électrodes. La non corrosion des matériaux constructifs et les impacts bénéficiaires pour la santé pourraient engendrer des économies mais sont difficiles à chiffrer (voir aussi §5.2.6). Les frais de traitement des déchets sont également difficiles à chiffrer.

5.1.9. Éléments d'informations techniques sur le système

Rémanence

Afin d'assurer la capacité désinfectante de l'eau dans le bassin et d'optimiser la synergie entre les deux métaux, les ions de cuivre et d'argent doivent être présents dans des concentrations de 0,5 à 0,8 mg Cu²⁺/l (1,0 mg/l dans une eau plus chaude) et de 10 µg Ag⁺/l au minimum (concentrations conseillées par le fabricant du système).

La désinfection fonctionne plus lentement que dans le cas du chlore, mais est encore efficace.

Dosage

Parce qu'un surplus d'ions limité n'a pas de conséquences négatives, les ions peuvent être dosés par intervalles en plus grandes concentrations. Néanmoins le surdosage doit être limité pour ne pas perdre trop de métaux dans le filtre, ce qui provoquerait des concentrations trop élevées dans l'eau de lavage du filtre.

Le dosage de cuivre peut être réglé par automatisation qui analyse la concentration de cuivre dans l'eau de piscine. Dans le cas d'électrodes séparées de cuivre et d'argent, le dosage d'argent est réglé proportionnellement.

Stockage et manipulation

Les batteries ou électrodes sont disponibles en différents poids (8 kg et 16 kg), le cuivre et l'argent séparés ou combinés en alliage. La fourniture et le stockage n'apportent pas de particularités ni de difficultés. Les électrodes sont facilement remplaçables : il faut arrêter (ou bipasser) la circulation, démonter le couvercle, enlever l'électrode consommée, placer la nouvelle électrode et puis refermer le couvercle et remettre en route la circulation.

Consommations

La piscine fictive considérée, composée d'un bassin sportif (15 × 25 m, 800 m³, à 28°C) et un bassin d'apprentissage (12 × 8 m, 90 m³, à 29°C) avec une fréquentation de 150.000 personnes par an, consommerait environ 64 kg d'alliage (8 × 8 kg) pour le bassin sportif et 32 kg (2 × 16 kg) pour le bassin d'apprentissage (au maximum) par an.

La puissance électrique consommée par les deux systèmes serait de 1,5 kW pour le bassin sportif et 0,37 kW pour le bassin d'apprentissage. Le dosage devrait fonctionner environ 4 heures par jour selon le fabricant, résultant en une consommation électrique annuelle d'environ 2.700 kWh.

Impact sur les autres équipements

La constitution du système de traitement de l'eau n'est pas fortement influencée par la présence des électrodes. Le dosage d'un stabilisateur du pH pourrait être favorable afin d'assurer un pH entre 6,5 et 9,0, dépendant du pH de l'eau fraîche. Un réservoir de rétention des eaux de lavage des filtres est nécessaire pour laisser précipiter l'excédent de cuivre avant de rejeter les eaux usées à l'égout.

L'eau traitée par ce procédé n'est pas corrosive, ainsi que l'air dans la piscine. Par conséquent les matériaux constructifs souffrent beaucoup moins que dans une piscine désinfectée au chlore.

Impact sur l'environnement

Le taux élevé de cuivre (un métal lourd) dans les eaux usées pose un problème pour le rejet des eaux dans les eaux de surface ou dans l'égouttage public. La concentration de cuivre dans l'eau de piscine n'est pas trop élevée, mais les composés de cuivre satureront les matières filtrantes.

Impact sur la santé

Le procédé ne génère pas de sous-produits nuisibles à la santé. Un effet non nuisible à la santé est la décoloration des cheveux blonds à verts.

Impact sur le permis d'environnement

Le gouvernement wallon a établi des conditions sectorielles pour les 'petits' bassins de natation (surface inférieure ou égale à 100 m² ou profondeur inférieure ou égale à 40 cm) utilisant un procédé de désinfection autre que le chlore ou en combinaison avec du chlore. Le préambule de cet arrêté permet l'examen au cas par cas des systèmes alternatifs au chlore proposés dans les demandes de permis, ainsi que la prescription de conditions particulières. Ce raisonnement est suivi également pour les grands bassins utilisant un procédé de désinfection alternatif au chlore.

La proposition d'une technique de désinfection alternative dans la demande de permis d'environnement doit être accompagnée de l'annexe XXIV de l'Arrêté du Gouvernement wallon du 4 juillet 2002 relatif à la procédure et à diverses mesures d'exécution du décret du 11 mars 1999 relatif au permis d'environnement.

Le cuivre et l'argent n'étant pas des produits dangereux, et la présence de deux piscines wallonnes utilisant déjà ce procédé (à Louvain-la-Neuve et à Saint-Vith) démontrent la possibilité d'agrément de cette méthode de désinfection.

5.1.10. Conclusion

Le procédé utilisant les ions de cuivre et d'argent dispose clairement d'une capacité désinfectante suffisante, mais significativement plus lente par rapport au chlore. La qualité de l'eau des piscines qui utilisent ce procédé est acceptable au niveau microbiologique et chimique. Ce procédé ne génère pas de sous-produits nocifs ou désagréables.

Toutefois, il y a quelques difficultés liées à ce procédé. Premièrement, il est impossible de contrôler la capacité désinfectante de l'eau du bassin sur place en utilisant une méthode abordable, comme c'est le cas pour la désinfection au chlore : il n'existe pas de manière de mesurer les basses concentrations d'argent dans l'eau sur site. (L'exploitant ne peut pas garantir une désinfection rémanente). Aussi, il reste le problème des concentrations des métaux dans les eaux usées, qui demande un traitement spécifique coûteux.

5.2. Système d'oxydation avancée – « AOS »

Les processus d'oxydation avancée (*advanced oxidation processes*, AOP) sont des procédés physico-chimiques qui génèrent et utilisent des éléments transitoires puissants (en particulier des radicaux hydroxyyles OH[•]) qui ont un effet oxydant sur la matière organique dans l'eau [24]. Les radicaux sont générés à l'aide d'énergie (électrique, thermique, ...) ajoutée au système.

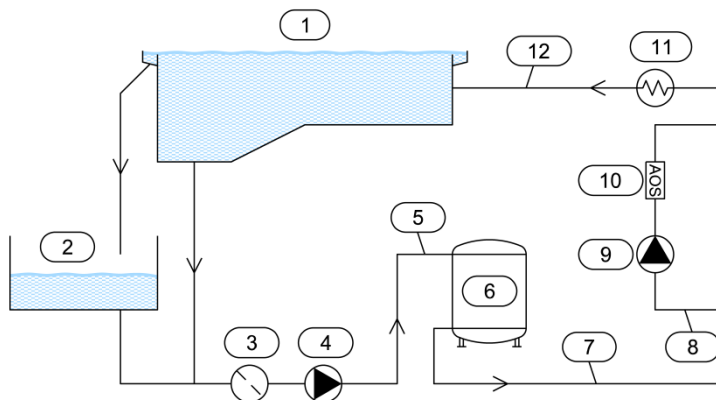
Dans le système étudié ici, l'énergie utilisée l'est, sous forme lumineuse (rayons UV). La source des radicaux hydroxyyles est du peroxyde d'hydrogène (H₂O₂). Ce système particulier dénommé « AOS » (*advanced oxidation system*, système d'oxydation avancée) est développé actuellement par une seule entreprise néerlandaise qui dispose du monopole sur cette technologie.

Il faut bien noter que le traitement par UV combiné avec l'AOS est un procédé qui n'a aucun effet rémanent de désinfection sur l'eau de piscine, et qui doit être complété par un procédé désinfectant rémanent, par exemple la désinfection classique à base de chlore. Ce procédé permet donc de réduire la quantité de chlore utilisée.

5.2.1. Constitution

L'AOS comporte de grands avantages comparé au traitement unique par l'UV. Au lieu de traiter l'eau dans le courant principal, l'AOS est placé dans un courant partiel (*by-pass*). Le branchement dispose de sa propre pompe de circulation, d'une injection de peroxyde d'hydrogène et d'un réacteur UV [25]. Le branchement de l'AOS peut servir différents systèmes ou réseaux d'eau de piscine. Un seul réacteur AOS est alors utilisé par bassin et fonctionne en alternance pour les différents systèmes en fonction de leur pollution.

Figure 5.2 : Schéma de principe simplifié du traitement de l'eau utilisant l'AOS



Explication des éléments dans la Figure 5.2 : 1 : bassin, 2 : bac tampon, 3 : préfiltre, 4 : pompe de circulation, 5 : injection flocculant, 6 : filtre, 7 : injection acide sulfurique, 8 : injection peroxyde d'hydrogène, 9 : pompe de circulation du branchement AOS, 10 : réacteur UV/AOS, 11 : échangeur de chaleur, 12 : injection hypochlorite de sodium.

Le système AOS est composé des éléments suivants :

- un réacteur en inox ;
- une lampe UV de 12 kW ;
- une pompe de circulation secondaire à débit variable et régulateur de fréquence ;
- un débitmètre électromagnétique ;
- une pompe doseuse pour le dosage du peroxyde d'hydrogène ;
- une pompe d'échantillonnage ;
- une armoire de commande avec écran tactile et alimentation électronique réglable pour la lampe UV ;
- un capteur pour le contrôle de la température dans le réacteur ;
- un capteur de mesure de l'intensité de la lampe UV ;
- des vannes pneumatiques ;
- un compresseur.

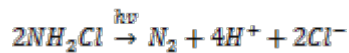
5.2.2. UV

Comme démontré par l'analyse des piscines wallonnes (voir chapitre 3), des réacteurs UV sont déjà présents dans une grande partie des piscines publiques. Les UV effectuent la photolyse directe : une ou plusieurs liaisons d'une entité moléculaire sont coupées par l'absorption de lumière [26].

La lumière ultraviolette est un rayonnement électromagnétique caractérisé par une longueur d'onde plus courte (10 – 380 nm) que celle de la lumière visible (380 – 780 nm), mais plus longue que celle des rayons X (0,01 – 10 nm). Planck a défini la relation entre l'énergie et la longueur d'onde du rayonnement [27]:

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Dans cette formule E représente l'énergie, h est la constante de Planck, c est la vitesse de la lumière dans le vide et λ représente la longueur d'onde des rayons. Il en résulte que l'énergie portée par la lumière UV est plus grande que celle de la lumière visible. Si l'énergie portée par la lumière est égale à la différence entre l'énergie de l'état fondamental d'un atome et celle de son état excité, les liaisons covalentes avec cet atome peuvent être coupées. Dans le cas des chloramines, la lumière UV coupera la liaison entre les atomes de chlore et d'azote, p.ex. pour le monochloramine [28]:



Ce principe donne au rayonnement UV une fonction bivalente :

- la rupture des liaisons entre les atomes comporte une réduction directe des substances comme le chlore combiné ;
- création de radicaux hydroxyles qui peuvent oxyder les matières présentes dans l'eau.

L'absorption d'énergie portée par les rayons UV par une molécule dépend de la longueur d'onde du rayonnement. Les rayons UV-C (200 – 280 nm) sont les plus effectifs au niveau de désinfection : l'ADN absorbe un maximum de rayons à 200 nm et à environ 260 à 265 nm.

L'action germicide trouve son efficacité maximale entre 250 et 260 nm. La longueur d'onde utilisée traditionnellement pour la désinfection est de 253,7 nm. Selon les fabricants des réacteurs UV, les longueurs d'onde optimales sont de 245 nm pour la réduction du monochloramine, 297 nm pour le dichloramine et 260 et 340 nm pour le trichloramine [29].

Un réacteur UV consiste typiquement en une lampe à mercure placée dans une chambre cylindrique en acier inoxydable poli (pour obtenir la réflexion des rayons UV). La première génération des réacteurs UV (à basse pression) produisait typiquement un rayonnement d'une longueur d'onde (254 nm). **La deuxième génération des réacteurs UV (à moyenne pression) émet des rayons de différentes longueurs d'onde couvrant ainsi un spectre plus large de molécules [29].**

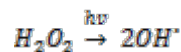
5.2.3. AOS

L'effet du rayonnement UV peut être renforcé par l'addition d'un produit chimique, dans ce cas le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) créé par le système d'oxydation avancée.

Le peroxyde d'hydrogène est une substance qui possède plusieurs avantages (voir aussi §5.3). Le produit est commercialement disponible, il est stable, simple à stocker (en tenant compte des mesures nécessaires de sécurité) et facile à dissoudre dans l'eau [26].

Le peroxyde d'hydrogène dispose d'une puissance désinfectante, moins forte que celle du chlore. Les radicaux ne portent pas de charge électrique, et par conséquent, ils peuvent facilement pénétrer la paroi cellulaire des micro-organismes. Dans la cellule, les radicaux oxydent le matériau organique, comme les protéines et les acides nucléiques (ADN, ARN) qui sont indispensables pour la survie de l'organisme [30].

Ce qui est important dans le processus d'oxydation avancée est le fait que le peroxyde d'hydrogène est une source effective de radicaux hydroxyles : chaque molécule de peroxyde d'hydrogène peut générer deux radicaux hydroxyles [26] :



Lorsque la longueur d'onde du rayonnement UV est de 254 nm, chaque molécule de peroxyde est convertie en radicaux [31].

Ce sont ces radicaux hydroxyles générés par l'AOS qui augmentent le pouvoir oxydant du traitement UV.

Une plus grande source de radicaux augmente la capacité désinfectante du système.

Il est important que la lumière UV soit absorbée par le peroxyde. La dose de peroxyde doit être suffisamment grande. D'autre part les radicaux hydroxyles doivent réagir avec les composés cibles. Parce que le radical hydroxyle n'est pas sélectif, il existe un risque qu'il réagisse avec d'autres substances, dans ce cas appelées « *scavengers* », qui diminuent l'efficacité de la désinfection. Les *scavengers* attireront les radicaux de sorte qu'ils ne réagiront plus avec les composés cibles. Les bicarbonates en sont un exemple : la présence des bicarbonates comporte un effet néfaste sur les prestations des AOP utilisant le peroxyde d'hydrogène [31]. Pourtant le risque d'un taux élevé de bicarbonates qui se manifesteront comme *scavengers* ne se produit qu'en cas de pH trop élevé. En outre, la durée de vie des radicaux et l'intensité du rayonnement UV empêchent que la réaction des radicaux avec les *scavengers* soit influencée significativement.

5.2.4. Flocculation, filtration et désinfection

L'effet bactéricide et d'oxydation de l'AOS ne se produit que dans le réacteur UV dans le branchement de l'AOS.

Afin d'assurer un effet désinfectant rémanent dans le bassin, un désinfectant (p.ex. le chlore) doit être ajouté à l'eau de piscine.

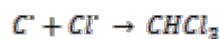
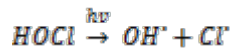
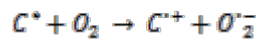
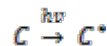
La flocculation et la filtration seront donc liées à ce produit désinfectant et pas à l'AOS. Le floculant est ajouté avant le filtre ; et il n'est plus présent dans l'eau qui passe à travers le réacteur AOS. Le système AOS n'influence donc pas le choix du floculant. L'AOS influencera le fonctionnement du filtre parce que ce procédé changera la composition de l'eau. Une réduction du chlore combiné et d'autres substances polluantes diminuera la pollution du filtre et réduira le nombre de lavages du filtre.

5.2.5. Santé, sécurité et environnement

- Les AOP sont capables de convertir totalement les contaminants organiques en dioxyde de carbone et eau. **Les produits chimiques utilisés sont décomposés en sous-produits inoffensifs.** Les AOP sont dès lors des techniques prometteuses pour le traitement de l'eau [24].
- L'usage des réacteurs UV est répandu dans les piscines publiques. La technique du rayonnement UV pour la désinfection de l'eau est amplement étudiée. Il existe des différences à propos des effets de l'UV sur certains polluants dans l'eau de piscine.
- **Le but principal des réacteurs UV est la réduction d'utilisation du chlore combiné** (entre autres les chloramines) dans l'eau. Cette réduction est bien documentée par des recherches scientifiques et par des expériences dans un grand nombre de piscines [29], [32], [33], [34].

Quelques exemples des réductions constatées aux Pays-Bas : Caribabad à Gorinchem : de 0,9 mg/l à 0,2 mg/l, De Schilp à Rijswijk : de 0,6 mg/l à 0,15 mg/l, Groenoord à Schiedam : de 0,6 mg/l à 0,2 mg/l). Le taux de chlore combiné peut donc être réduit à environ 0,2 mg/l. Cette valeur est à comparer au taux maximal de 0,8 mg/l imposé par les conditions sectorielles.

- Différents effets du rayonnement UV sur le chlore libre sont rapportés. Certaines études démontrent que la réduction du chlore combiné provoque une libération du chlore et donc une augmentation du chlore libre, et par conséquent une diminution de l'usage d'hypochlorite comme désinfectant [29]. D'autres études rapportent que le chlore libre est 'consommé' plus vite dans le réacteur UV que le chlore combiné (parce que le traitement UV causerait la formation des produits qui sont plus réactifs avec le chlore que leurs prédécesseurs), augmentant ainsi la demande d'hypochlorite [32], [35].
- Il n'existe pas non plus de concordance entre le comportement des trihalométhanes (THM) et l'influence de l'UV. Les THM peuvent être formés à base des radicaux de carbone et de chlore qui résultent de l'effet de l'UV :



- Dans la littérature plusieurs études ont démontré une réduction des THM alors que de nombreuses recherches ont démontré une augmentation des THM avec l'application du traitement UV [28], [29], [32], [35]. Une explication est que l'UV réduit les THM mais qu'ils sont cependant générés à base d'autres sous-produits de désinfection.
- La consommation du chlore libre par le traitement UV est réduite. La présence excessive de peroxyde d'hydrogène produira tellement de radicaux hydroxyles que les radicaux de carbone se lieront avec ceux-ci, empêchant ainsi la formation des THM ou d'autres substances organiques volatiles :



- **La réduction du chlore combiné et d'autres sous-produits de désinfection par le chlore diminue la nécessité d'ajouter de l'eau fraîche au système de piscine.**
- De plus, le filtre sera moins chargé de pollution et devra être lavé moins fréquemment. Ces deux aspects résulteront en une consommation d'eau fraîche fortement réduite. Cet effet est démontré dans plusieurs piscines en Belgique et aux Pays-Bas qui ont installé le système AOS [25]. L'ajout d'une étape supplémentaire de désinfection comme le traitement UV ou l'AOS dans le traitement de l'eau implique que l'eau de piscine contiendra moins de polluants. Par conséquent, le taux de chlore libre dans le bassin peut diminuer jusqu'au minimum nécessaire à assurer une désinfection rémanente.
- **En outre, la qualité de l'air augmente suite à la réduction du chlore combiné :** la formation du trichloramine volatile sera diminuée quand moins de mono- et dichloramines sont disponibles dans l'eau. La diminution de la formation des THM est déjà expliquée ci-dessus.

5.2.6. Coûts

- Les frais d'installation du système AOS sont assez importants : **le prix d'une installation complète avec un réacteur UV s'élève de € 60.000 à € 105.000**. Cette installation peut servir plusieurs bassins (par comparaison à une installation UV qui coûte environ € 20.000 pour un système).
- **Un réacteur contenant une lampe UV à moyenne pression d'une puissance de 12 kW engendre une consommation électrique d'environ 100.000 kWh par an. La lampe UV doit être contrôlée et nettoyée deux fois par an. La lampe doit être remplacée par le fournisseur environ un fois par an.**
- **La consommation de peroxyde d'hydrogène du système AOS est très limitée (environ 25 litres par mois pour un grand complexe de piscine)**. Par conséquent la consommation électrique de la pompe doseuse du peroxyde sera de petite importance. **Les frais moyens annuels de maintenance et de remplacement des équipements se chiffrent à € 5.500 par an.**
- Il existe également un système AOS avec une lampe UV à basse pression, qui coûte environ € 20.000. Ce système fonctionne uniquement pour un réseau de traitement de l'eau, comme l'UV classique. Ce système est un peu moins performant (p.ex. au niveau de la réduction d'urée), mais dispose de quelques avantages. Le prix d'investissement est moins élevé, la lampe ne doit être remplacée que tous les 2 ans, et elle dispose d'un système de nettoyage automatique.

5.2.7. Résumé

Rémanence

Ce système n'apporte qu'un fonctionnement local dans le réacteur AOS. Le procédé n'engendre pas de capacité désinfectante rémanente dans l'eau. De ce fait, un désinfectant rémanent est toujours nécessaire en combinaison avec ce système.

Dosage

Du peroxyde d'hydrogène est ajouté dans le branchement du système AOS en très petites quantités (la concentration exacte n'est pas divulguée par le fabricant).

Stockage et manipulation

Le peroxyde d'hydrogène est fourni dans des bidons de 25 l. Vu les propriétés chimiques du peroxyde, ils peuvent être stockés dans le local de stockage d'acide sulfurique. **Les mêmes mesures de sécurité s'appliquent aussi bien pour le stockage du peroxyde d'hydrogène que pour le stockage d'acide sulfurique. Le peroxyde d'hydrogène est disponible en concentrations de p.ex. 35% ou 50%. Ces solutions sont irritantes pour la peau, les yeux et les voies respiratoires. Elles doivent être stockées dans des locaux bien ventilés.** Le port de lunettes et de gants de protection en manipulant le produit est conseillé.

Consommations

- **La consommation de peroxyde d'hydrogène est limitée à environ 25 litres par mois, donc environ 300 litres par an.**
- **La consommation électrique de la lampe UV de 12 kW résulte en une consommation annuelle d'environ 100.000 kWh.**

Impact sur les autres équipements

Le système AOS est une installation **supplémentaire** aux installations de désinfection utilisant le chlore. L'installation de base reste inchangée. La présence réduite de composés de chlore combiné diminuera la nécessité de lavage des filtres et d'apport d'eau fraîche. Ainsi, les consommations d'eau de lavage et d'eau fraîche peuvent être réduites.

