



OmniChimie et Services Industriels de Côte d'Ivoire SARL

Traitement des eaux issues de forages dans le bassin du
Continental Terminal par implémentation de **OQP™**

Optimized Quicklime Process™

CONTENU :

Partie 1 :

«**Traitement de l'eau par dégazage de CO₂**».

Partie 2 :

«**Désinfection par mise en œuvre d'hypochlorite de sodium généré par électrolyse in situ**».

Partie 3 :

«**Mise à l'équilibre calcocarbonique par extinction de chaux vive in situ**».

Auteur :

KOUADIO Adolphe, Ingénieur en chimie industrielle, Doctorant en Sciences et Gestion de l'Environnement, Certifié en Gestion de Projets.

Tél. : +225 07784450 ; e-mail : kakouadio@ocsi-ci.com, kouadioadolphe@yahoo.fr

www.ocsi-ci.com

Nombre de pages : 24 (y compris celle-ci).

Date d'édition : 17/10/2017.

SOMMAIRE

	Page
PRESENTATION DE OQP™	3
FEUILLE DE SYNTHÈSE	4
PARTIE 1. TRAITEMENT DE L'EAU PAR DÉGAZAGE DE CO₂	5
1.1. Principe du dégazage de CO ₂	6
1.2. Système de dégazage de gaz carbonique	7
PARTIE 2. DESINFECTION PAR DE L'HYPOCHLORITE DE SODIUM	10
2.1. Principe de la production in situ de l'hypochlorite par électrolyse	11
2.2. Système de production d'hypochlorite de sodium par électrolyse suggéré	12
PARTIE 3. MISE A L'EQUILIBRE CALCOCARBONIQUE PAR EXTINCTION DE CHAUX VIVE	14
3.1. État des lieux	15
3.2. Notre proposition : l'extinction de chaux vive in situ	17
PARTIE 4. POSSIBILITÉ DE BENCHMARKING	22

PRESENTATION DE OQP™

Les eaux d'Abidjan ont des caractéristiques communes et engagent l'exploitant dans des défis spécifiques. Ces eaux sont très peu ou pas chargées en matières organiques, très peu ou pas colorées, riches en gaz carbonique (CO₂). Elles sont issues d'aquifères fournis et sont de ce fait des ressources idéales pour l'alimentation en eau potable des grandes agglomérations. Les caractéristiques et exigences de cette ressource à la fois délicates et surnoises ont inspiré des procédés souvent simplistes, souvent titanesques mais tous loin de satisfaire les attentes de qualité, de facilité de mise en œuvre et de compression de coûts des acteurs du secteur de l'eau potable de Côte d'Ivoire. **Optimized Quicklime Process™** vient répondre à ces attentes des acteurs du secteur de l'eau potable.

Optimized Quicklime Process™ (ou OQP™) est un projet de procédé de traitement des eaux de forages d'Abidjan qui se propose de paramétrer la filière-type susceptible de traiter de façon optimale l'eau des forages d'Abidjan, et par extrapolation les eaux du Bassin Continental Terminal du Golfe de Guinée.

Les critères d'optimalité visés par OQP™ sont axés sur des objectifs de qualité liés à la résolution de la quadruple contrainte : qualité - délai - coût - durabilité.

1. OQP™, un projet axé sur la qualité

OQP™ est une solution intégrale basée sur une synthèse de technologies modernes qui permet de respecter non seulement les directives OMS de qualité mais aussi des critères de confort comme, par exemple, les critères de formation de la couche passivante de Tillmans et assure une protection des parois intérieures des canalisations d'eau contre la corrosion