Impact sur l'environnement

Le peroxyde d'hydrogène réagit immédiatement avec les composés chloreux dans le réacteur AOS. Les produits résultants sont de l'eau et de l'oxygène.

L'utilisation du peroxyde d'hydrogène n'a pas d'influence sur l'environnement. Les économies d'eau bénéficient à l'environnement.

Impact sur la santé

La quantité de sous-produits de désinfection liés au chlore(chloramines, THM) est fortement diminué.

Coûts

Les frais d'investissement sont d'environ € 60.000 pour le système AOS à moyenne pression. Les coûts peuvent s'élever à € 105.000 incluant tous frais liés.

La consommation électrique génère un coût d'environ € 20.000 par an (à 0,2 €/kWh).

Le frais de maintenance (contrôle, nettoyage, consommation de peroxyde d'hydrogène) est chiffré à environ € 5.500 par an.

Vu que le système AOS est un procédé supplémentaire au système de désinfection, ces coûts seront également supplémentaires aux coûts du système de désinfection au chlore.

Impact sur le permis d'environnement

La proposition d'une technique de désinfection alternative au chlore doit passer par une demande de permis d'environnement, accompagnée de l'annexe XXIV de l'Arrêté du Gouvernement wallon du 4 juillet 2002 relatif à la procédure et à diverses mesures d'exécution du décret du 11 mars 1999 relatif au permis d'environnement.

5.2.8. Conclusion

Il faut savoir que l'AOS (ou les autres systèmes basés sur un traitement au rayonnement UV) n'a qu'un effet local. Ce procédé n'est qu'une étape supplémentaire dans le processus de traitement de l'eau et doit être complété par une désinfection rémanente.

L'avantage principal de ce système est l'élimination des plus importants sous-produits de désinfection au chlore : le chlore combiné (entre autres le trichloramine) et les trihalométhanes (comme le chloroforme).. Les résultats des analyses mensuelles de 2014 de la qualité de l'eau des piscines visitées (182 résultats reçus) démontrent des concentrations en chlore combiné de 0,03 mg/l à 0,85 mg/l. La valeur moyenne était de 0,41 mg/l avec la moitié des concentrations mesurées entre 0,25 mg/l et 0,56 mg/l. Par conséquent, l'installation d'un système AOS n'apportera pas d'amélioration dans certaines de ces piscines. **Vu les coûts d'installation, l'AOS ne sera financièrement rentable que dans le cas où le système peut servir différents bassins (plusieurs réacteurs UV).**

5.3. Peroxyde d'hydrogène

Le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) est un produit chimique qui possède des propriétés désinfectantes. Ce produit pourrait être utilisé dans le réseau de traitement de l'eau de piscine de la même façon que le chlore.

5.3.1. Désinfection

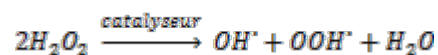
Le peroxyde d'hydrogène agit comme désinfectant grâce à sa décomposition relativement facile en radicaux hydroxyles (OH[•]). Le fonctionnement désinfectant des radicaux hydroxyles est expliqué dans §5.2.3.

Le peroxyde d'hydrogène a une propension naturelle à se décomposer en eau et oxygène :



Cette réaction se produit vite et de façon incontrôlée. Pour éviter cette décomposition spontanée, **de l'argent ionique est ajouté à la solution de peroxyde d'hydrogène comme stabilisateur** [36]. Cette fonction est dénommée l'effet « dépôt ». **En pratique la solution contient 50% de peroxyde d'hydrogène et 0,36 g/l d'argent.** La concentration de peroxyde d'hydrogène dans l'eau devrait être de 20 à 40 mg/l (donc plus élevée par rapport au chlore) afin de garantir la désinfection.

L'argent sert aussi d'activateur ou de catalyseur : grâce à la présence de l'argent, le peroxyde d'hydrogène n'est « activé » que quand il entre en contact avec des pollutions organiques [30]:



Pendant l'oxydation des matières organiques, le peroxyde d'hydrogène se décompose en eau et oxygène. Le peroxyde qui n'a pas réagi reste en état stabilisé grâce à l'effet dépôt.

Outre le peroxyde d'hydrogène, l'argent comporte une capacité désinfectante (voir aussi §5.1.5), bloquant diverses fonctions des cellules des micro-organismes [18]. Ainsi le peroxyde d'hydrogène stabilisé par l'argent ionique dispose d'une fonction désinfectante duale.

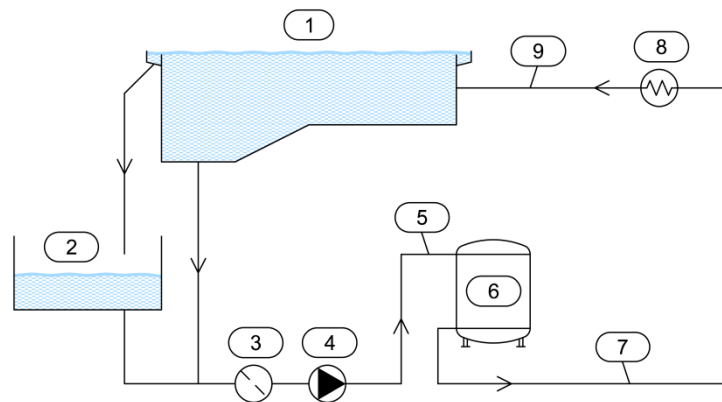
5.3.2. Constitution, floculation et filtration

- **Le système de traitement de l'eau de piscine désinfectée par le peroxyde d'hydrogène ne diffère pas d'un système classique utilisant le chlore comme désinfectant. Au lieu de l'hypochlorite de sodium, le peroxyde d'hydrogène est injecté dans le réseau par une pompe de dosage. Un automate de réglage et de dosage contrôle la composition de l'eau de piscine et règle le dosage automatique du peroxyde d'hydrogène. Un floculant est également injecté avant le filtre, qui est rempli de sable comme dans le système classique.**
- Ainsi qu'en combinaison avec le chlore, un floculant à base d'aluminium peut être utilisé.
- **L'hydroanthracite n'est pas favorable comme matériel filtrant.** En combinaison avec le chlore, l'avantage de l'hydroanthracite est qu'il abrite des bactéries qui réduisent l'urée et qui évitent donc la formation de sous-produits de désinfection à base d'urée. **Dans le cas de la désinfection au peroxyde d'hydrogène, l'urée ne formera pas de composées nuisibles.** Au

contraire, les bactéries qui résident dans l'hydroanthracite causent la réduction du peroxyde d'hydrogène (l'effet du catalase, voir ci-dessous).

- **Le filtre doit être lavé à l'air afin de pouvoir lever le paquet de la masse filtrante.**
- **Le désinfectant peut, comme l'hypochlorite, être stocké dans une citerne.** En état concentré, le produit est irritant pour la peau et les voies respiratoires, nécessitant certaines précautions pour la manipulation et le stockage du produit.

Figure 5.3 : Schéma de principe simplifié du traitement de l'eau utilisant le peroxyde d'hydrogène



Explication des éléments dans la Figure 5.3 : 1 : bassin, 2 : bac tampon, 3 : préfiltre, 4 : pompe de circulation, 5 : injection flocculant, 6 : filtre, 7 : injection acide sulfurique, 8 : échangeur de chaleur, 9 : injection peroxyde d'hydrogène.

- **Un inconvénient particulier lié à l'utilisation du peroxyde d'hydrogène comme désinfectant dans l'eau de piscine est l'effet du catalase dans le filtre.** Le catalase est une enzyme présente dans certaines bactéries qui peuvent se trouver dans le matériau filtrant. Cet enzyme décompose tout le peroxyde d'hydrogène en eau et oxygène et prive donc l'eau de son élément désinfectant. Cet effet peut être contré par un choc de peroxyde (plus concentré : de 100 à 150 mg/l) à travers le filtre pendant les heures de fermeture de la piscine [30]. La surveillance de la consommation de peroxyde d'hydrogène indiquera quand un tel choc est nécessaire : si la consommation augmente soudainement d'environ 30%, il faut intervenir. Ceci dépend de plusieurs facteurs comme p.ex. l'occupation du bassin.

5.3.3. Santé, sécurité et environnement

L'utilisation du peroxyde d'hydrogène apporte de grands avantages mais également certains désavantages :

Avantages :

- **Le plus grand avantage de ce désinfectant est l'absence de réactions qui génèrent des sous-produits nuisibles : le peroxyde d'hydrogène se décompose en eau et oxygène.** (Dans des eaux de très basses valeurs de pH, la formation d'aldéhydes et de cétones est possible, mais ces valeurs ne se produisent pas dans les piscines.) De ce fait, ce produit est également très respectueux de l'environnement.
- **Afin d'éviter le rejet de peroxyde stabilisé vers l'égout, les filtres sont lavés avec de l'eau chlorée, ce qui neutralise le peroxyde d'hydrogène.**
- **Contrairement au chlore, ce désinfectant n'influence pas l'acidité de l'eau.** Dans ce cas, l'acidité n'est pas si importante qu'en présence de chlore, où le pH influencera la formation des sous-produits défavorables. L'acidité peut fluctuer à cause des nageurs et de l'eau fraîche.
- **Pour cette raison, la présence d'un stabilisateur du pH est recommandée mais la consommation sera très limitée par rapport aux installations désinfectées au chlore.**
- **Le peroxyde d'hydrogène ne cause pas d'odeur désagréable.**

Inconvénients :

- **Le produit coûte plus cher (3 à 4 fois) que l'hypochlorite de sodium.**
- **En plus, le peroxyde d'hydrogène agit moins rapidement comme désinfectant que le chlore, ce qui nécessite une plus haute concentration du produit dans l'eau de piscine.**
- **La dose maximale à mettre en œuvre pour la désinfection est actuellement de 10 mg/l [37]. L'utilisation d'une dose plus élevée nécessitera donc une dérogation de la législation.**

Essais :

- Plusieurs projets pilote ont été mis en œuvre, dont un projet en Brabant flamand expérimenté sur 5 ans. Dans la plupart des cas, on a réussi à limiter les contaminations de l'eau à l'aide d'une concentration rémanente de peroxyde d'hydrogène.
- La mise en service d'un projet d'essai ne nécessiterait pas une longue période de fermeture à condition que le changement de désinfectant soit bien préparé : les nouveaux éléments nécessaires du système peuvent être installés en avance sans influencer le fonctionnement du système présent.
- Si le bassin (contenant de l'eau chlorée) n'est pas vidé pour le changement, un jour de fermeture suffira pour pouvoir neutraliser le chlore présent dans l'eau et mettre à niveau la concentration de peroxyde d'hydrogène. Dans ce cas, les résidus des sous-produits de désinfection au chlore et d'autres substances polluantes resteront présents dans l'eau.
- Afin d'éviter les influences du désinfectant précédent, le bassin peut être vidangé. Cependant, on doit tenir compte que le suivi et la surveillance du système demanderont beaucoup d'attention au début.

5.3.4. Coûts

- Le coût d'installation de ce système de désinfection sera plus élevé que celui d'un système de désinfection au chlore (€ 13.646 supplémentaire).
- La consommation électrique génère un coût d'environ € 800 par an (à 0,2 €/kWh).
- L'achat des quantités nécessaires de peroxyde d'hydrogène résultera en un montant d'environ € 180.000 à € 450.000 par an (à 3 €/litre de solution 50% de peroxyde d'hydrogène stabilisé) et un montant de € 37.500 par an (à 0,25 €/litre de peroxyde d'hydrogène non stabilisé). Il est clair que ces coûts sont extrêmes comparés aux coûts de consommation d'hypochlorite de sodium d'environ € 4.500 par an (à 0,25 €/litre et ca. 0,12 l/baigneur).
- Il est à noter qu'il ne faut pas uniquement comparer les prix d'achat des produits. En effet, l'utilisation du chlore induit un ensemble de frais liés aux équipements de ventilation importants, aux matériaux constructifs et équipements résistants à la corrosion, les frais de maintenance et remplacement des équipements conséquents et surtout les impacts sur la santé des nageurs.
- Les prix utilisés ici sont des prix estimés (hors frais de transport) pour la consommation d'une seule piscine. La vente du produit à plusieurs piscines pourrait faire diminuer ce prix. Comme expliqué ci-dessus, on a peu de références qui peuvent servir de base pour l'estimation des consommations.
- Les frais de maintenance préventive à l'installation sont de € 1.750 par an.
- Quelques éléments supplémentaires tel que l'installation de lavage à air avec son compresseur font augmenter le prix d'environ € 20.000 comparé à une installation de désinfection au chlore (prix calculé pour un bassin sportif et un bassin d'apprentissage, voir §5.1.8). Les frais d'entretien de l'installation, sa consommation électrique, seront environ égaux aux coûts d'une installation de désinfection au chlore.
- Les frais de maintenance différeront du prix d'achat du désinfectant, parce que (à ce moment) le peroxyde d'hydrogène stabilisé coûte beaucoup plus cher que l'hypochlorite de sodium et parce que son dosage nécessaire est plus élevé que celui du chlore.
- Le seul projet d'essai qui dispose de chiffres de consommation présente une consommation de peroxyde d'hydrogène stabilisé (pour la désinfection) variant de 0,4 l à 1 l par baigneur et une consommation de peroxyde d'hydrogène non stabilisé – qui coûte moins cher – de 1 l par baigneur.
- Une différence importante au niveau budget est réalisée par la préservation des matériaux qui subissent la corrosion avec le chlore. Il faut donc établir une balance entre le surinvestissement lors de la mise en place du produit et les économies réalisées sur le remplacement des matériaux corrodés.
- Afin d'évaluer les effets sur tous les plans, on devrait intégrer non seulement les coûts d'installation, de consommation des produits, d'énergies et de maintenance, mais aussi les coûts des matériaux de construction et même les coûts d'impact sur la santé. L'élaboration d'une telle comparaison nécessite une étude approfondie.

5.3.5. Éléments d'information technique

Rémanence

Le peroxyde d'hydrogène est un oxydant et apporte un pouvoir désinfectant à l'eau de piscine. Sa capacité oxydante est moins élevée que celle du chlore. Par conséquent, la concentration de peroxyde d'hydrogène nécessaire sera plus élevée que celle de l'hypochlorite de sodium.

Dosage

Une capacité désinfectante suffisante est réalisée avec une concentration de peroxyde d'hydrogène de 20 à 40 mg/l. Le produit est disponible en solution aqueuse de 50%, stabilisé par de l'argent. Il est ajouté à l'eau de piscine de façon identique au dosage de l'hypochlorite de sodium, par une pompe doseuse à partir d'une

citerne journalière et une grande citerne de stockage. Un automate de dosage peut être prévu tout comme les automates utilisés pour le dosage d'hypochlorite de sodium.

Stockage et manipulation

La solution aqueuse de 50% de peroxyde d'hydrogène est comburante et corrosive. Elle est transportée et stockée de la même manière que l'hypochlorite de sodium ou l'acide sulfurique. Cela veut dire que le port d'équipements protecteurs (p.ex. lunettes protectrices, gants) est conseillé lors des manipulations du produit.

Consommations

- Une piscine (équipée d'un bassin de 25 m ainsi que d'un bassin d'apprentissage) fréquentée par environ 150.000 visiteurs par an consommerait entre 60.000 et 150.000 litres de peroxyde d'hydrogène stabilisé par an pour la désinfection de l'eau (à ca. 0,4 à 1 l/baigneur, basé sur l'expérience du projet d'essai).
- De plus le dosage des chocs de peroxyde sur le filtre afin d'éviter le catalase provoquera une consommation de peroxyde d'hydrogène non stabilisé estimée à environ 150.000 litres par an.
- Le dosage des produits chimiques engendre une consommation électrique d'environ 4.000 kWh par an générée par les pompes doseuses et les automates de dosage.

Impact sur les autres équipements

La constitution de l'installation de traitement de l'eau ne change pas par rapport à la situation de désinfection au chlore.

- L'utilisation de l'hydroanthracite est à éviter à cause du phénomène de catalase. Par conséquent, le sable sera la seule matière filtrante et les filtres doivent être pourvus d'un système de lavage à air afin de pouvoir lever la grande masse filtrante du sable.

Impact sur l'environnement

- Le peroxyde d'hydrogène ne génère pas de sous-produits nuisibles ou désagréables. Ses produits de réaction finaux sont l'eau et l'oxygène. Par conséquent les eaux rejetées ne contiennent pas de substances dangereuses ou nuisibles à l'environnement.

Impact sur la santé

Tout comme pour l'environnement, le peroxyde d'hydrogène ne nuit pas à la santé, grâce à l'absence de sous-produits de désinfection indésirables.

Impact sur le permis d'environnement

- Tout comme dans le cas d'ionisation de cuivre et d'argent, la désinfection au moyen de peroxyde d'hydrogène est un procédé non décrit actuellement dans les conditions sectorielles. Contrairement au système cuivre-argent, ce procédé n'a pas encore été appliqué dans une piscine publique wallonne. Il faut que ce système et ses caractéristiques soient proposés comme expliqué ci-dessus afin que le législateur puisse évaluer les risques et déterminer les exigences à imposer.
- La limite supérieure de la concentration de peroxyde d'hydrogène dans l'eau destinée à la consommation est maintenant de 10 mg/l [37]. Une dérogation de cette règle devra être obtenue également.
- Le peroxyde d'hydrogène concentré est un biocide qui ne peut être vendu et utilisé que dans un circuit restreint.
- Il faut avant tout s'assurer que la mise sur le marché du biocide soit enregistrée dans un système en ligne géré par le SPF, santé publique [41].

6. SYSTÈME PROPOSÉ POUR OPTIMISER LE TRAITEMENT DE L'EAU FONCTIONNANT AVEC DU CHLORE

En considérant les observations de cette étude, on constate que les procédés alternatifs de désinfection nécessitent des recherches et essais plus approfondis.

Par contre, il est tout à fait possible de réduire le taux de chlore dans les bassins. Si les conditions préalables sont satisfaites (la circulation hydraulique, la filtration, le système de désinfection et fonctionnent de façon optimale, une concentration de 0,3 mg/l chlore libre actif pourrait apporter une désinfection suffisante. (Actuellement, la limite inférieure pour la concentration de chlore libre actif est de 0,4 mg/l). Avec un pH de 7,3, la concentration de chlore libre tendrait vers 0,5 mg/l, (limite inférieure de la législation en vigueur).

Les données mensuelles de l'année 2014 de la qualité de l'eau des piscines analysées dans le cadre de cette étude démontrent une concentration moyenne de chlore libre de 0,96 mg/l. Dans 75% des résultats reçus, le taux de chlore libre était de plus de 0,82 mg/l. Ceci démontre l'opportunité d'une réduction de la concentration de chlore libre dans l'eau de piscine. Cette réduction peut être effectuée en optimisant le procédé de traitement de l'eau. Ce chapitre décrit les éléments nécessaires à cet objectif.

La piscine du Grand Large à Mons (construite en 2009-2011), répond à la description ci-dessous et fonctionne en maintenant dans le bassin sportif une concentration de chlore libre de ca. 0,65 mg/l pour atteindre la limite inférieure actuelle de 0,4 mg/l de chlore libre actif.

L'utilisation du chlore génèrera toujours la formation de sous-produits indésirables. Cependant une optimisation du système réduira la présence de ces produits au minimum afin que leurs concentrations ne posent aucun problème pour la santé. L'application du système AOS (voir §5.2) apportera une réduction supplémentaire des chloramines et des trihalométhanes.

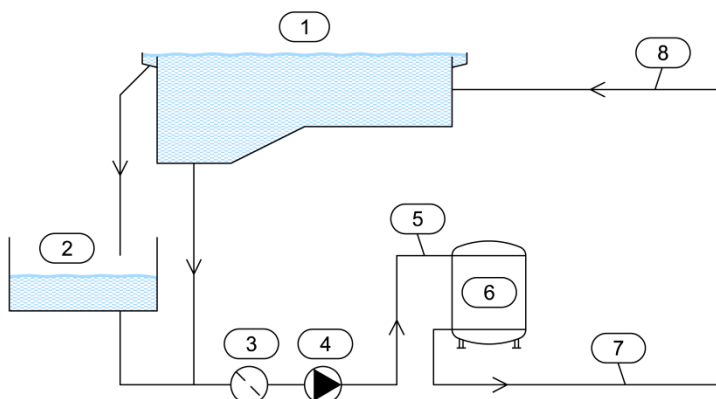
6.1. Le système de traitement de l'eau optimisé

Un système optimal de traitement de l'eau de piscine est caractérisé par les qualités suivantes :

1. une bonne circulation hydraulique ;
2. une bonne filtration ;
3. un désinfectant parfaitement contrôlé.

Le schéma de principe simplifié du système est représenté ci-dessous par Figure 6.1. Un cahier des charges reprenant les équipements du système de traitement de l'eau nécessaire est établi dans le chapitre suivant (voir §7.3), accompagné d'un métré estimatif (voir §7.4).

Figure 6.1 : Schéma de principe simplifié du traitement de l'eau du système optimisé



Explication des éléments dans la Figure 6.1 : 1 : bassin, 2 : bac tampon, 3 : préfiltre, 4 : pompe de circulation, 5 : injection floculant, 6 : filtre, 7 : injection acide sulfurique, 8 : injection hypochlorite de sodium.

6.2. Composants du système optimisé

6.2.1. Équipements de refoulement et de reprise d'eau

Grilles de refoulement

- La meilleure circulation d'eau dans un bassin est obtenue via l'implantation des grilles
- de refoulement dans le fond de la cuve. Afin d'éviter des « zones mortes » (où il n'y a pas suffisamment de circulation d'eau) il est important de prévoir un nombre suffisant de grilles et de les répartir uniformément sur la surface du sol.
- L'implantation de grilles de sol est plus favorable que les grilles de paroi (dans le cas de la présence de fonds mobiles, les 2 sont nécessaires).

Débordement

- Un autre point d'attention pour permettre une bonne circulation du bassin est le fonctionnement du débordement. Les conditions sectorielles wallonnes exigent qu'au moins 50% de l'eau recyclée soit reprise en surface. De cette façon la pollution du bassin est mieux reprise par les filtres.
- Les deux dispositifs possibles pour réaliser une reprise d'eau en surface sont des skimmers (des grilles murales de reprise qui se trouvent partiellement en-dessous et au-dessus du niveau d'eau) et une goulotte de débordement. Dans le cas d'un grand bassin (le débit de reprise est plus grand), comme par exemple un bassin sportif de 25 m, une goulotte est plus favorable.

Le test colorimétrique

Il est possible de vérifier la répartition homogène de l'eau dans le bassin au moyen d'un test colorimétrique. Ce genre de test est prescrit dans les conditions sectorielles [16] (Art. 39) avant la mise en exploitation d'un nouveau bassin ou après toute modification structurelle du bassin.

La norme européenne EN 15288-2 [39] (Piscines : exigences de sécurité pour le fonctionnement) définit la procédure d'un tel test :

- ajouter du thiosulfate afin de diminuer le chlore dans l'eau du bassin à zéro ;
- ajouter une certaine quantité de colorant dans les conduites avant l'injection dans le bassin ;
- observer le progrès de la coloration et le documenter à l'aide des photos ou d'enregistrement vidéo ;
- attendre une demi-heure après la coloration ;
- ajouter du chlore et de nouveau observer et documenter le progrès de la décoloration de l'eau.

Selon la norme européenne, le volume d'eau dans le bassin doit être totalement coloré en 15 minutes (et décoloré dans le même laps de temps). Les conditions sectorielles ne mentionnent pas la durée maximale pour que la coloration soit atteinte. En pratique une durée de 30 minutes est nécessaire au lieu des 15 minutes de la norme européenne (parce qu'en cas de problèmes avec la qualité de l'eau, il faut être capable de les résoudre en 30 minutes selon les conditions sectorielles). La norme recommande de répéter ce test tous les 5 ans.

6.2.2. Bac tampon

Dimensionnement

La présence d'un bac tampon est indispensable au fonctionnement hydraulique du système. Le retour de l'eau reprise en surface arrive dans le bac tampon.

Ce bac doit être capable de contenir le volume d'eau généré par le nombre maximal de nageurs et un volume d'eau qui peut sortir du bassin suite au mouvement de l'eau à la surface (les vagues causées par les nageurs). De plus, il est nécessaire d'intégrer le volume d'eau nécessaire au lavage des filtres dans le dimensionnement du bac tampon.

Si le bac tampon est trop petit, une partie de ces volumes d'eau est perdue et rejetée vers l'égout par débordement du bac tampon.

Dans le cas où il y a plusieurs bassins (p.ex. un bassin sportif de 25 mètres et un petit bassin d'apprentissage ou une pataugeoire) qui sont caractérisés par différentes températures et/ou par différents types d'occupation, il est recommandé de créer des systèmes séparés du point de vue du traitement de l'eau avec

des pompes, filtres et bacs tampon séparés et propres à chaque bassin. Les bacs tampon peuvent être exécutés en béton ou en polyéthylène. Dans le cas d'un bâtiment neuf, le béton est préférable vu sa longévité et son coût de construction.

6.2.3. Pompes

La solution la plus efficace et la plus économe est d'installer des pompes à haut rendement et à variation de fréquence.

Outre des économies en consommation électrique, **ces pompes ont l'avantage de réguler les vitesses et les débits, p.ex. un débit nominal de circulation et un autre débit plus élevé pour le lavage des filtres. Si on peut utiliser le débit optimal de lavage au lieu du débit nominal de circulation pour exécuter un rinçage de filtre, la qualité du lavage des filtres sera améliorée.**

Le temps de recyclage de l'eau du bassin est directement lié au débit de circulation. Idéalement, il serait recommandé de **déterminer un débit adapté à l'occupation du bassin, plutôt que d'appliquer le temps de recyclage maximal imposé par les conditions sectorielles (4 heures pour les bassins > 100 m² et de profondeur > 40 cm, 2 heures pour les bassins ≤ 100 m² ou de profondeur ≤ 40 cm, 30 minutes pour les pataugeoires).** Si un bassin est très occupé, la charge polluante sera importante et il vaudra mieux augmenter le débit de circulation (en diminuant donc le temps de recyclage). Ainsi, l'eau circulera plus souvent à travers les filtres et la qualité de l'eau sera meilleure. Cependant et pratiquement, cette adaptation est difficile à mettre en pratique.

6.2.4. Filtres

Durée et vitesse de filtration

La capacité des filtres et la durée de filtration sont très importantes. Plus longtemps l'eau circule dans le filtre, mieux elle est filtrée. Une vitesse de filtration plus lente augmente aussi la qualité de filtration. Pour un certain débit de circulation, la vitesse de filtration peut être réduite en accroissant la capacité du filtre. Une vitesse de filtration plus lente réduira également la consommation des pompes.

Une vitesse de filtration de 25 m/h est recommandée plutôt que la vitesse conventionnelle de 30 m/h.

Matériau du corps du filtre

Le matériau du corps du filtre est essentiel pour la durée de vie du filtre et donc à la prévention des pannes. Les filtres en acier souffrent de la corrosion ; les filtres en matière synthétique (p.ex. le polyester) n'ont pas ce problème.

Matière filtrante

La matière filtrante a une grande influence sur la qualité de filtration. La matière filtrante fonctionne de manière mécanique mais également de manière biologique. La matière filtrante couramment utilisée est le sable. **L'application de sable en granulés de différents diamètres résulte en une bonne filtration. L'utilisation de granulés de verre poli donne des résultats égaux mais n'apporte en théorie pas de qualité supplémentaire de filtration.** Le prix du verre poli étant quatre fois plus élevé que celui du sable.

Le fonctionnement du sable comme matière filtrante est plutôt mécanique, l'hydroanthracite **apporte quant à lui, un fonctionnement biochimique.** Ayant la caractéristique d'avoir une grande surface de contact, l'hydroanthracite est capable d'absorber les substances présentes dans l'eau. Celles-ci sont ensuite décomposées par des bactéries et des enzymes qui résident dans la masse d'hydroanthracite. L'urée, qui en cas de désinfection au chlore est un précurseur important de quelques sous-produits nuisibles de désinfection, peut par exemple être décomposé dans la couche d'hydroanthracite du filtre.

Le choix de la matière filtrante dépend de la technique de désinfection.

Si d'autres produits de désinfection que le chlore sont appliqués, l'influence de l'hydroanthracite sera moins importante ou dans certains cas défavorable (p.ex. en combinaison avec du peroxyde d'hydrogène, voir §5.3.2).

Fréquence de lavage des filtres

Une piscine qui alterne avec des périodes de grande affluence de visiteurs (p.ex. durant les vacances scolaires) sera obligée d'augmenter le nombre de lavages des filtres durant les périodes de grande occupation.

Il serait souhaitable de déterminer une fréquence de lavage des filtres constante, p.ex. 2 fois par semaine. La perte de pression à travers les filtres est un bon indicateur de la pollution de ceux-ci. Une partie de la conduite transparente par laquelle les eaux de lavage sont rejetées, permet au technicien de constater de manière visuelle l'encrassement du filtre. Le lavage peut être arrêté lorsque l'eau passant dans cette conduite devient plus claire.

6.2.5. Désinfection

En suivant les recommandations ci-dessus, l'addition de chlore pourrait être limitée au minimum nécessaire à garantir une désinfection rémanente dans la cuve.

Le système le plus fiable et pratique à entretenir utilise l'hypochlorite de sodium en forme liquide. Comme stabilisateur de l'acidité (le pH) on peut utiliser l'acide sulfurique. La méthode la plus efficace et surtout la plus sûre point de vue livraison est le stockage en vrac. Ceci limite fortement la manipulation des produits (p.ex. le remplissage journalier des citernes) et les risques liés aux erreurs humaines (p.ex. l'échange des bidons de chlore et d'acide) et permet également une meilleure automatisation.

Les produits chimiques sont injectés après le filtre dans la conduite de refoulement vers la cuve.

Une distance minimale de 2 mètres entre les points d'injection d'acide et de chlore doit être respectée afin d'éviter la réaction directe entre les deux substances qui peut donner lieu à la formation du dichlore gazeux et des fumées d'acide.

Le dosage des deux produits est automatisé. L'eau d'échantillonnage (l'eau qui est analysée en permanence par les automates de dosage afin de déterminer le taux de chlore et le pH dans le bassin) pourrait être prise directement dans le bassin. Les valeurs mesurées refléteraient mieux la qualité de l'eau de la cuve cependant, le temps de réponse serait beaucoup plus lent. **Le dosage automatique réagira plus rapidement et plus correctement aux fluctuations de la pollution dans le bassin.**

6.3. Travaux à prévoir en rénovation

- Rehaussement du niveau du sol du bassin :

En rénovation, le réseau de refoulement d'eau et de reprise des eaux par débordement peuvent être modifiés.

Il est possible d'améliorer la distribution de l'eau dans la cuve par le rehaussement du niveau de sol du bassin. Dans une nouvelle épaisseur de béton, on peut placer de nouvelles conduites et grilles d'alimentation aux endroits nécessaires.

Attention, cette modification réduira la profondeur du bassin. Pour rappel, pour la fédération belge de natation, la profondeur minimale doit être de 90 cm du côté moins profond et de 180 cm du côté de départ, pour pouvoir organiser le championnat belge.

- Construction d'une goulotte en saillie :

La construction d'une nouvelle goulotte de débordement en saillie au bord existant de la piscine est facilement réalisable.

La profondeur du bassin reste ainsi inchangée.

Les principes conceptuels expliqués ci-dessus ont été appliqués pour la rénovation de la piscine de Kessel-Lo (Louvain) en 2015-2016. Cette piscine répond à la description d'une piscine « type » contenant un bassin sportif de 25 × 15 m (volume 800 m³, température 28°C) et un bassin d'apprentissage de 15 × 8 m (volume 90 m³, température 29°C), fréquentée par 150.000 nageurs par an. Cette configuration s'approche de la situation « moyenne » des piscines publiques en Wallonie. L'ensemble des travaux précités a été réalisé dans le petit bassin, les travaux ont par contre été limités dans le grand bassin. Les travaux réalisés ont consisté en :

À Kessel-Lo, seulement le petit bassin d'instruction a été rehaussé. Dans le grand bassin on a modifié le refoulement et l'aspiration mais sans modifier le sol.

- Travaux généraux :
 - enlèvement de l'installation de traitement de l'eau existante
 - nouvelles conduites
 - nouveaux filtres
 - installation d'apport d'eau fraîche automatique dans les bacs tampon
 - nouveau stockage et dosage des produits chimiques (chlore et acide sulfurique)
 - système de gestion électronique

- bassin 25m :
 - ajout de points de refoulement dans les parois (certaines grilles d'aspiration sont devenues des grilles de refoulement)
 - ajout d'aspiration dans le sol et dans les parois
 - 2 nouvelles pompes de circulation pour le bassin 25m
 - rénovation du bac tampon existant en béton pour uniquement le bassin de 25m (au départ, un bac tampon pour les 2 bassins)
 - forte réduction du temps de circulation (au départ :8h pour les 2 bassins, à présent, moins de 4 heures pour le bassin de 25 m et +/-30 min pour le petit bassin)
 - remplacement d'une partie du carrelage qui était en mauvais état

- bassin d'instruction :
 - enlèvement des carrelages
 - rehaussement du sol et du bord
 - ajout de points de refoulement dans le sol
 - ajout d'une goulotte de débordement et rehaussement du bord du bassin
 - révision de 2 des 3 pompes existantes, qui sont maintenant utilisées pour le bassin d'instruction (3ème vieille pompe supprimée)
 - ajout d'un bac tampon en plastique
 - forte réduction du temps de circulation
 - découplage du bassin 25m (maintenant 2 systèmes séparés)
 - nouvelle couche d'étanchéité à eau
 - nouveau carrelage dans le bassin complet

La piscine rénovée de Kessel-Lo ne fonctionne pas encore depuis assez longtemps que pour pouvoir donner des résultats représentatifs de la qualité de l'eau. Les filtres doivent encore développer leur fonctionnement biologique et l'apport d'eau fraîche doit encore être configuré. Le chlore combiné n'est donc pas encore au niveau désiré.

Les prix des éléments rénovés (pour l'année 2016) se trouvent dans le Tableau 6.1 ci-dessous. **Le délai d'une telle rénovation peut varier en fonction des travaux à exécuter et de la difficulté de la situation de quelques mois à plus de 6 mois.**

Tableau 6.1 : Métré estimatif des modifications d'optimisation en cas de rénovation

Bassin sportif 25 x 15 m (800 m³) & Bassin d'apprentissage 12 x 8 m (90 m³) rénovation				
description	unité	quantité	prix unitaire	prix total
GROS ŒUVRE				
TRAVAUX DE DESTRUCTION ET D'ADAPTATION				
Bassin sportif				
Enlèvement carrelages bassin sportif	m ²	375,00	€ 21,68	€ 8.130,00
Enlèvement carrelages goulotte de débordement bassin sportif	m ²	96,00	€ 27,52	€ 2.641,92
Bassin d'apprentissage				
Enlèvement carrelages bassin d'apprentissage	m ²	96,00	€ 21,68	€ 2.081,28
				€ 12.853,20
TRAVAUX BÉTON				
Bassin sportif				
Coffrage goulotte de débordement	m	81,60	€ 113,03	€ 9.223,25
Joint hydrogonflant en bentonite	m	81,60	€ 18,05	€ 1.472,88
Béton goulotte de débordement	m ³	4,90	€ 210,69	€ 1.031,54
Béton mousse dalle de sol du bassin	m ³	112,50	€ 102,31	€ 11.509,88
Barres et treillis d'armatures	kg	244,80	€ 1,24	€ 303,55
Bassin d'apprentissage				
Coffrage goulotte de débordement	m	41,60	€ 113,03	€ 4.702,05
Joint hydrogonflant en bentonite	m	41,60	€ 18,05	€ 750,88
Béton goulotte de débordement	m ³	2,50	€ 210,69	€ 525,88
Béton mousse dalle de sol du bassin	m ³	28,80	€ 102,31	€ 2.946,53
Barres et treillis d'armatures	kg	124,80	€ 1,24	€ 154,75
				€ 32.621,18
FINITIONS				
Bassin sportif				
Cimentage parois	m ²	572,43	€ 48,44	€ 27.728,35
Carreaux 25 x 25 cm antidérapants classe A	m ²	462,27	€ 105,80	€ 48.907,81
Carreaux 25 x 25 cm antidérapants classe A supplément de couleur	m ²	35,25	€ 13,80	€ 486,45
Carreaux 25 x 25 cm antidérapants classe B	m ²	110,16	€ 119,60	€ 13.175,14
Carreaux profilés antidérapants classe C/R12 arrondis avec marquage de sécurité (appui pieds, rebord goulotte)	m	243,20	129,95	€ 31.603,84
Carreaux de goulotte type Wiesbaden	m	80,00	612,70	€ 49.016,00
Grille parallèle 25 cm pour goulotte de débordement	m	80,00	€ 110,40	€ 8.832,00
Bassin d'apprentissage				
Cimentage parois	m ²	146,10	€ 48,44	€ 7.077,08
Carreaux 25 x 25 cm antidérapants classe A	m ²	50,10	€ 105,80	€ 5.300,58
Carreaux 25 x 25 cm antidérapants classe B	m ²	96,00	€ 119,60	€ 11.481,60
Carreaux profilés antidérapants classe C/R12 arrondis avec marquage de sécurité (appui pieds, rebord goulotte)	m	83,20	129,95	€ 10.811,84
Carreaux de goulotte type Wiesbaden	m	40,00	612,70	€ 24.508,00
Grille parallèle 25 cm pour goulotte de débordement	m	40,00	€ 110,40	€ 4.416,00
				€ 243.344,69
TRAITEMENT DE L'EAU				
BACS TAMPON & SUPPLÉTION				
Bassin sportif				
Dispositions bac tampon bassin sportif		1	€ 2.071,00	€ 2.071,00
Bac tampon en plastique bassin sportif		1	€ 20.299,00	€ 20.299,00
Suppléance bassin sportif		1	€ 2.748,00	€ 2.748,00
Bassin d'apprentissage				
Dispositions bac tampon bassin d'apprentissage		1	€ 2.071,00	€ 2.071,00
Bac tampon en plastique bassin d'apprentissage		1	€ 9.062,00	€ 9.062,00
Suppléance bassin d'apprentissage		1	€ 2.748,00	€ 2.748,00
				€ 38.999,00
TOTAL				€ 327.818,07

7. APPROCHE TECHNIQUE D'UN SYSTÈME ALTERNATIF

Le peroxyde d'hydrogène est un désinfectant qui ne produit pas les effets indésirables du chlore.

Cependant il existe à l'heure actuelle, peu d'expérience de ce produit dans les piscines publiques. Un projet pilote serait donc nécessaire.

7.1. Cas pratique

Le peroxyde d'hydrogène a déjà été mis en œuvre comme désinfectant durant une période d'essai de plus de 5 ans dans les Thermæ à Grimbergen [30] (un complexe disposant d'un bassin extérieur, un bassin intérieur et plusieurs bassins froids et jacuzzis).

Lors de la dernière période d'évaluation à Grimbergen, la qualité de l'eau était très bonne du point de vue bactériologique : plus de 80% des analyses effectuées pendant 18 mois ne démontrent pas de dépassement des limites de la réglementation flamande.

93% des résultats satisfont à l'exigence particulière imposée au projet : ne pas dépasser les 500 colonies de germes revivifiables à 36°C. Dans la moitié des cas dépassant cette limite, le taux de peroxyde était trop bas suite à un dosage insuffisant. Les dépassements des limites des autres paramètres bactériologiques lors des 18 mois d'essai sont exprimés en %: Pseudomonas aeruginosa 4%, staphylocoques 3%, bactéries coliformes 4%, coliformes fécaux 3% et entérocoques intestinaux 20% (dont 2% dans les grands bassins et le reste dans des petits bassins à températures excédant 35°C ou en-dessous de 20°C). Ces résultats seraient également très bons pour une piscine désinfectée au chlore.

Projet pilote : Conditions de mise en place

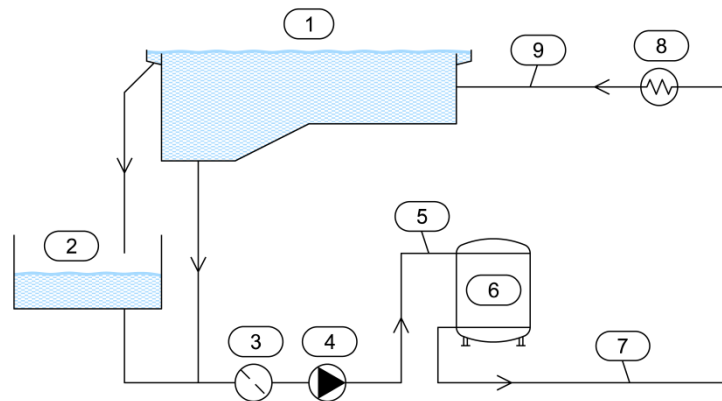
1. Avant de pouvoir organiser une période d'essai, un permis (éventuellement de durée limitée) permettant d'utiliser le peroxyde d'hydrogène devrait être obtenu.
2. L'essai devra être mis en œuvre avec l'étroite collaboration d'un laboratoire agréé expérimenté dans l'analyse des piscines, et avec le Département des préventions et des autorisations et de la santé du gouvernement régional, qui détermineront les conditions nécessaires. (Comme mentionné dans le chapitre 5, la formulation de conditions sectorielles sur base de ce désinfectant seront nécessaires, ainsi qu'une dérogation de la concentration maximale de peroxyde d'hydrogène dans l'eau (voir §**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). L'utilisateur devra également suivre les réglementations concernant les biocides.)
3. L'essai pourrait consister au remplacement pour un bassin du dosage de chlore par un dosage de peroxyde d'hydrogène.
4. Le suivi pointu du dosage et de la concentration du peroxyde d'hydrogène dans l'eau de la piscine ainsi que des analyses fréquentes de la qualité de l'eau seront nécessaires.

7.2. Description du système alternatif

La constitution d'une installation de traitement de l'eau de piscine utilisant le peroxyde d'hydrogène comme désinfectant ne diffère presque pas d'une installation classique utilisant l'hypochlorite de sodium. La différence est évidemment le remplacement de l'hypochlorite par le peroxyde. Le stockage et le dosage du désinfectant sont similaires, ainsi que la filtration et la circulation hydraulique.

Le fonctionnement du peroxyde d'hydrogène comme désinfectant est déjà expliqué dans le chapitre 5. (Pour une description plus détaillée du système et du fonctionnement, voir §5.3.)

Figure 7.1 : Schéma de principe simplifié du traitement de l'eau utilisant le peroxyde d'hydrogène



Explication des éléments dans la Figure 7.1 : 1 : bassin, 2 : bac tampon, 3 : préfiltre, 4 : pompe de circulation, 5 : injection floculant, 6 : filtre, 7 : injection acide sulfurique, 8 : échangeur de chaleur, 9 : injection peroxyde d'hydrogène.

Toutes les prescriptions de ce chapitre doivent être vues en tenant compte des recommandations du chapitre 6 qui explique l'optimisation du système de traitement de l'eau, quelque soit le désinfectant appliqué.

Les recommandations du cahier des charges ci-dessous sont valables pour l'application de l'hypochlorite de sodium ou du peroxyde d'hydrogène comme désinfectant, à quelques différences près :

1. Le sable est la seule matière filtrante, nécessitant un système de lavage à air.
2. L'automate de dosage doit évidemment mesurer la concentration de peroxyde d'hydrogène au lieu de celle de chlore libre.
3. Vu que la concentration de désinfectant dans l'eau est dans le cas du peroxyde, plus élevée, les pompes doseuses doivent fonctionner à un débit plus élevé.
4. Par conséquent, les citernes journalières doivent disposer d'une plus grande capacité.

7.3. Recommandations pour cahier des charges

7.3.1. Travaux de canalisations et accessoires

Les diamètres des conduites sont déterminés de sorte à atteindre les débits d'eau proposés.

Les conduites sont **en PVC dur ou en polyéthylène**. Elles répondent aux normes pour conduites d'eau potable (PVC : NBN T 42-111, PE : ISO R161/1-1978).

Toutes les conduites des eaux de piscine doivent être vidangées selon une pente naturelle. Pour tous les écoulements non permanents cela se fait automatiquement.

Les conduites seront équipées des robinetteries nécessaires (robinets à bille, vannes papillon, vannes de réglage, clapets anti-retour, ...).

7.3.2. Grilles

Le nombre et les positions des grilles sont dimensionnés en fonction des débits et afin de garantir une distribution homogène de l'eau de la cuve et éviter des « zones mortes » où l'eau pourrait stagner.

La dimension maximale des perforations d'une grille est de 8 mm afin qu'il soit impossible aux enfants d'y introduire leurs doigts ou leurs orteils.

Grilles de refoulement

Les grilles de refoulement d'eau seront implantées en fonction de leurs caractéristiques. Idéalement, les grilles seront positionnées dans le sol du bassin.

La grille doit permettre la mise au point parfaite de la direction et de la portée de l'eau. Ce réglage doit pouvoir être modifié facilement après la pose de la grille.

Grilles de reprise

La surface des grilles de reprise est telle qu'un recouvrement complet de toutes les grilles est impossible même lorsqu'il y a plusieurs nageurs.

Des grilles seront placées dans les parois du bassin mais également au niveau du sol pour assurer un courant d'eau le long du fond. Les reprises dans les parois se trouvent proches de la surface de l'eau. Elles sont dimensionnées de telle sorte que l'aspiration d'air soit impossible.

Les bondes de fond et les reprises de parois disposent d'un système de réglage.

Skimmers

Les skimmers à petits débits doivent être placés de sorte à ce que les distances intermédiaires soient limitées. Les skimmers disposent d'une plaque de réglage qui permet de régler le niveau de l'eau dans la cuve.

7.3.3. Pré-filtres

Chaque pompe, robinet d'arrêt motorisé, filtre, ainsi que chaque appareil d'analyse sera précédé d'un pré-filtre / capteur de déchets.

Dans le cas d'un pré-filtre séparé, le panier perforé est facile à enlever pour le nettoyer et le couvercle du pré-filtre est transparent afin de pouvoir inspecter visuellement la pollution.

En amont des appareils d'analyse chimique, des filtres fins avec des perforations de 0,4 mm au maximum sont à appliquer.

7.3.4. Pompes de circulation

Ces pompes répondent à une norme et sont disponibles dans le commerce. Les pompes consistent en un corps de pompe en fonte, une palette du type centrifuge fermé, une étanchéité à l'axe exempt d'entretien et un moteur asynchrone triphasé.

7.3.5. Bac tampon et accessoires

Les bacs tampon des bassins sont **exécutés en béton ou en polyéthylène à paroi épaisse**. Ils sont munis de tous les accessoires nécessaires, dont les plus importants sont repris ci-dessous :

- une trappe de visite étanche ;
- une conduite de débordement vers l'égout ;
- une conduite de ventilation ;
- une conduite de vidange ;
- un indicateur de niveau ;
- des alarmes et protections.

7.3.6. Filtres

Les filtres sont des filtres fermés en polyester à multicouches de sable. Ils sont dimensionnés selon chaque projet. Ils sont conformes à la norme DIN 19605. La hauteur de la masse filtrante est de minimum 1 m. Le corps des filtres a une hauteur minimale de 2,5 m. Les filtres sont conçus pour une pression de service maximale de 2,5 bar. La vitesse de filtration maximale est de 25 m/h. Le lit du filtre doit être à plat.

Un système de récolte des eaux, en plastique et en partie inférieure, garantit une récolte d'eau de manière uniforme. Ce système est muni de perforations afin que l'ensemble des couches de support soit entièrement arrêté. Un système de distribution de l'eau en matière plastique en partie supérieure introduit l'eau de manière parfaitement uniforme.

Les filtres disposent d'un trou d'homme et d'un regard.

Les conduites suivantes doivent être présentes :

- conduites de désaération,
- conduites de vidange,
- partie transparente dans la conduite de rinçage,
- conduite d'accouplement qui évacue le premier filtrat vers les égouts.

Les filtres sont pourvus d'un système de contre-lavage à eau dont le débit, la pression et la vitesse de rinçage sont déterminés de telle façon que la masse filtrante soit fluide.

L'expansion des matériaux filtrants est visible par sa fluidité afin de rompre l'entassement serré des grains de telle sorte que ceux-ci puissent se mouvoir librement. Les impuretés sont libérées et évacuées avec l'eau de rinçage.

Le système de contre-lavage de l'eau comprend les éléments suivants :

- une conduite d'aspiration à partir du bac tampon faisant partie du système ;
- un pré-filtre avec une capacité adaptée, placé entre les obturateurs nécessaires ;
- une pompe de circulation avec un débit adapté, clapets anti-retour et vannes inclus ;
- une conduite de distribution avec un diamètre adapté vers chacun des filtres avec une vanne de fermeture par filtre ;
- une conduite d'évacuation de chaque filtre vers l'égout avec un diamètre adapté. Un tronçon transparent sera prévu dans la conduite pour permettre le contrôle du lavage des filtres ;
- par filtre, une conduite d'accouplement du même diamètre que les conduites pour la circulation normale de l'eau y compris les vannes. Ainsi, le premier filtrat peut être évacué vers les conduites d'égout.

Un système de lavage à air est prévu afin de permettre un rinçage efficace. Il contient :

- un ventilateur à canal latéral à haute pression pour le débit nécessaire ;
- une conduite à l'air vers chaque filtre.

7.3.7. Équipements d'apport en eau fraîche

Chaque système de filtration contient les équipements d'apport d'eau fraîche. Ils se composent de :

- une conduite de raccord au collecteur d'eau froide ;
- un obturateur et clapet anti-retour en laiton ;
- un compteur de consommation d'eau à pulsion (entre autres pour la connexion d'un dosage automatique éventuellement) ;
- une jauge à électrodes de niveau.

Le système d'apport d'eau fraîche est complètement isolé (voir les prescriptions pour conduites d'eau froide).
L'apport d'eau fraîche est réglé en fonction du niveau de l'eau dans le bac tampon.

7.3.8. Dosage chimique

L'installation du dosage chimique comprend :

- les citernes de stockage ;
- les citernes journalières ;
- les pompes d'échantillonnage et de dosage ;
- les automates de dosage ;
- les pièces à injection.

Les citernes de stockage

Les citernes sont en propylène sans joint.

Sous la citerne, un bac de rétention est prévu et recouvert d'un revêtement en époxy durable. Ce bac est nécessaire en cas de rupture de la citerne ou des conduites.

La capacité du bac de rétention est supérieure à 110% du volume du plus grand réservoir.

Les citernes de stockage peuvent être équipées d'une double paroi. Dans ce cas, le bac de rétention n'est pas nécessaire.

Les citernes journalières

Les citernes journalières sont fabriquées en polypropylène épais transparent de haute qualité sans soudure.

L'automate de dosage

L'appareil de dosage mesure la concentration du peroxyde d'hydrogène de façon ampérométrique.

L'appareil est guidé par microprocesseur et est pourvu d'un display alphanumérique.

L'appareil fournit les mesures suivantes :

- mesure de pH avec électrode KCl avec réservoir ;
- mesure de débit au moyen du releveur mécanique.

L'appareil de dosage comprend les caractéristiques suivantes :

- caractéristiques intégrées proportionnelles ;

- configuration jour/nuit pour les valeurs exigées ;
- limites d'impulsion réglables.

Les protections suivantes doivent être intégrées au système :

- déclenchement du dosage en cas de débit trop faible ou en cas de déclenchement de la circulation ;
- possibilité de commande manuelle des pompes de dosage ;
- arrêt du dosage pendant le contre-lavage des filtres.

Pièces à injection

L'implantation des pièces à injection doit être déterminée de façon à ce que les produits chimiques soient mélangés totalement à l'eau de la piscine avant le passage dans un virage, un robinet, un appareil, ou accessoires sur la conduite.

La distance minimale de conduite entre la pièce d'injection d'hypochlorite de sodium et celle d'acide sulfurique est de 2 m.

7.4. Métré estimatif

Les dispositions reprises dans le métré estimatif ci-dessous réfèrent à une piscine contenant un bassin sportif de 25 × 15 m (volume 800 m³, température 28°C) et un bassin d'apprentissage de 15 × 8 m (volume 90 m³, température 29°C), fréquentée par 150.000 nageurs par an. Cette configuration s'approche de la situation « moyenne » des piscines publiques en Wallonie.

Les estimations de prix sont établies pour une construction neuve ainsi que pour une rénovation. Les délais d'exécution dépendent fortement de la nature des travaux à réaliser. Selon notre expérience, la construction d'une nouvelle piscine comme décrite ci-dessus est possible dans un délai de moins de 2 ans (sans compter les délais d'étude, d'obtention des permis etc.).

Pour résumer :

EN CONSTRUCTION NEUVE :

-la partie traitement de l'eau est estimée au total à :	416.446 €	
- la partie gros œuvre est estimée au total à :		11.351 €
Soit un total général en construction neuve de :	427.797,44 €	

EN RENOVATION :

-la partie traitement de l'eau est estimée au total à :	464.573 €	
- la partie gros œuvre est estimée au total à :		288.819 €
Soit un total général en construction neuve de :	739.746,07 €	

L'utilisation du peroxyde par rapport au chlore génère un supplément de 13.646 € expliqué dans le tableau ci-dessous.

Ces estimations doivent faire l'objet d'une étude détaillée tenant compte des prix actualisés.

7.4.1. Construction neuve

Tableau 7.1 : Métré estimatif pour une CONSTRUCTION NEUVE (1/2)

Bassin sportif 25 × 15 m (800 m³) & Bassin d'apprentissage 12 × 8 m (90 m³) construction neuve			
description	quantité	prix unitaire	prix total
TRAITEMENT DE L'EAU			
GRILLES & CANALISATIONS			
Bassin sportif			
Canalisations d'aspiration bac tampon bassin sportif	1	€ 3.909,00	€ 3.909,00
Canalisations de retour par le sol bassin sportif	1	€ 3.980,00	€ 3.980,00
Canalisations dans local technique bassin sportif	1	€ 4.711,00	€ 4.711,00
Canalisations d'alimentation bassin sportif	1	€ 16.904,00	€ 16.904,00
Canalisations de débordement bassin sportif	1	€ 31.115,00	€ 31.115,00
Canalisations de rejet d'eau de lavage des filtres bassin sportif	2	€ 1.398,50	€ 2.797,00
Bassin d'apprentissage			
Canalisations d'aspiration bac tampon bassin d'apprentissage	1	€ 1.920,00	€ 1.920,00
Canalisations de retour par le sol bassin d'apprentissage	1	€ 3.342,00	€ 3.342,00
Canalisations dans local technique bassin d'apprentissage	1	€ 2.036,00	€ 2.036,00
Canalisations d'alimentation bassin d'apprentissage	1	€ 6.109,00	€ 6.109,00
Canalisations de débordement bassin d'apprentissage	1	€ 8.472,00	€ 8.472,00
Canalisations de rejet d'eau de lavage des filtres bassin d'apprentissage	1	€ 955,00	€ 955,00
Général			
Canalisations de couplage entre les systèmes	1	€ 3.763,00	€ 3.763,00
			€ 90.013,00
SYSTÈMES DE FILTRATION			
Bassin sportif			
Système de filtration bassin sportif	2	€ 36.093,50	€ 72.187,00
Pompes de circulation bassin sportif	1	€ 17.107,00	€ 17.107,00
Échangeur de chaleur bassin sportif	1	€ 10.397,00	€ 10.397,00
Bassin d'apprentissage			
Système de filtration bassin d'apprentissage	1	€ 17.133,00	€ 17.133,00
Pompes de circulation bassin d'apprentissage	1	€ 10.417,00	€ 10.417,00
Échangeur de chaleur bassin d'apprentissage	1	€ 6.009,00	€ 6.009,00
Système de lavage à air	1	€ 22.816,00	€ 22.816,00
			€ 156.066,00
BACS TAMPON & SUPPLÉTION			
Bassin sportif			
Dispositions bac tampon bassin sportif	1	€ 6.017,00	€ 6.017,00
Suppléance bassin sportif	1	€ 2.748,00	€ 2.748,00
Bassin d'apprentissage			
Dispositions bac tampon bassin d'apprentissage	1	€ 6.017,00	€ 6.017,00
Suppléance bassin d'apprentissage	1	€ 2.748,00	€ 2.748,00
			€ 17.530,00
DOSAGE DES PRODUITS CHIMIQUES			
Bassin sportif			
Automate de dosage bassin sportif	1	€ 3.820,00	€ 3.820,00
Bassin d'apprentissage			
Automate de dosage bassin d'apprentissage	1	€ 3.820,00	€ 3.820,00
Général			
Dosage de bicarbonate	2	€ 5.704,00	€ 11.408,00
Dosage de peroxyde d'hydrogène	2	€ 3.423,50	€ 6.847,00
Dosage d'acide sulfurique	1	€ 19.002,00	€ 19.002,00
Dosage de flocculant	2	€ 2.827,50	€ 5.655,00
Pompes d'échantillonnage (incl. canalisations)	2	€ 4.754,50	€ 9.509,00
			€ 60.061,00

Tableau 7.2 : Métré estimatif pour une CONSTRUCTION NEUVE (2/2)

Bassin sportif 25 × 15 m (800 m³) & Bassin d'apprentissage 12 × 8 m (90 m³) construction neuve				
description	unité	quantité	prix unitaire	prix total
EXIGENCES & PRÉSCRIPTIONS GÉNÉRALES				
Installation électrique		1	€ 53.365,00	€ 53.365,00
Mise en service		1	€ 2.106,00	€ 2.106,00
Dimensionnement		1	€ 5.948,00	€ 5.948,00
Dessins et préparations		1	€ 8.205,00	€ 8.205,00
Gestion de projet		1	€ 12.461,00	€ 12.461,00
Plaquettes d'identification et témoins		1	€ 1.811,00	€ 1.811,00
Essais et contrôles		1	€ 1.164,00	€ 1.164,00
Nettoyage avant réception		1	€ 2.280,00	€ 2.280,00
Installation de chantier		1	€ 1.119,00	€ 1.119,00
Pompe submersible avec détection de niveau		2	€ 2.158,50	€ 4.317,00
				€ 92.776,00
TOTAL TRAITEMENT DE L'EAU				€ 416.446,00
GROS ŒUVRE				
TRAVAUX BÉTON				
Bassin sportif				
Coffrage bac tampon bassin sportif	m ²	50,00	82,51	€ 4.125,50
Joint hydrogonflant en bentonite bac tampon bassin sportif	m	20,00	18,05	€ 361,00
Béton bac tampon bassin sportif	m ³	12,50	153,49	€ 1.918,63
Barres et treillis d'armatures	kg	937,50	€ 1,24	€ 1.162,50
Bassin d'apprentissage				
Coffrage bac tampon bassin d'apprentissage	m ²	25,00	82,51	€ 2.062,75
Joint hydrogonflant en bentonite bac tampon bassin d'apprentissage	m	10,00	18,05	€ 180,50
Béton bac tampon bassin d'apprentissage	m ³	6,25	153,49	€ 959,31
Barres et treillis d'armatures	kg	468,75	€ 1,24	€ 581,25
				€ 11.351,44
TOTAL GROS ŒUVRE				€ 11.351,44
TOTAL GÉNÉRAL GROS ŒUVRE + TRAITEMENT DE L'EAU				€ 427.797,44

Cinq éléments du métré ci-dessus diffèrent entre un système de désinfection au peroxyde d'hydrogène et un système de désinfection à l'hypochlorite de sodium. Les différences de prix sont listées dans le tableau ci-dessous, qui démontre un surcoût léger pour le système au peroxyde d'hydrogène.

Tableau 7.3 : Différences de prix entre les systèmes de désinfection utilisant le NaOCl ou le H₂O₂ (constr. neuve)

ÉLÉMENTS DIFFÉRENTS	NaOCl	H ₂ O ₂	Δ
Système de filtration bassin sportif	€ 74.695,00	€ 72.187,00	- € 2.508,00
Système de filtration bassin d'apprentissage	€ 17.713,00	€ 17.133,00	- € 580,00
Système de lavage à air	-	€ 22.816,00	+ € 22.816,00
Dosage d'hypochlorite de sodium / de peroxyde d'hydrogène	€ 19.254,00	€ 6.847,00	- € 12.407,00
Installation électrique	€ 47.040,00	€ 53.365,00	+ € 6.325,00
			+ 13.646,00

7.4.2. Rénovation

Tableau 7.4 : Métré estimatif pour une RENOVIATION (1/3)

Bassin sportif 25 × 15 m (800 m³) & Bassin d'apprentissage 12 × 8 m (90 m³) rénovation			
description	quantité	prix unitaire	prix total
TRAITEMENT DE L'EAU			
GRILLES & CANALISATIONS			
Bassin sportif			
Canalisations d'aspiration bac tampon bassin sportif	1	€ 5.722,00	€ 5.722,00
Canalisations de retour par le sol bassin sportif	1	€ 4.470,00	€ 4.470,00
Canalisations dans local technique bassin sportif	1	€ 4.711,00	€ 4.711,00
Canalisations d'alimentation bassin sportif	1	€ 22.866,00	€ 22.866,00
Canalisations de débordement bassin sportif	1	€ 38.614,00	€ 38.614,00
Canalisations de rejet d'eau de lavage des filtres bassin sportif	2	€ 1.398,50	€ 2.797,00
Bassin d'apprentissage			
Canalisations d'aspiration bac tampon bassin d'apprentissage	1	€ 3.019,00	€ 3.019,00
Canalisations de retour par le sol bassin d'apprentissage	1	€ 3.966,00	€ 3.966,00
Canalisations dans local technique bassin d'apprentissage	1	€ 2.036,00	€ 2.036,00
Canalisations d'alimentation bassin d'apprentissage	1	€ 7.755,00	€ 7.755,00
Canalisations de débordement bassin d'apprentissage	1	€ 10.497,00	€ 10.497,00
Canalisations de rejet d'eau de lavage des filtres bassin d'apprentissage	1	€ 955,00	€ 955,00
Général			
Canalisations de couplage entre les systèmes	1	€ 3.763,00	€ 3.763,00
			€ 111.171,00
SYSTÈMES DE FILTRATION			
Bassin sportif			
Système de filtration bassin sportif	2	€ 37.121,00	€ 74.242,00
Pompes de circulation bassin sportif	1	€ 17.867,00	€ 17.867,00
Échangeur de chaleur bassin sportif	1	€ 10.397,00	€ 10.397,00
Bassin d'apprentissage			
Système de filtration bassin d'apprentissage	1	€ 17.781,00	€ 17.781,00
Pompes de circulation bassin d'apprentissage	1	€ 11.177,00	€ 11.177,00
Échangeur de chaleur bassin d'apprentissage	1	€ 6.009,00	€ 6.009,00
Système de lavage à air	1	€ 22.816,00	€ 22.816,00
			€ 160.289,00
BACS TAMPON & SUPPLÉTION			
Bassin sportif			
Dispositions bac tampon bassin sportif	1	€ 2.071,00	€ 2.071,00
Bac tampon en plastique bassin sportif	1	€ 20.299,00	€ 20.299,00
Suppléance bassin sportif	1	€ 2.748,00	€ 2.748,00
Bassin d'apprentissage			
Dispositions bac tampon bassin d'apprentissage	1	€ 2.071,00	€ 2.071,00
Bac tampon en plastique bassin d'apprentissage	1	€ 9.062,00	€ 9.062,00
Suppléance bassin d'apprentissage	1	€ 2.748,00	€ 2.748,00
			€ 38.999,00
DOSAGE DES PRODUITS CHIMIQUES			
Bassin sportif			
Automate de dosage bassin sportif	1	€ 3.820,00	€ 3.820,00
Bassin d'apprentissage			
Automate de dosage bassin d'apprentissage	1	€ 3.820,00	€ 3.820,00
Général			
Dosage de bicarbonate	2	€ 5.704,00	€ 11.408,00
Dosage de peroxyde d'hydrogène	2	€ 3.423,50	€ 6.847,00
Dosage d'acide sulfurique	1	€ 19.002,00	€ 19.002,00
Dosage de floculant	2	€ 2.827,50	€ 5.655,00
Pompes d'échantillonnage (incl. canalisations)	2	€ 4.754,50	€ 9.509,00
			€ 60.061,00

Tableau 7.5 : Métré estimatif pour une RENOVATION (2/3)

Bassin sportif 25 × 15 m (800 m³) & Bassin d'apprentissage 12 × 8 m (90 m³) rénovation			
description	quantité	prix unitaire	prix total
EXIGENCES & PRÉSCRIPTIONS GÉNÉRALES			
Installation électrique	1	€ 53.365,00	€ 53.365,00
Mise en service	1	€ 2.106,00	€ 2.106,00
Dimensionnement	1	€ 5.948,00	€ 5.948,00
Dessins et préparations	1	€ 8.205,00	€ 8.205,00
Gestion de projet	1	€ 13.739,00	€ 13.739,00
Plaquettes d'identification et témoins	1	€ 1.811,00	€ 1.811,00
Essais et contrôles	1	€ 1.164,00	€ 1.164,00
Nettoyage avant réception	1	€ 2.280,00	€ 2.280,00
Installation de chantier	1	€ 1.119,00	€ 1.119,00
Pompe submersible avec détection de niveau	2	€ 2.158,00	€ 4.316,00
			€ 94.053,00
TOTAL TRAITEMENT DE L'EAU			€ 464.573,00

Cinq éléments du métré ci-dessus diffèrent entre un système de désinfection au peroxyde d'hydrogène et un système de désinfection à l'hypochlorite de sodium. Les différences de prix sont listées dans le tableau ci-dessous, qui démontre un surcoût léger pour le système au peroxyde d'hydrogène.

Tableau 7.6 : Différences de prix entre les systèmes de désinfection utilisant le NaOCl ou le H₂O₂ (rénovation)

	NaOCl	H ₂ O ₂	Δ
ÉLÉMENTS DIFFÉRENTS			
Système de filtration bassin sportif	€ 76.750,00	€ 74.242,00	- € 2.508,00
Système de filtration bassin d'apprentissage	€ 18.361,00	€ 17.781,00	- € 580,00
Système de lavage à air	-	€ 22.816,00	+ € 22.816,00
Dosage d'hypochlorite de sodium / de peroxyde d'hydrogène	€ 19.254,00	€ 6.847,00	- € 12.407,00
Installation électrique	€ 47.040,00	€ 53.365,00	+ € 6.325,00
			+ 13.646,00

Le Tableau 7.7 Tableau 2. ci-dessous reprend également les estimations de prix des améliorations de la circulation dans le bassin, comme expliquées dans §6.3.

Tableau 7.7 : Métré estimatif pour une RENOVIATION (3/3)

Bassin sportif 25 x 15 m (800 m³) & Bassin d'apprentissage 12 x 8 m (90 m³) rénovation				
description	unité	quantité	prix unitaire	prix total
GROS ŒUVRE				
TRAVAUX DE DESTRUCTION ET D'ADAPTATION				
Bassin sportif				
Enlèvement carrelages bassin sportif	m ²	375,00	€ 21,68	€ 8.130,00
Enlèvement carrelages goulotte de débordement bassin sportif	m ²	96,00	€ 27,52	€ 2.641,92
Bassin d'apprentissage				
Enlèvement carrelages bassin d'apprentissage	m ²	96,00	€ 21,68	€ 2.081,28
				€ 12.853,20
TRAVAUX BÉTON				
Bassin sportif				
Coffrage goulotte de débordement	m	81,60	€ 113,03	€ 9.223,25
Joint hydrogonflant en bentonite	m	81,60	€ 18,05	€ 1.472,88
Béton goulotte de débordement	m ³	4,90	€ 210,69	€ 1.031,54
Béton mousse dalle de sol du bassin	m ³	112,50	€ 102,31	€ 11.509,88
Barres et treillis d'armatures	kg	244,80	€ 1,24	€ 303,55
Bassin d'apprentissage				
Coffrage goulotte de débordement	m	41,60	€ 113,03	€ 4.702,05
Joint hydrogonflant en bentonite	m	41,60	€ 18,05	€ 750,88
Béton goulotte de débordement	m ³	2,50	€ 210,69	€ 525,88
Béton mousse dalle de sol du bassin	m ³	28,80	€ 102,31	€ 2.946,53
Barres et treillis d'armatures	kg	124,80	€ 1,24	€ 154,75
				€ 32.621,18
FINITIONS				
Bassin sportif				
Cimentage parois	m ²	572,43	€ 48,44	€ 27.728,35
Carreaux 25 x 25 cm antidérapants classe A	m ²	462,27	€ 105,80	€ 48.907,81
Carreaux 25 x 25 cm antidérapants classe A supplément de couleur	m ²	35,25	€ 13,80	€ 486,45
Carreaux 25 x 25 cm antidérapants classe B	m ²	110,16	€ 119,60	€ 13.175,14
Carreaux profilés antidérapants classe C/R12 arrondis avec marquage de sécurité (appui pieds, rebord goulotte)	m	243,20	129,95	€ 31.603,84
Carreaux de goulotte type Wiesbaden	m	80,00	612,70	€ 49.016,00
Grille parallèle 25 cm pour goulotte de débordement	m	80,00	€ 110,40	€ 8.832,00
Bassin d'apprentissage				
Cimentage parois	m ²	146,10	€ 48,44	€ 7.077,08
Carreaux 25 x 25 cm antidérapants classe A	m ²	50,10	€ 105,80	€ 5.300,58
Carreaux 25 x 25 cm antidérapants classe B	m ²	96,00	€ 119,60	€ 11.481,60
Carreaux profilés antidérapants classe C/R12 arrondis avec marquage de sécurité (appui pieds, rebord goulotte)	m	83,20	129,95	€ 10.811,84
Carreaux de goulotte type Wiesbaden	m	40,00	612,70	€ 24.508,00
Grille parallèle 25 cm pour goulotte de débordement	m	40,00	€ 110,40	€ 4.416,00
				€ 243.344,69
TOTAL GROS ŒUVRE				
				€ 288.819,07
TOTAL GÉNÉRAL GROS ŒUVRE + TRAITEMENT DE L'EAU				
				€ 739.746,07

7.5. Avantages et inconvénients du peroxyde d'hydrogène

Avantages :

- Le plus grand avantage de ce désinfectant est l'absence de réactions qui génèrent des sous-produits nuisibles : le peroxyde d'hydrogène se décompose en eau et oxygène. Ce produit n'a donc aucune influence négative sur la santé et il est également très respectueux de l'environnement. De plus, le peroxyde d'hydrogène ne cause pas d'odeur désagréable
- Afin d'éviter le rejet de peroxyde stabilisé vers l'égout, les filtres sont lavés en utilisant de l'eau chlorée, ce qui neutralise le peroxyde d'hydrogène. (L'utilisation du chlore reste donc nécessaire, quoiqu'en petites quantités et pas directement dans le bassin, donc sans aucun effet sur les baigneurs.)
- Contrairement au chlore, ce désinfectant n'influence pas l'acidité de l'eau.
- L'acidité peut quand même fluctuer à cause des nageurs et de l'eau fraîche. Pour cette raison, la présence d'un stabilisateur du pH est recommandée mais la consommation sera très limitée par rapport aux installations désinfectées au chlore.

Inconvénients :

- Le produit coûte plus cher (3 à 4 fois) que l'hypochlorite de sodium (actuellement et vu qu'il n'est pas répandu sur le marché)
- Le peroxyde d'hydrogène est moins efficace comme désinfectant que le chlore, ce qui nécessite une plus haute concentration du produit dans l'eau de piscine de ce fait, le coût de la consommation de désinfectant sera beaucoup plus élevé dans le cas du peroxyde d'hydrogène par rapport à l'hypochlorite de sodium.

7.6. Exploitation et entretien

Le peroxyde d'hydrogène stabilisé reste stable et inchangé durant le stockage. Il n'est donc pas nécessaire d'appliquer une certaine fréquence de livraisons, comme décrit pour l'hypochlorite de sodium (dans le but d'éviter la formation de chlorate durant le stockage).

Quant au lavage des filtres, les mêmes principes de fonctionnement que ceux du chlore s'appliquent. La différence par rapport au système de désinfection au chlore décrit dans le chapitre 6 est la **matière filtrante, qui dans le cas d'une désinfection au peroxyde d'hydrogène est composée uniquement de sable et ne contient pas d'hydroanthracite. De ce fait, la masse filtrante est plus lourde et un lavage à air est nécessaire. De temps en temps, le dosage d'une concentration élevée de peroxyde d'hydrogène sera nécessaire afin d'éviter la décomposition rapide du peroxyde d'hydrogène dans le filtre par le catalase (voir ci-dessus et §5.3.2).**

7.7. Coûts d'utilisation

Les frais d'utilisation se décomposent en trois parties :

- ❖ les frais de la gestion technique,
- ❖ les frais de la maintenance périodique et curative,
- ❖ les frais de remplacement.

Les tableaux sur les pages suivantes donnent un exemple de l'estimation des frais d'utilisation sur 30 ans. Tous les composants de l'installation de traitement de l'eau ont une durée de vie limitée.

Les frais de remplacement

Comme expliqué ci-avant, il est nécessaire d'établir un tableau des coûts et des remplacements durant la période d'exploitation (p.ex. 20 ou 30 ans). Dans le Tableau 7.8 un exemple de l'estimation des frais de remplacement pour une nouvelle piscine est présenté. Le coût total des remplacements variera également d'une année à l'autre.

On constate que des budgets importants doivent être prévus après :

- ❖ 10 ans : +/-60.000 €
- ❖ 15 ans : +/-105.000 €
- ❖ 20 ans : +/-88.000 €
- ❖ 30 ans : +/-162.000 €

Les frais de maintenance

- La maintenance périodique et curative comprend :

- ❖ les contrôles et révisions périodiques,
- ❖ l'entretien annuel,
- ❖ les petits remplacements
- ❖ les interventions à cause de pannes.

Finalement la plus grande partie du temps consacré à la maintenance est liée aux actions de gestion de l'installation La gestion comprend le suivi et le reporting de l'installation et le lavage des filtres..

- Parmi **les frais de maintenance périodique**, on peut citer :
 - La fermeture d'entretien annuelle : 1*/ an : +/-1700 €
 - Le nettoyage des bacs tampons : 1*/2 ans : +/-1000 €
 - La révision préventive des pompes de circulation : 1*/5ans : +/-4000 €
 - La révision des vannes pneumatiques : 1*/5ans : +/-1000 €
 -
- Parmi **les frais de maintenance curative**, on retrouve essentiellement :
 - Les interventions en cas de pannes : +/-1300 €/an
 - Les interventions en cas de pannes électriques : /- 1000 €/an

Vu l'incertitude du prix du peroxyde d'hydrogène stabilisé comme désinfectant, les coûts de consommation des produits chimiques ne sont pas repris dans les tableaux.

La répartition sur 30 ans des frais de la gestion technique et de la maintenance périodique et curative, ainsi que le total général des frais d'utilisation, est résumée dans les Tableau 7.9 et Tableau 7.10 pour une nouvelle piscine. Les frais d'utilisation pour une piscine rénovée sont calculés de façon analogique.

Les frais liés à la gestion technique

Ces frais s'élèvent à 33.200 €/an dont 30.000 € pour le lavage des filtres

Soit un total général annuel pour les frais de maintenance et gestion technique de +/-47.000€/an avec des pics à :

- ❖ 10 ans : 117.000 €
- ❖ 15 ans : 143.000€
- ❖ 20 ans : 216.000€

Auxquels, il faut ajouter les frais de remplacement.

Tableau 7.9 : Métré estimatif 30 ans - Maintenance périodique et curative et gestion technique (1/2)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Maintenance périodique															
fermeture d'entretien annuelle	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700
maintenance préventive matériel d'entretien	1.460	1.460	1.460	1.460	1.460	1.460	1.460	1.460	1.460	1.460	1.460	1.460	1.460	1.460	1.460
petits matériaux de remplacement	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
nettoyage bacs tampon	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
contrôle filtres	-	1.035	-	1.035	-	1.035	-	1.035	-	1.035	-	1.035	-	1.035	-
révision préventive pompes de circulation	-	-	-	-	4.000	-	-	-	-	4.000	-	-	-	-	4.000
révision vannes pneumatiques	-	-	-	-	900	-	-	-	-	900	-	-	-	-	900
maintenance préventive dosage de peroxyde	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
maintenance préventive dosage de floculant	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
maintenance préventive dosage d'acide	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
maintenance préventive injection de peroxyde	-	210	-	210	-	210	-	210	-	210	-	210	-	210	-
maintenance préventive injection de floculant	-	210	-	210	-	210	-	210	-	210	-	210	-	210	-
maintenance préventive injection d'acide	-	210	-	210	-	210	-	210	-	210	-	210	-	210	-
maintenance préventive analyse chimique	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
maintenance préventive installation électrique	800	1.600	800	1.600	800	1.600	800	1.600	800	1.600	800	1.600	800	1.600	800
maintenance préventive compresseur	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150
contrôle logiciel PLC	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500
examen thermographique panneau de commande	-	-	-	-	780	-	-	-	-	780	-	-	-	-	780
Maintenance curative															
interventions pannes	1.307	1.307	1.307	1.307	1.307	1.307	1.307	1.307	1.307	1.307	1.307	1.307	1.307	1.307	1.307
interventions pannes électriques	974	974	974	974	974	974	974	974	974	974	974	974	974	974	974
TOTAL MAINTENANCE PÉRIODIQUE ET CURATIVE	11.812	14.277	11.812	14.277	17.492	14.277	11.812	14.277	11.812	22.257	11.812	14.277	11.812	14.277	17.492
surveillance de l'installation	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300
lavage des filtres	29.474	29.474	29.474	29.474	29.474	29.474	29.474	29.474	29.474	29.474	29.474	29.474	29.474	29.474	29.474
administration des pannes	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560
gestion et rapportage	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900
TOTAL GESTION TECHNIQUE	33.234	33.234	33.234	33.234	33.234	33.234	33.234	33.234	33.234	33.234	33.234	33.234	33.234	33.234	33.234
TOTAL FRAIS D'UTILISATION	45.045	47.510	45.504	47.510	55.024	47.969	45.486	51.417	45.504	116.795	45.045	55.528	45.045	47.951	155.304

Tableau 7.10 : Mètré estimatif 30 ans - Maintenance périodique et curative et gestion technique (2/2)

	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Maintenance périodique															
fermeture d'entretien annuelle	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700
maintenance préventive	1.460	1.460	1.460	1.460	1.460	1.460	1.460	1.460	1.460	1.460	1.460	1.460	1.460	1.460	1.460
matériel d'entretien	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
petits matériaux de remplacement	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
nettoyage bacs tampon	1.035	-	1.035	-	1.035	-	1.035	-	1.035	-	1.035	-	1.035	-	1.035
contrôle filtres	-	-	-	-	2.300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.300
révision préventive pompes de circulation	-	-	-	-	4.000	-	-	-	-	4.000	-	-	-	-	4.000
révision vannes pneumatiques	-	-	-	-	900	-	-	-	-	900	-	-	-	-	900
maintenance préventive dosage de peroxyde	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
maintenance préventive dosage de floculant	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
maintenance préventive dosage d'acide	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
maintenance préventive injection de peroxyde	210	-	210	-	210	-	210	-	210	-	210	-	210	-	210
maintenance préventive injection de floculant	210	-	210	-	210	-	210	-	210	-	210	-	210	-	210
maintenance préventive injection d'acide	210	-	210	-	210	-	210	-	210	-	210	-	210	-	210
maintenance préventive analyse chimique	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
maintenance préventive installation électrique	1.600	800	1.600	800	1.600	800	1.600	800	1.600	800	1.600	800	1.600	800	1.600
maintenance préventive compresseur	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150
contrôle logiciel PLC	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500
examen thermographique panneau de commande	-	-	-	-	780	-	-	-	-	780	-	-	-	-	780
Maintenance curative															
interventions pannes	1.307	1.307	1.307	1.307	1.307	1.307	1.307	1.307	1.307	1.307	1.307	1.307	1.307	1.307	1.307
interventions pannes électriques	974	974	974	974	974	974	974	974	974	974	974	974	974	974	974
TOTAL MAINTENANCE PÉRIODIQUE ET CURATIVE	14.277	11.812	14.277	11.812	22.257	11.812	14.277	11.812	14.277	17.492	14.277	11.812	14.277	11.812	21.107
surveillance de l'installation	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300
lavage des filtres	29.474	29.474	29.474	29.474	29.474	29.474	29.474	29.474	29.474	29.474	29.474	29.474	29.474	29.474	29.474
administration des pannes	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560
gestion et rapportage	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900
TOTAL GESTION TECHNIQUE	33.234	33.234	33.234	33.234	33.234	33.234	33.234	33.234	33.234	33.234	33.234	33.234	33.234	33.234	33.234
TOTAL FRAIS D'UTILISATION	51.417	45.045	47.969	45.045	143.242	45.944	47.510	45.045	59.435	60.796	47.510	45.504	47.951	45.045	215.924

8. CONCLUSION

Cette étude avait comme objectif d'évaluer les techniques de filtration et de désinfections alternatives au chlore et les possibilités de les appliquer dans les piscines publiques existantes et neuves en Wallonie.

Dans un premier temps, le cadre législatif a été analysé :

Les valeurs limites reprises dans les normes et les textes législatifs en vigueur ne sont pas capables d'éliminer tous risques pour la santé des nageurs.

Ceci a été démontré lors des analyses des sous-produits de désinfection dans l'eau des 9 piscines wallonnes analysées.

La législation pourrait être améliorée par l'intégration de quelques nouveaux paramètres relatifs aux sous-produits indésirables dus à l'utilisation du chlore.

L'analyse des 9 piscines publiques a démontré un autre point important.

Le traitement de l'eau de ces piscines comporte plusieurs manquements :

- ❖ Une mauvaise circulation de l'eau,
- ❖ un volume de bac tampon insuffisant,
- ❖ une gestion des filtres variable d'une piscine à l'autre qui, pour pouvoir arriver à une bonne qualité de l'eau, nécessite l'ajout de grandes quantités d'eau potable.

Trois procédés alternatifs de désinfection de l'eau de piscine ont été étudiés :

❖ L'ionisation de cuivre et d'argent fonctionne depuis plus de trente ans dans deux piscines wallonnes. Ce procédé **ne génère pas de sous-produits nocifs**. Cependant quelques problèmes importants doivent être améliorés :

- La capacité désinfectante est plus faible que celle du chlore.
- L'efficacité de la désinfection ne peut être contrôlée vu qu'il n'existe pas de moyen de mesurer le taux d'argent dans l'eau.
- L'application de cette technique engendre également des eaux usées excessivement chargées en cuivre.

❖ **Le système d'oxydation avancée (AOS)** ne donne pas de capacité désinfectante rémanente et n'est donc qu'une mesure locale. Cependant, **l'AOS réduit la présence des sous-produits nocifs dans l'eau**, sans risque de formation d'autres sous-produits dangereux. Ce système peut être utile dans les installations qui souffrent de concentrations élevées de sous-produits de désinfection. Toutefois un désinfectant rémanent dans l'eau reste nécessaire.

❖ **Le peroxyde d'hydrogène est un désinfectant à étudier en profondeur. Il n'engendre pas de sous-produits nuisibles et il peut être dosé dans l'eau de piscine par une installation identique à celle qui est utilisée pour le dosage de chlore.** Néanmoins, il n'existe à l'heure actuelle, que peu d'expérience pratique quant à l'application de ce produit comme désinfectant d'eau de piscine et des recherches basées sur des essais pratiques seront nécessaires avant de pouvoir appliquer ce produit à grande échelle. Le produit génère une plus grande consommation et a un prix unitaire plus élevé. Des prescriptions techniques, métrés estimatifs et estimation des frais de maintenance ont été rédigés pour une piscine conventionnelle. Enfin, des recommandations ont été formulées concernant le dimensionnement optimal d'un système de traitement de l'eau fonctionnant au chlore.

En Conclusion, une installation de traitement de l'eau dimensionnée de façon optimale, et gérée de façon optimale, pourrait très bien fonctionner avec des teneurs en chlore réduites comparées aux valeurs enregistrées dans les piscines existantes. Quel que soit le procédé de désinfection appliqué, il faut surtout que l'installation soit optimale. Il y a donc lieu, avant tout, d'améliorer le système de traitement de l'eau avant de se préoccuper de la désinfection.

La conception d'une installation de traitement de l'eau, et d'une piscine entière, reste une mission complexe, à confier de préférence, aux bureaux spécialisés.

La conclusion principale, à l'heure actuelle et l'objectif à atteindre dans les futurs travaux de rénovation sont donc:

la réduction de quantité de chlore utilisée

→ la 1^{ère} priorité est de dimensionner et optimiser la circulation hydraulique du système (via les bouches, les filtres, les bacs tampons,...)

→ ensuite, des systèmes complémentaires tel que les UV, l'AOS,...peuvent être installés nécessitant au préalable, une étude de faisabilité reprenant le temps de retour par rapport aux investissements, les consommations réalisées, la réduction réelle de chlore à atteindre....

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Centre International de Recherche sur le Cancer, *IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Vol. 1-112*, Lyon, France: IARC, 1972-2015.
- [2] World Health Organization, *Guidelines for safe recreational water environments - Volume 2: Swimming pools and similar environments*, Genève: WHO Press, 2006.
- [3] DIN Deutsches Institut für Normung, *Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser*, Allemagne, 2012.
- [4] Bundesministerium für Gesundheit, *Gesetz zur Verhütung und Bekämpfung von Infektionskrankheiten beim Menschen (Infektionsschutzgesetz - IfSG)*, Allemagne, 2000.
- [5] Bundesministerium für Gesundheit, *Verordnung über die Qualität von Schwimm- und Badebeckenwasser (Schwimm- und Badebeckenwasserverordnung - SchwBadebwV)*, Allemagne, 2002.
- [6] Umweltbundesamt, «Hygieneanforderungen an Bäder und deren Überwachung,» *Bundesgesundheitsblatt*, n° %157, pp. 258-279, 2014.
- [7] *Code de la santé publique*, France.
- [8] *Décret n° 2003-462 du 21 mai 2003 relatif aux dispositions réglementaires des parties I, II et III du Code de la santé publique*, France.
- [9] *Décret n° 81-324 du 7 avril 1981 fixant les normes d'hygiène et de sécurité applicables aux piscines et aux baignades aménagées*, France, 2003.
- [10] *Arrêté du 7 avril 1981 relatif aux dispositions techniques applicables aux piscines*, France, 2007.
- [11] Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail, *Avis relatif à l'évaluation des risques sanitaires liés aux piscines - partie I : piscines réglementées*, Maisons-Alfort: Afsset, 2010.
- [12] *Besluit hygiëne en veiligheid badinrichtingen en zwemgelegenheden (Bhvbz)*, Pays-Bas, 1984.
- [13] F. Oesterholt, *Naar een nieuwe normstelling voor zwembaden. Oriënterende studie*, Nieuwegein: Kiwa Water Research, 2011.
- [14] P. W. Appel, C. Schets, A. Versteegh, M. Appel, G. Hulshof, P. Cuijpers, D. Slingerland, L. Feyen, F. Godfriedt, L. L. Keltjens, M. Keuten, H. Schoon, C. van Veluwen, J. van der Westen et D. Bastenhof, «Advies expertgroep Veilig en Gezond Zwemmen in de nieuwe wetgeving,» *Werkgroep van de Brancheorganisatie Zwembad-techniek (BoZt)*, 2012.
- [15] *Titel II van het VLAREM*, Flandre.
- [16] *Conditions sectorielles relatives aux bassins de natation couverts et ouverts utilisés à un titre autre que purement privatif dans le cadre du cercle familial, lorsque la surface est supérieure à 100 m² et la profondeur supérieure à 40 cm*, Wallonie, 2013.
- [17] *Arrêté du Gouvernement wallon relatif aux valeurs paramétriques applicables aux eaux destinées à la consommation humaine*, Wallonie, 2004.
- [18] A. Legros, G. Decoster, F. Edeline, J. Hissel et E. J. Nyns, «Traitement des eaux de piscine par le procédé électro-physique,» *TSM L'eau*, vol. 81, n° %16, pp. 301-305, 1985.
- [19] J. L. Clement et P. S. Jarrett, «Antibacterial silver,» *Metal Based Drugs*, vol. 1, n° %15-6, pp. 467-482, 1994.
- [20] N. Silvestry-Rodriguez, E. E. Sicairos-Ruelas, C. P. Gerba and K. R. Bright, "Silver as a disinfectant," *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, no. 191, pp. 23-45, 2007.
- [21] L. K. Landeen, M. T. Yahya and C. P. Gerba, "Efficacy of copper and silver ions and reduced levels of free chlorine in inactivation of Legionella pneumophila," *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 55, no. 12, pp. 3045-3050, 1989.
- [22] F. X. Abad, R. M. Pintó, J. M. Diez and A. Bosch, "Disinfection of human enteric viruses in water by copper and silver in combination with low levels of chlorine," *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 60, no. 7, pp. 2377-2383, 1994.

- [23] C. W. Beer, L. E. Guilmartin, T. F. McLoughlin and T. J. White, "Swimming pool disinfection: efficacy of copper/silver ions with reduced chlorine levels," *Journal of Environmental Health*, vol. 61, no. 9, pp. 9-12, 1999.
- [24] M. T. Yahya, L. K. Landeen, M. C. Messina, S. M. Kutz, R. Schulze and C. P. Gerba, "Disinfection of bacteria in water systems by using electrolytically generated copper:silver and reduced levels of free chlorine," *Canadian Journal of Microbiology*, vol. 36, no. 2, pp. 109-116, 1990.
- [25] L. Fewtrell, "Silver: water disinfection and toxicity," WHO, Centre for Research into Environment and Health, 2014.
- [26] J. Prousek, "Advanced oxidation processes for water treatment. Chemical processes," *Chemické Listy*, vol. 90, pp. 229-237, 1996.
- [27] P. Appel, „presentation Pool Water Treatment BV,” in *Nationaal Zwembadcongres Vereniging Sport en Gemeenten*, Vianen, Pays-Bas, 2009.
- [28] M. I. Litter, "Introduction to photochemical advanced oxidation processes for water treatment," in *Handbook of Environmental Chemistry*, vol. II part M, P. Boule, D. W. Bahnemann and P. K. Robertson, Eds., Berlin, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005, pp. 325-366.
- [29] A. Spiliotopoulou, *Photolysis and secondary formation of disinfection by-products by UV treatment of swimming pool water*, Lyngby: Department of Environmental Engineering, Technical University of Denmark, 2013.
- [30] K. M. S. Hansen, *Strategies for chemically healthy public swimming pools*, Lyngby: Department of Environmental Engineering, Technical University of Denmark, 2013.
- [31] J. Muff and L. Bennedsen, *New techniques for treatment of water in Danish swimming pools with focus on electrochemical oxidation and disinfection*, Esbjerg: Esbjerg Institute of Technology, Aalborg University, 2007.
- [32] L. Feyen, „Vijfde evaluatieverslag van het proefproject met gestabiliseerd waterstofperoxide uitgevoerd in de Thermae Grimbergen,” Labo Derva, Lummen, 2010.
- [33] A. Vlaardingebroek en D. G. van Straaten, *Oriënterend onderzoek naar desinfectietechnieken voor zwembadwater*, Nieuwegein: Kiwa Water Research, 2004.
- [34] N. Cimetiere and J. De Laat, "Effects of UV-dechloramination of swimming pool water on the formation of disinfection by-products: A lab-scale study," *Microchemical Journal*, no. 112, pp. 34-41, 2014.
- [35] S. Weng, J. Li and E. R. I. Blatchley, "Effects of UV254 irradiation on residual chlorine and DBPs in chlorination of model organic-N precursors in swimming pools," *Water Research*, no. 46, pp. 2674-2682, 2012.
- [36] G. H. Kristensen, M. M. Klausen, H. R. Andersen, L. Erdinger, F. Lauritsen, E. Arvin and H. J. Albrechtsen, "Full scale test of UV-based water treatment technologies at Gladsaxe Sport Centre - with and without advanced oxidation mechanisms," in *Swimming Pool and Spa International Conference*, London, 2009.
- [37] K. M. S. Hansen, R. Zortea, A. Piketty, S. Rodriguez Vega and H. R. Andersen, "Photolytic removal of DBPs by medium pressure UV in swimming pool water," *Science of the Total Environment*, no. 443, pp. 850-856, 2013.
- [38] R. Nabizadeh, N. Samadi, Z. Sadeghpour and M. Beikzadeh, "Feasibility study of using complex of hydrogen peroxide and silver for disinfecting swimming pool water and its environment," *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*, vol. 5, no. 4, pp. 235-242, 2008.
- [39] Comité européen de Normalisation, *EN 15288-2: Piscines - Partie 2: Exigences de sécurité pour le fonctionnement*, CEN, 2008.

ANNEXE A : RAPPORTS DES VISITES DES PISCINES

Les textes et les données repris dans cette annexe ne reflètent que les paroles échangées pendant les visites des piscines. Contrairement au texte principal de cette étude, l'exactitude de ces informations n'a pas été vérifiée. Les valeurs ne peuvent donc pas être considérées comme des valeurs absolues.

A.1 Visite de la piscine « Hélios » à Charleroi

A.1.1 Coordonnées

nom : Hélios
adresse : rue de Montigny 103, 6000 Charleroi
n° tél. : 071/86.06.36
gestionnaire : Bernard Thiry
date de visite : mercredi 06.05.2015, 9h30
visiteur : Thomas Rombaut (Artabel)

A.1.2 Général

construction :	1973-1976	bassins :	dimensions	volume	débit	T.O.	temp.
rénovation :	2006-2013						
- protection béton		- grand bassin :	50 × 21,0 m		460 m ³ /h		27 à 28°C
- toiture		- petit bassin :	16 × 12,5 m		50 m ³ /h		29°C
- carrelages		occupation :					
- installations techniques		- 180.000 nageurs par an (sans clubs ; estimation 225.000 incl. clubs)					
- cogénération		- 800 à 1.000 nageurs par jour					
- panneaux solaires thermiques							

A.1.3 Traitement de l'eau

Circulation grand bassin :

- refoulement par grilles dans les parois de 3 côtés (excepté côté moins profond)
- reprise par bondes de fond au milieu (pas dans la partie la plus profonde) et par les goulottes de débordement sur les côtés longitudinaux

Circulation petit bassin :

- refoulement par grilles dans les parois sur les côtés longitudinaux
- reprise par les goulottes de débordement des 4 côtés et par des bondes de fond dans les marches

Méthode de désinfection :

- électrolyse de sel (système VDH) avec stockage du NaOCl produit (1200 l)
- correction pH à acide sulfurique
- injection du chlore et de l'acide après les filtres et après les UV
- UV après les filtres, 2 lampes pour grand bassin et 1 lampe pour petit bassin
- tout le débit passe par les UV
- consommation de sel ca. 400 à 500 kg/semaine
- consommation d'acide ca. 160 kg/semaine
- entretien UV : 2 fois par an
- pH : grand bassin : ca. 6,9, petit bassin : ca. 7,0
- chlorure : grand bassin ca. 1050 mg/l, petit bassin ca. 940 mg/l (trop élevé vu la norme de 800 mg/l, à cause de l'électrolyse)

Filtres :

- filtres cylindriques en acier
- filtres à sable + hydroanthracite : 6 filtres grand bassin, 1 filtre petit bassin
- lavage des filtres 15 minutes + 5 minutes rinçage (premier filtrat vers égout)

A.1.4 Discussion

Avant la rénovation, la filtration était faite par des filtres à diatomées, avec l'hypochlorite de sodium comme désinfectant. La piscine disposait d'un toboggan et des tremplins, qui sont maintenant supprimés. Aujourd'hui il reste un bassin sportif de 50 m et un bassin d'instruction.

Un problème de la piscine est le joint de dilatation au milieu du grand bassin, qui fuit de manière permanente, ainsi que la goulotte de débordement qui n'est pas étanche. La fuite serait de 3% du débit de circulation.

Initialement le but de la rénovation n'était que de renouveler les installations techniques, mais par la suite des problèmes structurels nécessitaient une rénovation totale du bâtiment.

La piscine est très populaire chez les organisations régionales et nationales de natation : elle serait le bassin le plus 'rapide' en Belgique. Par conséquent, des championnats régionaux et nationaux y sont souvent organisés.

Le bâtiment dispose de 520 m² panneaux solaires thermiques sur le toit, avec 3 ballons de stockage d'eau chaude de 3000 l (9000 l en total), d'une cogénération de 100 kW (électrique) et de 3 chaudières.

Parfois les réacteurs UV tombent en panne (ca. 2 fois par an). Le temps d'intervention et de réparation est environ d'une semaine.

Les résultats des analyses de la qualité de l'eau sont positifs, à l'exception de quelques contaminations de staphylocoques (2 fois, contre-analyses OK).

Le taux de chlorure est trop élevé (ca. 1000 mg/l), ce qui n'est pas anormal vu l'utilisation d'électrolyse de sel.

A.1.5 Photos

Figure A. 1.1 : Charleroi : Grand bassin



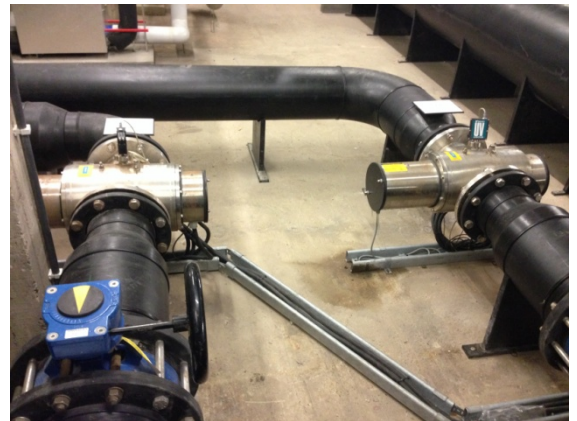
Figure A. 1.2 : Charleroi : Petit bassin



**Figure A. 1.3 : Charleroi :
Anciens et nouveaux branchements**



Figure A. 1.4 : Charleroi : Réacteurs UV



**Figure A. 1.5 : Charleroi :
Joint de dilatation grand
bassin**



Figure A. 1.6 : Charleroi : Électrolyse de sel



A.2 Visite de la piscine « Omnisport » à Gembloux

A.2.1 Coordonnées

nom : Omnisport
adresse : rue Chapelle-Dieu 48, 5030 Gembloux
n° tél. : 081/61.29.10
gestionnaire : Yves Dedecker
technicien : Philippe Journée
date de visite : jeudi 09.04.2015, 14h00
visiteur : Thomas Rombaut (Artabel)

A.2.2 Général

construction : 1971		bassins :	dimensions	volume	débit	T.O.	temp.
rénovation : 2009-2010		- grand bassin :	25 × 8 m	400 m ³	100 m ³ /h	4h00	28,5°C
- chaudières							
- panneaux solaires thermiques							
- filtres		occupation :					
- tuyauteries		- 95.000 nageurs par an (dont 60.000 écoliers)					
- pompes		- max. 100 nageurs en même temps					

A.2.3 Traitement de l'eau

Circulation :

- 2 pompes, débit de circulation normalement 100 m³/h (mais au moment de visite 76 m³/h)
- 1 grille de reprise centrale dans la partie profonde du bassin
- 6 points de refoulement : 3 du côté transversal, 3 du côté latéral dans la partie peu profonde
- système de goulotte type Bamberg, mais évacuation directement à l'égout (pas de retour vers circulation)
- pas de bac tampon

Méthode de désinfection :

- hypochlorite (NaOCl) + acide chlorhydrique (H₃O⁺Cl⁻)
- injection d'acide avant le filtre, injection de chlore après le filtre
- système classique avec citernes journalières d'hypochlorite (venant de la citerne de stockage) et d'acide (pas de grande citerne, ajouté manuellement) et pompes doseuses pour les deux produits
- consommation de chlore : ca. 15 à 20 l par jour
- l'appareil de dosage automatique se trouve dans le couloir des bureaux (type Poolpac)

Filtres :

- 2 filtres cylindriques en plastique
- filtres à sable et hydroanthracite
- contre-lavage à eau, 1 filtre par jour donc chaque filtre est rincé tous les 2 jours
- pas de bac tampon : eau de lavage vient directement du bassin (après heures d'ouverture)
- le lavage est la seule manière d'évacuer de l'eau de la piscine afin d'ajouter de l'eau fraîche
- consommation d'eau : 30 l par visiteur (ajoutée chaque soir après fermeture, après lavage des filtres, sur base du nombre réel de visiteurs)

Résultats des analyses de la qualité de l'eau :

- acceptables, jamais de fermeture à cause de la qualité de l'eau
- contrôle de l'eau par les maîtres-nageurs 2 fois par jour

2 fermetures après rénovation :

- 1 fois : panne des 2 chaudières
- 1 fois : légionellose dans les douches (dès lors : dosage chimique permanent sur eau chaude sanitaire)

A.2.4 Photos

Figure A. 2.1 : Gembloux : Vue piscine côté profond



Figure A. 2.2 : Gembloux : Vue piscine autre côté



Figure A. 2.3 : Gembloux : La seule grille d'aspiration

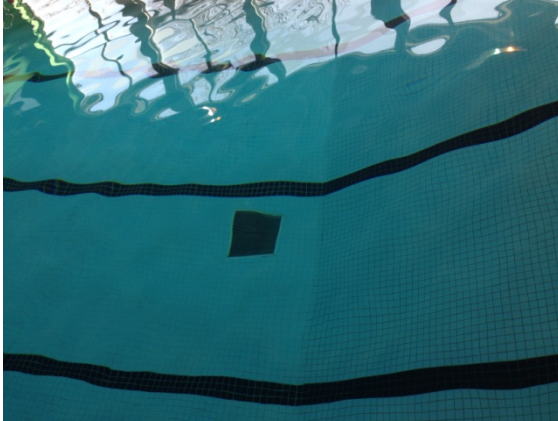
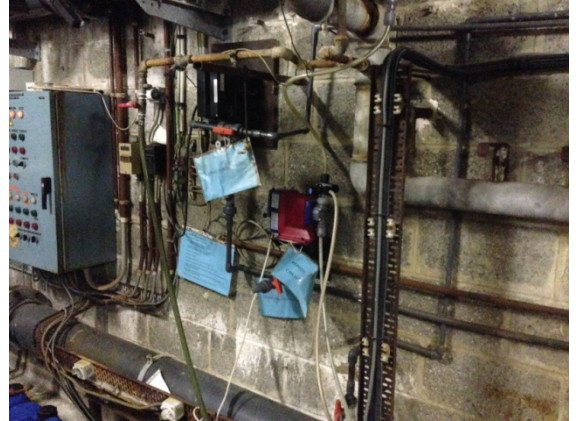


Figure A. 2.4 : Gembloux : Dosage de chlore



A.3 Visite de la piscine communale à Grivegnée (Liège)

A.3.1 Coordonnées

nom : piscine communale
adresse : rue Nicolas Spiroux 55, 4030 Grivegnée
n° tél. : 04/365.91.91
gestionnaire : Serge Lanni, directeur
date de visite : 21.04.2015, 9h00
visiteur : Thomas Rombaut (Artabel)

A.3.2 Général

construction : 1972	bassins :	dimensions	volume	débit	T.O.	temp.
rénovation : 2002-2004	- grand bassin :	25 × 15,0 m	560 m ³	120 m ³ /h	4h40	27°C
- rénovation béton	- petit bassin :	16 × 12,5 m	60 m ³	34 m ³ /h	1h45	28°C
- plafond						
- chaudières						
- filtres						
- bacs tampons						
- tuyauteries						
- pompes	occupation :					
- stockage produits chimiques	- 80.000 à 100.000 nageurs par an (dont 70% écoles et clubs)					

A.3.3 Traitement de l'eau

Circulation grand bassin :

- refoulement par grilles dans la paroi côté moins profond
- retour gravitaire par la goulotte de débordement type Bamberg (vers le nouveau bac tampon)
- et reprise aspirée directement par les pompes par les 2 grilles dans la paroi en bas de la partie plus profonde (ce qui cause un risque de sécurité : aspiration de nageurs contre les grilles)

Circulation petit bassin :

- refoulement par grilles dans les parois latérales
- retour gravitaire par les skimmers (vers les nouveaux bacs tampons)
- et reprise aspirée directement par les pompes par des bondes de fond

Le grand bassin et le petit bassin sont des systèmes séparés.

Méthode de désinfection :

- hypochlorite (NaOCl) + acide sulfurique (H₂SO₄)
- système classique avec des citernes journalières d'hypochlorite et d'acide, à partir de grandes (nouvelles) citernes de stockage dans des locaux séparés
- un automate de dosage Poolpac et des pompes doseuses pour les deux produits
- consommation de chlore ca. 80 l/jour, acide ca. 20 l/jour
- valeurs : chlore libre grand bassin ca. 0,90 mg/l, petit bassin ca. 1,95 mg/l, pH ca. 7,25 à 7,30
- consommation d'eau : 35 à 40 m³/jour

Filtres :

- grand bassin : 2 filtres cylindriques Ø1800 mm en polyester, filtres à sable + hydroanthracite
- petit bassin : 1 filtre Ø1400 mm, filtre à sable + hydroanthracite
- lavage 2 fois par semaine avant ouverture de la piscine
- l'eau de lavage est prise directement du bassin
- le bac tampon contient assez d'eau pour remplir le bassin de nouveau après le lavage
- la durée de lavage est de 10 minutes afin d'assurer l'apport (automatique) d'eau fraîche

A.3.4 Discussion

Les installations de traitement de l'eau de piscine sont totalement rénovées : nouvelles pompes, filtres, tuyauteries et même bacs tampons (en plastique) d'un grand volume, construits dans la cave.

Problèmes de qualité de l'eau : taux d'urée élevé, taux de chlore élevé dans le petit bassin (voir présence de chlore au moment de visite 1,96 mg/l).

Avant la rénovation, la piscine ne répondait pas aux exigences des conditions sectorielles. Le désinfectant était ajouté à la main.

A.3.5 Photos

Figure A. 3.1 : Grivegnée : Grand bassin



Figure A. 3.2 : Grivegnée : Petit bassin



Figure A. 3.3 : Grivegnée : Nouveaux bacs tampon



Figure A. 3.4 : Grivegnée :
Nouveau stockage produits chimiques



A.4 Visite de la piscine communale à Herve

A.4.1 Coordonnées

nom : piscine communale
adresse : rue du Stade 6, 4651 Herve
n° tél. : 087/67.81.27
gestionnaire : Henri Honnay (directeur centre sportif)
date de visite : mardi 14.04.2015, 9h30
visiteur : Thomas Rombaut (Artabel)

A.4.2 Général

construction : 1978	bassins :	dimensions	volume	débit	T.O.	temp.
rénovation : 2010	- grand bassin :	25 × 10 m	600 m ³	230 m ³ /h	2h30	27,5°C
- ventilation	- petit bassin :	8 × 10 m				27,5°C
- pompe à chaleur	occupation :					
- filtres	- 150.000 nageurs par an					
- pompes						
- stockage produits chimiques						
- ozoneur						

A.4.3 Traitement de l'eau

Circulation :

- refoulement par grilles dans la paroi du côté moins profond
- retour gravitaire par la goulotte de débordement type Wiesbaden (vers le bac tampon)
- et reprise aspirée directement par les pompes par les bondes de fond dans la partie plus profonde
- la circulation après la tour de contact se passe de façon gravitaire à cause du niveau élevé d'eau dans la tour

Méthode de désinfection :

- ozone (O₃) + hypochlorite (NaOCl) + acide sulfurique (H₂SO₄)
- injection d'acide et de chlore après le filtre et après le générateur d'ozone
- système classique avec des citernes journalières d'hypochlorite et d'acide
- à partir de grandes nouvelles citernes de stockage dans des locaux séparés
- automates de dosage Poolpac et pompes doseuses pour les deux produits
- consommation de chlore ca. 9000 l/an, d'acide ca. 400 l/an
- ozone après le filtre : un générateur d'ozone produit de l'ozone utilisant un courant électrique
- l'ozone est injecté dans l'eau de piscine dans les 2 chambres au milieu d'une tour de contact à 4 chambres
- le déversement de l'eau de la 3^{ème} à la 4^{ème} chambre fait que l'ozone résiduel peut s'échapper vers l'extérieur
- en théorie l'ozone n'est donc présent dans l'eau de piscine uniquement dans la tour

Filtres :

- 2 filtres cylindriques en acier, filtres à sable + hydroanthracite
- lavage 1 fois par semaine (les 2 filtres au même jour) avant l'ouverture de la piscine
- le lavage est exécuté automatiquement après démarrage manuel (durée 20 min.)
- l'eau de lavage vient directement du grand bassin
- ceci cause un abaissement du niveau de l'eau de 5 à 6 cm sous le niveau de débordement
- après un lavage, il faut 2 jours pour à nouveau atteindre un débordement normal

A.4.4 Discussion

La piscine de Herve a toujours disposé d'une installation qui produit de l'ozone. Les résultats de cette présence étaient la faible teneur en chlorures dans l'eau de piscine et en chloramines dans l'air, et l'absence de l'odeur de chlore.

Herve n'était pas la seule commune qui a utilisé un générateur d'ozone dans sa piscine. Les piscines de Saint-Servais (Namur) et Embourg travaillaient également avec l'ozone, mais ont abandonné cette méthode à cause des problèmes avec la tour de contact. Les thermes de Spa utilisent toujours l'ozone, mais dans une installation assez différente de celle de Herve (sans tour de contact mais avec des filtres spéciaux).

À la piscine de Herve, l'ancien ozoneur (un grand appareil qui fonctionnait avec 28 tubes en verre qui étaient sensibles aux dégâts et qui donc nécessitaient beaucoup d'entretien) était remplacé par un nouvel appareil plus fonctionnel. Le local technique est dès lors également muni d'un détecteur d'ozone.

Après le renouvellement de l'installation de l'ozone, la consommation d'eau a fortement baissé.

Le générateur d'ozone produit de l'ozone gazeux à base d'oxygène comprimé grâce à un courant électrique. L'ozone gazeux est dissous dans de l'eau de ville fraîche, qui sert également de refroidissement du générateur d'ozone vu que cette réaction dégage de la chaleur.

À l'exception du générateur lui-même, l'installation a besoin d'une grande construction à plusieurs chambres (appelée la tour de contact), où l'eau ozonée peut être ajoutée à l'eau de piscine.

L'eau entre dans la tour par la première chambre. Dans la deuxième et la troisième chambre, l'ozone est injecté et le caractère désinfectant de l'ozone peut y faire son travail. La transition de la troisième à la quatrième chambre se fait par un déversement. Ainsi l'ozone résiduel qui n'a pas réagi peut s'échapper de l'eau de piscine sous forme gazeuse vers l'extérieur. (Ce procédé de désazonation est incertain : le risque existe qu'une partie de l'ozone reste présent dans l'eau de piscine.)

L'ozone cause donc une action locale : il est présent dans l'eau de piscine uniquement dans la tour de contact. Pour cette raison, il faut l'apport d'un désinfectant comme l'hypochlorite par après afin d'avoir une désinfection rémanente dans l'eau du bassin.

Toute l'eau qui est ajoutée au système de piscine entre par le générateur d'ozone. Le débit de passage par le générateur est maintenu à 24 l/min. Le générateur ne fonctionne pas tout le temps, mais environ 12 h par jour. De cette manière l'apport d'eau fraîche approche les 30 litres obligatoires par nageur par jour.

L'horaire de fonctionnement de l'ozoneur est basé sur la fréquentation de la piscine par les nageurs sportifs avancés : ils se plaignent de difficultés respiratoires et d'une toux sèche lors de gros efforts. C'est pourquoi le générateur ne fonctionne pas pendant les entraînements sportifs. Ceci prouve que de l'ozone reste présent dans l'eau de piscine comme nous le pensons, ce qui comporte un grand risque pour la santé des nageurs.

La plupart du public n'a pas de plaintes et apprécie au contraire l'absence de l'odeur de chlore dans le hall des bassins.

En général, les résultats d'analyse de la qualité de l'eau sont conformes, mais quelques fois par année des taux élevés de bactéries (entérocoques, staphylocoques), d'urée (2 à 3 mg/l) et de légionellose sont constatés. Cependant ces problèmes ne sont jamais de telle gravité qu'ils causent la fermeture de la piscine.

Parfois le résultat n'est pas conforme à cause d'une teneur trop basse de chlore actif, mais les autres paramètres de qualité de l'eau restent dans les limites.

La plupart des conduites d'eau de piscine sont en acier. Les conduites renouvelées autour des nouveaux filtres et entre les filtres et le tour de contact sont en inox. Les nouveaux filtres ont une hauteur de corps limitée ce qui soulève des questions concernant la qualité de filtration. De plus l'entrée et le retour des raccordements des conduites de circulation aux filtres se trouvent très proche les uns des autres (voir Figure A. 4.6). Dans la cave autour du bassin l'on voit de nombreux endroits où l'eau a suinté à travers les plages ou les parois des bassins. Les conduites en acier et leurs supports sont corrodés mais apparemment les dégâts n'ont pas encore causé de problèmes.

On voit que la rénovation des techniques de traitement de l'eau a demandé un investissement important et ce alors que l'installation présente n'est pas une solution sûre ni optimale pour la réduction du taux de chlore dans l'eau de natation. Ce cas démontre que la conception d'une rénovation d'une piscine doit de préférence être exécutée par des bureaux qui ont une bonne connaissance de la problématique de désinfection de l'eau de natation.

A.4.5 Photos

Figure A. 4.1 : Herve : Hall du bassin



Figure A. 4.2 : Herve : Ozonneur



Figure A. 4.3 : Herve : Tour de contact de l'ozonation



Figure A. 4.4 : Herve : Ozonneur (détail)



Figure A. 4.5 : Herve : Anciennes tuyauteries corrodées



Figure A. 4.6 : Herve : Nouvelles tuyauteries en inox



A.5 Visite de la piscine du « Blocry » à Louvain-la-Neuve

A.5.1 Coordonnées

nom : piscine du Blocry
 adresse : rue du Castinia, 1348 Louvain-la-Neuve
 n° tél. : 010/48.38.50
 gestionnaire : Marc Jeanmoye (directeur), Grégory Lemlin (directeur adjoint)
 date de visite : mercredi 01.04.2015, 13h00
 visiteurs : Jan De Wit (Artabel), Ludo Feyen (Labo Derva), Thomas Rombaut (Artabel)

A.5.2 Général

construction :	1980	bassins :	dimensions	volume	débit	T.O.	temp.
rénovation :	1996	- piscine	25 × 15 m	800 m ³	300 m ³ /h	2h40	27,0°C
- filtres		haute :					
- tuyauteries		- piscine	25 × 15 m	600 m ³	300 m ³ /h	2h00	28,5°C
		basse :					
- pompes		- pataugeoir					32,0°C
		e :					
		occupation :					
		- 1.000 à 1.500 visiteurs par semaine					

A.5.3 Traitement de l'eau

Méthode de désinfection :

- système Velas-Casanova, cuivre-argent (dès le début)
- le cuivre est ajouté avant le filtre, l'argent après le filtre
- correction du pH à l'acide sulfurique H₂SO₄
- système configuré au début, géré par habitude, jamais vérifié
- durée de vie d'une batterie de cuivre : ca. 3 mois

Filtres :

- 3 filtres cylindriques Ø2500 mm en acier par système
- filtres à sable (2 granulométries)
- vitesse de filtration 20 m/h
- lavage à air + eau, 1 fois par semaine
- consommation d'eau : 30 m³ par bassin par semaine

Résultats d'analyse de l'eau :

- il y a 10 à 15 ans : mauvais résultats, maintenant beaucoup mieux sans changements
- seulement 3 paramètres contrôlés (E. coli, coliformes, micro-organismes revivifiables)
- (1 mois sur 2 dépassent les normes pour les autres paramètres ?)

A.5.4 Discussion

Le système fonctionne utilisant des paramètres qui ont été configurés au début de l'exploitation de la piscine et qui n'ont jamais été adaptés par après :

- taux de cuivre : ca. 640 µg/l
- taux d'argent : ca. 3 à 4 µg/l
- pH : 7,6 à 8

Ces paramètres restent indépendants de l'occupation des bassins.

Le dosage de cuivre et d'argent n'est jamais effectué en même temps. Le fonctionnement des batteries (donc l'apport des métaux) est contrôlé par des horloges de régulation.

Le personnel contrôle quotidiennement la température de l'eau, le pH, la turbidité (vision du fond) et le taux de cuivre.

En ce moment une étude est en cours afin d'évaluer les conséquences de variations du pH et du taux de cuivre et d'argent pour la qualité de l'eau. Le but est de trouver un optimum de ces paramètres et donc d'adapter les valeurs des paramètres configurées au début.

Jusqu'à présent, la piscine a l'obligation d'analyser seulement 3 paramètres de qualité de l'eau :

- les bactéries coliformes
- E. coli
- les micro-organismes revivifiables à 37°C

Les résultats sont acceptables.

(Il y a 10 à 15 ans, la qualité de l'eau était souvent inacceptable (> 50.000 micro-organismes revivifiables). Maintenant on retrouve des résultats beaucoup meilleurs, néanmoins l'installation ou les paramètres n'ont pas changé.)

Le permis d'environnement a expiré en 2015 et ensuite tous les paramètres repris dans les conditions sectorielles doivent être contrôlés. Au moment de la visite, le gestionnaire craignait ne pas réussir à satisfaire aux exigences 1 mois sur 2 après l'application des exigences pour tous les paramètres (à cause des staphylocoques, Pseudomonas aeruginosa, entérocoques).

L'influence du système de désinfection sur la qualité de l'eau :

- le cuivre n'a pas d'influence sur les staphylocoques
- l'argent n'a pas d'influence sur les entérocoques mais si sur les staphylocoques
- le taux de nitrate est de 50 mg/l, ceci n'est pas lié aux autres paramètres
- le taux d'urée n'est pas contrôlé

Le cuivre est ajouté avant le filtre, l'argent après le filtre. Le cuivre sert de floculant et il est donc largement capté par le filtre avec la pollution. Ca. 85% du cuivre resterait dans le filtre. Les autres 15% restent dissous dans le bassin.

Un problème particulier est la présence de cuivre dans l'eau de lavage des filtres. Pour cette raison, l'eau de lavage est captée dans un bac tampon, où les particules (liées au cuivre) peuvent précipiter. L'eau qui est ainsi libérée du cuivre est alors rejetée à l'égout et les précipitations peuvent sécher et sont ensuite évacuées.

Des analyses par l'UCL démontrent que toutes les bactéries dans ces précipitations sont en effet tuées. Cela veut dire qu'également le filtre ne contient non plus des bactéries vivantes.

Le cuivre précipité est lié à toutes sortes de matière et par conséquent il n'est pas possible de le libérer de nouveau sur place.

Quelques aspects du système et du bâtiment ont des effets néfastes sur la qualité de l'eau :

- Il n'y a pas de pédiluve.
- La goulotte de débordement ne fonctionne que dans le cas où il y a un certain nombre de nageurs dans le bassin. Sinon la circulation de l'eau est effectuée uniquement par l'aspiration dans le sol de la cuve.
- La pompe de circulation qui aspire l'eau du bac tampon ne démarre que lorsqu'un certain niveau dans le bac tampon est atteint.
- Pour le lavage des filtres, l'eau est aspirée directement de la cuve du bassin haut (également pour le lavage des filtres de l'autre bassin) parce que ce bassin a le plus grand volume et l'apport d'eau fraîche dans ce bassin se sent moins que dans le bassin de moindre volume. Par conséquent le niveau de l'eau dans ce bassin baisse après le lavage, en empêchant encore plus le débordement. De plus l'eau du bassin bas est moins rafraîchie, parce que le grand volume d'eau qui est rejeté en lavant les filtres est toujours rajouté dans le bassin haut.

Le système de la pataugeoire ne dispose pas d'une correction du pH. L'eau de ce bassin est rejetée et remplacée chaque semaine.

A.5.5 Photos

Figure A. 5.1 : Louvain-la-Neuve : Vue piscine haute



Figure A. 5.2 : Louvain-la-Neuve : Batteries de cuivre piscine haute



Figure A. 5.3 : Louvain-la-Neuve : Batteries de cuivre patageoire



Figure A. 5.4 : Louvain-la-Neuve : Batterie d'argent patageoire

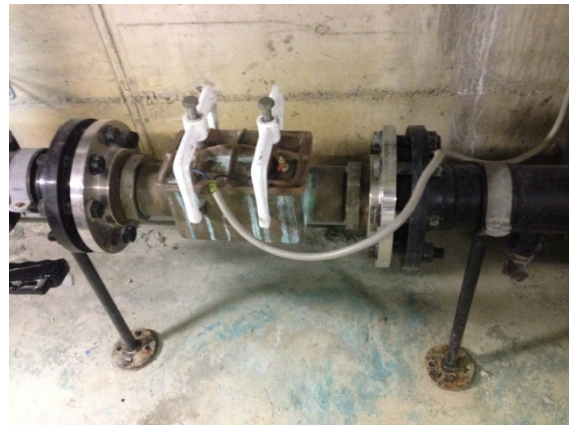
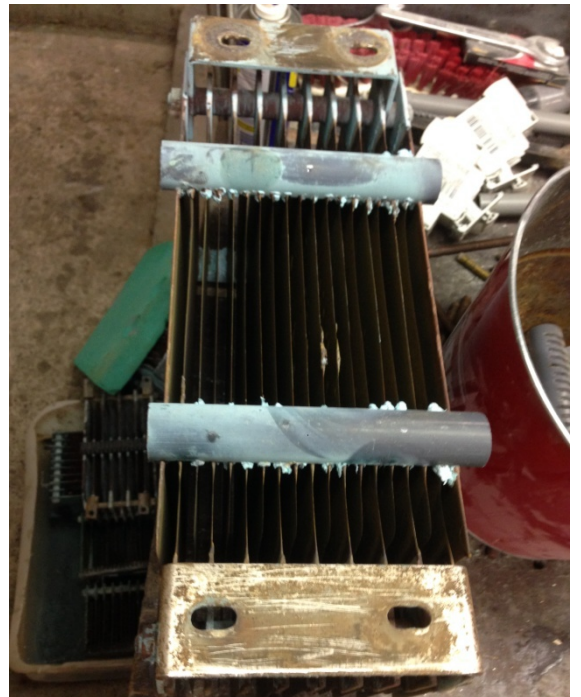


Figure A. 5.5 : Louvain-la-Neuve : Nouvelles plaques de cuivre



Figure A. 5.6 : Louvain-la-Neuve : Plaques de cuivre usées



A.6 Visite de la piscine communale à Marche-en-Famenne

A.6.1 Coordonnées

nom : piscine communale
adresse : chaussée de l'Ourthe 74, 6900 Marche-en-Famenne
n° tél. : 084/32.0090
gestionnaire : Jean-François Hérin
technicien : Claudy Parmentier
date de visite : vendredi 17.04.2015, 9h00
visiteur : Thomas Rombaut (Artabel)

A.6.2 Général

construction : 1982	bassins :	dimensions	volume	débit	T.O.	temp.
rénovation : 2012	- grand bassin :	25 × 15 m	870 m ³	4h00		28°C
- carrelage	- petit bassin :	8 × 15 m	77 m ³	2h30		29°C
- menuiserie						
- vestiaires						
- sanitaire						
- chaudières						
- ventilation						
- tuyauteries						
- pompes						
- filtres						
- bac tampon	occupation :					
- stockage produits chimiques	- 95.000 à 110.000 nageurs par an					

A.6.3 Traitement de l'eau

Circulation grand bassin :

- refoulement par grilles dans les parois
- retour gravitaire par la goulotte de débordement type Finlande (vers l'ancien bac tampon)
- et reprise aspirée directement par les pompes par les 3 bondes de fond dans la partie plus profonde (ce qui cause un risque de sécurité : aspiration de nageurs contre les grilles)

Circulation petit bassin :

- refoulement par grilles dans les parois latérales
- retour gravitaire par la goulotte de débordement type Finlande (vers les nouveaux bacs tampons)
- et reprise aspirée directement par les pompes par les 3 bondes de fond dans la partie plus profonde (ce qui cause un risque de sécurité : aspiration de nageurs contre les grilles)

Le grand bassin et le petit bassin sont des systèmes séparés.

Méthode de désinfection :

- hypochlorite (NaOCl) + acide sulfurique (H₂SO₄)
- système classique avec citernes journalières d'hypochlorite et d'acide
- à partir de grandes nouvelles citernes de stockage dans des locaux séparés
- un automate de dosage Poolpac et pompes doseuses pour les deux produits
- consommation de chlore ca. 10.000 l/an, d'acide ca. 1000 l/an
- valeurs : Cl grand bassin ca. 0,80 mg/l, pH ca. 7,20 à 7,30
- consommation d'eau : 25 à 30 m³/jour

Filtres :

- grand bassin : 2 filtres cylindriques Ø1800 mm en polyester, filtres à sable
- petit bassin : 1 filtre Ø1200 mm, filtre à sable + hydroanthracite
- lavage 3 fois par semaine, avant l'ouverture de la piscine
- l'eau de lavage est prise directement du bassin
- la durée du lavage est limitée à 1 minute afin de ne pas perdre trop d'eau (pas plus de 2 cm) du bassin
- vu que les filtres sont lavés fréquemment, un lavage de durée courte est possible

A.6.4 Discussion

La commune envisageait d'exécuter la rénovation en différentes phases (d'abord les carrelages des plages et des bassins et les travaux gros-cœuvres, par la suite les techniques spéciales), mais à cause d'une explosion en cave, il fallait tout de suite remplacer les installations du traitement de l'eau et du traitement de l'air.

L'armature du béton était corrodée par l'air chloré qui était présent dans la cave, surtout à cause de l'ancien bac tampon non couvert se situant à côté de la cuve du grand bassin. Durant la rénovation, le bac tampon a été fermé et le béton réparé et protégé par des électrodes. En plus des ouvertures de ventilation vers l'extérieur ont été ajoutées dans les parois de la cave. Maintenant on ne sent plus la présence du chlore dans l'air en cave autour du bassin.

Les nouveaux groupes de traitement d'air Menerga ont également amélioré la qualité de l'air dans le hall des bassins. Le taux de chloramines dans l'air est en-dessous de 0,60.

Réseau d'eau de nettoyage avec dosage de désinfectant (peroxyde d'hydrogène) et de savon.
Dosage de désinfectant dans l'eau des douches.

Pas assez de 'débordement' : pas assez de perte d'eau du système du petit bassin. « Le bac tampon aurait dû être plus petit » dit le technicien. Il vide le bac tampon chaque semaine et le remplit à nouveau d'eau fraîche. Les filtres du grand bassin ont une hauteur limitée. La distance intermédiaire entre l'entrée et le retour des conduites de circulation au niveau des raccordements au filtre est limitée (voir Figure A. 6.3), ce qui indique un lit de filtration trop bas et une circulation perturbée dans le filtre.

A.6.5 Photos

Figure A. 6.1 : Marche-en-Famenne : Hall des bassins



Figure A. 6.2 : Marche-en-Famenne : Grilles d'aspiration

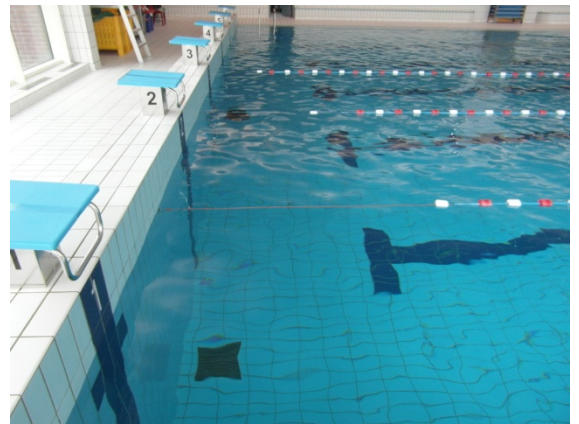


Figure A. 6.3 : Marche-en-Famenne :
Traitement de l'eau grand bassin



Figure A. 6.4 : Marche-en-Famenne :
Traitement de l'eau petit bassin



A.7 Visite de la piscine « Les Dauphins » à Mouscron

A.7.1 Coordonnées

nom : Les Dauphins
adresse : rue du père Damien 2, 7700 Mouscron
n° tél. : 056/85.49.50
gestionnaire : Alain Denys
date de visite : lundi 13.04.2015, 9h00
visiteur : Thomas Rombaut (Artabel)

A.7.2 Général

construction : 1989	bassins :	dimensions	volume	débit	T.O.	temp.
modifications : 2007-2012	- grand bassin :	25 × 15 m		620 m ³ /h	3h00	28°C
- ventilation	- petit bassin :	25 × 10 m		172 m ³ /h	1h30	29°C
- carrelage des plages	- pataugeoire :			10 m ³ /h		34°C
- zone douches	- bassin de réception du toboggan 'intérieure'					
- entrée, caisse	- bassin ext. :	25 × 8 m		140 m ³ /h	1h00	26°C
- vestiaires	- encore deux toboggans avec leur propre bassin de réception					
- contrôle d'accès	occupation :					
- réacteurs UV	- 405.000 nageurs par an					
- filtres granulés de verre polis	- 1200 à 1500 nageurs/jour (en été : jusqu'à 2500 nageurs/jour)					

A.7.3 Traitement de l'eau

Circulation :

- refoulement par grilles dans la paroi du côté moins profond
- retour gravitaire par la goulotte de débordement
- et reprise aspirée directement par les pompes par les bondes de fond dans la partie plus profonde

Méthode de désinfection :

- hypochlorite (NaOCl) + acide sulfurique (H₂SO₄)
- injection d'acide avant le filtre, de chlore après le filtre
- système classique avec citernes journalières d'hypochlorite et d'acide
- pompes doseuses pour les deux produits
- pas de grandes citernes, les produits sont ajoutés manuellement aux citernes journalières
- consommation de chlore ca. 60 l par jour
- après les filtres se trouvent des lampes UV

Filtres :

- filtres cylindriques en acier, filtres à granulés de verre polis

A.7.4 Discussion

Les appareils de dosage ont été remplacés par des appareils avec une régulation proportionnelle. Les appareils précédents n'avaient qu'une régulation on/off, ce qui causait de grandes fluctuations des niveaux de chlore dans l'eau. Les sondes d'échantillon ont été déplacées vers des endroits plus proches du bassin. Le chlore gazeux a été remplacé par l'hypochlorite pour raisons de sécurité.

L'installation des lampes UV a eu pour conséquence que le taux de chlore a fortement baissé. L'objectif dans cette piscine est de maintenir le taux du chlore combiné en-dessous de 0,5 mg/l. Pendant la nuit, les lampes UV fonctionnent à 50% de leur puissance et ce jusqu'à 6h le matin. Elles s'enclenchent lorsque le taux du chlore combiné augmente au-dessus de 0,45 mg/l. Cette situation se produit généralement pendant l'après-midi, dépendant de l'occupation des bassins. Depuis l'installation des lampes UV, les résultats des analyses de qualité de l'eau sont beaucoup meilleurs qu'avant, où les limites n'étaient que justement respectées. La présence des chloramines a fortement diminué. En plus, la consommation d'eau fraîche a baissé de 140 m³/jour à 50 m³/jour.

Vu que les lampes UV ne fonctionnent pas tout le temps et que leur puissance est limitée, elles n'ont pas contribué à une grosse augmentation de la consommation électrique. Ceci contrairement à la rénovation du système de ventilation, qui a apporté une hausse de plus de 25% de la consommation électrique. Uniquement le déclenchement des lampes cause un courant électrique très élevé : le câble d'alimentation électrique est dimensionné à 95A.

Alors que les résultats s'étaient fortement améliorés et que le taux de chloramines s'était réduit, on voulait diminuer l'odeur de chlore qui était toujours présente dans le hall du bassin et dans la cave technique. Après avoir visité d'autres piscines en France, on a remplacé le sable comme matière filtrante dans les filtres par des granulés de verre polis (en 2 différentes granulométries). Après ce changement, l'odeur de chlore a presque disparu selon les commentaires du personnel et des visiteurs. La durée de vie du verre comme matière filtrante est de 15 ans.

Le personnel fait 4 contrôles de la qualité de l'eau par jour : 3 fois dans la cave technique et 1 fois dans le bassin. Une fois par semaine, le taux d'urée dans l'eau est contrôlé.

Une petite partie du débit de circulation est menée vers un bac séparé qui est utilisé pour le lavage des filtres. Avant que l'eau n'entre dans ce bac de lavage, la chaleur est récupérée par échange de chaleur vers l'eau fraîche qui est ajoutée au système. De cette manière on ne perd que peu d'énergie thermique durant le lavage des filtres. L'apport d'eau fraîche est fait à l'aide d'un faible débit qui est presque permanent. L'eau de lavage des filtres est également utilisée pour le rinçage des toilettes.

Un problème qui se pose à nouveau est le volume limité du bac tampon. Le débordement du bac tampon du grand bassin causerait une perte d'eau d'à peu près 10 m³/jour. Un volume de stockage complémentaire devra résoudre ce problème dans le futur.

A.7.5 Photos

Figure A. 7.1 : Mouscron : Grand bassin



Figure A. 7.2 : Mouscron : Petit bassin



Figure A. 7.3 : Mouscron : Bassin extérieur



Figure A. 7.4 : Mouscron : Granulés de verre polis



Figure A. 7.5 : Mouscron : Réacteur UV petit bassin



Figure A. 7.6 : Mouscron : Réacteur UV pataugeoire

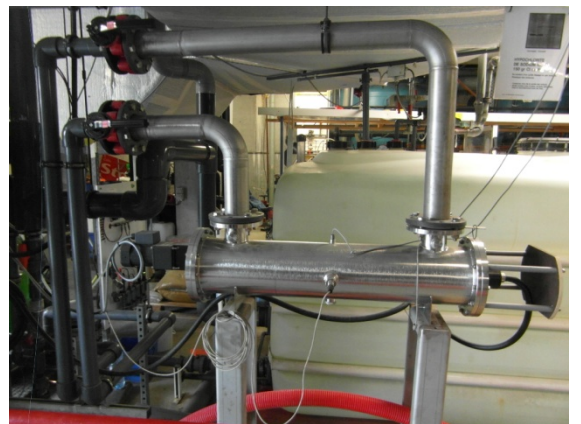


Figure A. 7.7 : Mouscron : Citernes journalières



Figure A. 7.8 : Mouscron : Stockage produits chimiques



Figure A. 7.9 : Mouscron : Ancien mesurage Cl + pH

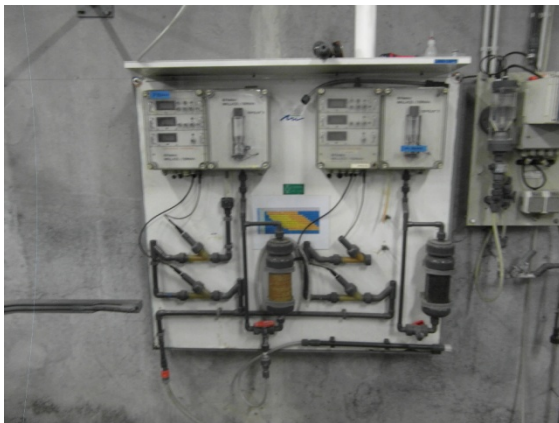


Figure A. 7.10 : Mouscron : Nouveau mesurage Cl + pH



A.8 Visite de la piscine communale à Salzennes (Namur)

A.8.1 Coordonnées

nom : piscine de Salzennes
adresse : place André Ryckmans 18, 5000 Namur
n° tél. : 081/24.64.91
gestionnaire : Sylvie Chamberlan
date de visite : mercredi 15.04.2015, 14h00
visiteur : Thomas Rombaut (Artabel)

A.8.2 Général

construction :	1957	bassins :	dimensions	volume	débit	T.O.	temp.
rénovations :	1990-2003						
- <1990 : traitement de l'eau		- grand bassin :	25 × 14,5 m	800 m ³		4h00	27,5°C
- 1993 : peinture		- petit bassin :	9 × 14,0 m	100 m ³		2h30	27,5°C
- 1995 : jacuzzis, hammam							
- 1997 : carrelage							
- 2000 : toiture, fenêtres							
- 2000 : chauffage		occupation :					
- 2003 : toiture hall bassins		- 160.000 à 180.000 nageurs par an					

A.8.3 Traitement de l'eau

Circulation grand bassin :

- refoulement par grilles dans la paroi du côté moins profond
- retour gravitaire par la goulotte de débordement type Bamberg (vers le bac tampon)
- reprise aspirée directement par les pompes par les bondes de fond dans la partie plus profonde

Circulation petit bassin :

- idem grand bassin
- reprise centrale dans le bassin (partie plus profonde)

Le grand bassin et le petit bassin sont servis par le même système de circulation

Méthode de désinfection :

- hypochlorite (NaOCl) + acide sulfurique (H₂SO₄)
- injection d'acide et de chlore après le filtre
- système classique avec des citernes journalières d'hypochlorite et d'acide
- à partir de grandes nouvelles citernes de stockage dans des locaux séparés
- un automate de dosage Poolpac et pompes doseuses pour les deux produits
- consommation de chlore ca. 30 l/jour, d'acide ca. 10 l/jour
- valeurs : chlore libre grand bassin ca. 0,90 mg/l, petit bassin ca. 1,30 mg/l, pH ca. 7,25
- consommation d'eau fraîche : ca. 30 m³/jour

Filtres :

- 2 filtres (assez vieux) cylindriques en acier, filtres à diatomées
- lavage 1 fois par semaine (les 2 filtres au même jour) avant ouverture de la piscine
- le lavage se fait par le passage gravitaire de l'eau à travers le filtre
- la consommation de l'eau pour le lavage est donc très limitée
- l'eau écoulée emporte les diatomées utilisées vers un bac de stockage
- ce bac est vidé tous les 6 mois, les diatomées sont récupérées par une entreprise spécialisée
- les diatomées doivent donc être remplacées donc après chaque lavage des filtres
- les chaussettes dans les filtres ont une durée de vie d'environ 5 ans

A.8.4 Discussion

Parfois on rencontre des problèmes de qualité de l'eau (urée, staphylocoques, entérocoques).

Le chlore a tendance à se diriger plus vers le petit bassin que vers le grand (pas de réglage de débits entre les bassins).

Les filtres à diatomées n'étaient pas un choix du gestionnaire ; ils étaient présents dès la construction de la piscine. On envisage un remplacement par des filtres à sable quand une rénovation sera mise en place.

Les chaudières servent aussi le centre sportif avoisinant.

Axima-Cofely a fait la maintenance pendant 15 ans en garantie totale jusqu'à 2011. Ils ont entre autre remplacé les chaudières. Dès 2011 TPF fait la maintenance mais sans garantie totale. Ils sont sur place tous les jours le matin.

A.8.5 Photos

Figure A. 8.1 : Namur : Grand bassin



Figure A. 8.2 : Namur : Petit bassin



Figure A. 8.3 : Namur : Filtres à diatomées



Figure A. 8.4 : Namur : Large cave technique



A.9 Visite de la piscine « Nausicaa » à Waterloo

A.9.1 Coordonnées

nom : Nausicaa
adresse : rue Théophile Delbar 33, 1410 Waterloo
n° tél. : 02/354.12.70
gestionnaire : Michel Swolfs
date de visite : lundi 11.05.2015, 10h30
visiteur : Thomas Rombaut (Artabel)

A.9.2 Général

construction : 1974	bassins :	dimensions	volume	débit	T.O.	temp.
rénovation : 2010-2011	- grand bassin :	25 × 12,5 m	655 m ³		3h40	28°C
- filtres (2003)	- petit bassin :	10 × 10,0 m	90 m ³		<2h00	28°C
- béton des cuves et des plages	- toboggan (à l'intérieur)					
- carrelage						
- chauffage						
- cogénération						
- pompe à chaleur	occupation :					
- ventilation	- 185.000 nageurs par an					
- tuyauteries	- ca. 500 nageurs par jour (en été : jusqu'à 2.000 nageurs par jour)					
- pompes	- ouvert tous les jours de 6h à 22h30, ne ferme que 2 semaines par an					
- échangeur de chaleur						
- nouveau bac tampon						
- réacteurs UV						

A.9.3 Traitement de l'eau

Circulation grand bassin :

- refoulement par grilles dans les parois
- retour gravitaire par la goulotte de débordement des côtés longitudinaux
- reprise aspirée directement par les pompes par deux bondes de fond (30%) dans la partie plus profonde
- l'eau du pédiluve vient du grand bassin et est mise à l'égout en permanence
- le bac tampon se remplit automatiquement

Circulation petit bassin :

- refoulement par grilles dans les parois
- retour gravitaire par la goulotte de débordement des 4 côtés
- reprise aspirée directement par les pompes par une bonde de fond (30%)

Méthode de désinfection :

- hypochlorite (NaOCl) + acide sulfurique (H₂SO₄)
- injection d'acide avant le filtre, de chlore après le filtre, séparément pour le grand et le petit bassin
- système classique avec des citernes journalières d'hypochlorite (ca. 500 l – trop grande) et d'acide
- pas de grandes citernes, les produits sont ajoutés manuellement aux citernes journalières
- pompes doseuses pour les deux produits
- consommation de chlore : ca. 60 l par jour (en été : ca. 160 l/jour), d'acide : ca. 4 l par jour
- après les filtres se trouve la lampe UV à basse pression
- le réacteur UV fonctionne tout le temps pour 100% du débit

Filtres :

- 2 filtres cylindriques en polyester, filtres à sable + hydroanthracite
- les filtres sont lavés 1 fois par semaine
- l'eau de lavage vient directement du grand bassin
- temps de lavage : ca. 5 minutes
- après le lavage, il faut 20 minutes pour remonter l'eau du grand bassin à son niveau normal
- consommation d'eau fraîche ca. 25 m³/semaine (ca. 7.000 m³/an incl. douches)

A.9.4 Discussion

Auparavant la piscine de Waterloo fonctionnait avec le système cuivre-argent comme méthode de désinfection. Ce système a été remplacé par le système classique utilisant l'hypochlorite de sodium et l'acide sulfurique. Les filtres à sable en acier ont été remplacés par des filtres à sable et à hydroanthracite en polyester.

Le béton des cuves et des plages a tant souffert qu'on a retiré totalement les dalles des plages et réparé le béton des cuves. De cette manière il y avait la possibilité d'installer un nouveau bac tampon, plus grand, en béton à côté de la cuve.

Un aspect particulier de la piscine est la toiture. Celle-ci peut être retirée totalement en 5 minutes à l'aide de rails quand il fait beau.

D'après le gestionnaire, le taux de chlore dans les bassins a diminué après l'installation du système UV (à basse pression), mais la consommation totale de chlore a augmenté. Le taux de chlore libre se situe entre 0,7 et 0,8 mg/l.

A.9.5 Photos

Figure A. 9.1 : Waterloo : Grand bassin



Figure A. 9.2 : Waterloo : Petit bassin



Figure A. 9.3 : Waterloo : Réacteur UV



Figure A. 9.4 : Waterloo : Stockage produits chimiques



A.10 Visite de la piscine « Lippe Bad » à Lünen (Allemagne)

A.10.1 Coordonnées

nom : Lippe Bad
adresse : Konrad-Adenauer-Straße 28, 44534 Lünen, Allemagne
n° tél. : +49 2306/70.76.60
gestionnaire : Dr. Gerd Koch (Stadtwerke Lünen, service public de la ville)
date de visite : jeudi 11.06.2015, 10h30
visiteur : Jürgen Elgg (Wassertechnik Wertheim, traitement de l'eau),
Olaf Ahrens (Eneratio, conception technique)
Jan De Wit (Artabel), Jan Haegeman (Artabel), Thomas Rombaut (Artabel),

A.10.2 Général

construction : 2011	bassins :	dimensions
	- grand bassin :	25 × 13 m
	- petit bassin :	25 × 10 m
	- bassin d'instruction :	100 m ²
	- pataugeoire :	175 m ²
	occupation :	
	- 220.000 nageurs par an	

A.10.3 Traitement de l'eau

Circulation :

- jour : 50% retour par la goulotte de débordement et 50% par les bondes de fond
- nuit : 100% par les bondes de fond
- pompes : moteurs à aimants permanents

Méthode de désinfection :

- électrolyse de sel dans le courant principal, UV
- teneur en sel 0,38%
- réserve de NaOCl ; correction pH avec H₂SO₄
- consommation de solution saline ca. 138.000 kg par an = ca. 2.650 kg par semaine, d'acide ca. 4 l par jour
- réacteurs UV dans le courant principal, lampes à moyenne pression

Filtres :

- « pré-filtres » + ultrafiltration (UF) + charbon actif
- lavage des filtres UF : 2 fois par jour (automatiquement), lavage chimique + lavage mécanique
- lavage à air des filtres à charbon actif
- consommation d'eau fraîche ca. 53 m³ par jour
- pertes de pression à travers des filtres : pré-filtres 0,15 bar, UF 0,35 bar

A.10.4 Discussion

L'eau de lavage des filtres est réutilisée pour le rinçage des toilettes (après UF) ou comme eau de piscine (après UF, charbon actif, UF de nouveau) ou rejetée à l'égout (après UF et charbon actif afin d'éliminer les AOX).

Les lampes UV éliminent le chlore combiné, mais il existe encore le risque de formation de THM. Les THM sont éliminés par le charbon actif.

Conditions de l'air : 55% HR, dans quelques salles jusqu'à 34°C. Pendant la nuit, on laisse augmenter l'humidité relative jusqu'au point où il n'y a pas encore de condensation (ca. 70% HR).

À cause de l'utilisation d'UF, le débit de circulation est moins élevé. L'évaporation est donc limitée grâce à l'UF mais également grâce au type de goulotte de débordement. (En Allemagne, le débit minimal de circulation dépend du type de filtration utilisé. L'UF nécessite que la moitié du débit comparé à une filtration à sable.)

La piscine dispose de deux cogénérations : une au gaz naturel et une au biogaz. La puissance totale est de 520 kW électrique et de 700 kW thermique. Les cogénérations couvrent 50% de la demande en chaleur de la piscine.

En plus la toiture est couverte de 90 kW de panneaux photovoltaïques. À l'extérieur l'on trouve également deux pylônes 'trackers' d'une puissance de 10 kW avec des panneaux PV qui suivent le soleil.

A.10.5 Photos

Figure A. 10.1 : Lünen : Grand bassin



Figure A. 10.2 : Lünen : Petit bassin



Figure A. 10.3 : Lünen : Bassin d'instruction



Figure A. 10.4 : Lünen : Pataugeoire



Figure A. 10.5 : Lünen : préfiltres



Figure A. 10.6 : Lünen : ultrafiltres



Figure A. 10.7 : Lünen : filtres à charbon actif



Figure A. 10.8 : Lünen : ultrafiltration eau sanitaire



Figure A. 10.9 : Lünen : bac tampon en plastique



Figure A. 10.10 : Lünen : Citernes journalières



ANNEXE B : RÉSULTATS DES ANALYSES DE LA QUALITÉ DE L'EAU VISANT LES SOUS-PRODUITS DE DÉSINFECTION

Dans les 9 piscines publiques wallonnes sélectionnées pour cette étude, quelques paramètres supplémentaires de qualité de l'eau de piscine sont analysés (voir §3.2.4). La législation n'impose pas l'analyse mensuelle de ces paramètres. Cependant ils donnent une image plus complète de la qualité de l'eau de piscine et surtout de la présence des sous-produits indésirables de désinfection. Ces résultats sont analysés dans §3.2.4 du texte précédent. Ci-dessous quelques valeurs limites sont reprises qui figurent dans les normes et les textes législatifs. La dernière colonne donne la somme des concentrations des trihalométhanes (chloroforme, bromodichlorométhane, dibromochlorométhane, bromoforme) mais exprimée en chloroforme.

Tableau B. 1: Résultats d'analyse des paramètres supplémentaires de qualité de l'eau

paramètre		chlorate	bromate	bromochloro- méthane	chloroforme	bromodichloro- méthane	dibromochloro- méthane	bromoforme	trihalométhanes (chloroforme)
piscine	unité	µg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
Charleroi		< 5,0	96	< 1	2,33	2,59	2,59	1,61	0,006
		7,9	13	< 1	9,73	1,90	< 1	< 1	0,011
		10,4	76	< 1	22,29	2,56	< 1	< 1	0,024
		11,5	75	< 1	20,55	2,34	< 1	< 1	0,022
Gembloux		88,0	164	< 1	20,69	2,24	< 1	< 1	0,022
		55,0	235	< 1	33,07	4,49	1,10	< 1	0,037
		42,0	277	< 1	31,69	3,63	< 1	< 1	0,034
		38,0	238	< 1	28,88	3,44	< 1	< 1	0,031
Grivegnée		11,0	123	< 1	25,51	1,34	< 1	< 1	0,026
		17,8	156	< 1	23,82	1,29	< 1	< 1	0,025
		24,7	147	< 1	26,70	1,33	< 1	< 1	0,028
		21,8	161	< 1	28,24	< 1	< 1	< 1	0,029
Herve		61,0	127	< 1	37,56	1,23	< 1	< 1	0,038
		69,0	91	< 1	26,13	< 1	< 1	< 1	0,027
		61,0	144	< 1	36,78	1,23	< 1	< 1	0,038
		52,0	95	< 1	28,58	< 1	< 1	< 1	0,029
Louvain-la-Neuve		< 5,0	31	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 0,003
		< 5,0	< 10	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 0,003
Marche-en-Famenne		9,6	164	< 1	14,16	1,32	< 1	< 1	0,015
		11,3	125	< 1	18,52	1,40	< 1	< 1	0,020
		14,5	172	< 1	17,99	1,37	< 1	< 1	0,019
		14,4	156	< 1	18,50	< 1	< 1	< 1	0,019
		11,7	99	< 1	18,17	< 1	< 1	< 1	0,019
Mouscron		7,6	124	< 1	13,62	3,69	1,10	< 1	0,017
		7,3	137	< 1	13,81	3,74	1,25	< 1	0,017
		9,4	148	< 1	14,58	3,66	1,16	< 1	0,018
		7,5	98	< 1	14,95	3,58	< 1	< 1	0,018
Namur		27,0	127	< 1	30,73	2,53	< 1	< 1	0,033
		25,1	31	< 1	26,46	2,57	< 1	< 1	0,028
		27,0	36	< 1	38,94	2,56	< 1	< 1	0,041
		32,0	45	< 1	32,66	2,58	< 1	< 1	0,035
Waterloo		119,0	227	< 1	20,04	4,56	< 1	< 1	0,023
		97,0	213	< 1	15,55	3,83	< 1	< 1	0,018
		98,0	157	< 1	22,20	4,86	< 1	< 1	0,026
valeurs limites :									
Allemagne [3]		* 30,0	2.000						0,020
Pays-Bas [12] (+ [14])		30,0	50						(50)
Wallonie (eau potable) [17]			10						0,100

* chlorites + chlorates

Étude de procédés de désinfection et filtration visant à réduire l'utilisation du chlore dans les piscines publiques wallonnes.



Service public
de **Wallonie**

DIRECTION GÉNÉRALE OPÉRATIONNELLE
DES ROUTES ET DES BÂTIMENTS
Boulevard du Nord 8 B-5000 Namur

Tél.: +32 (0) 81 77 26 91 • Mél: com.dgo1@spw.wallonie.be • <http://routes.wallonie.be> • <http://wallonie.be>

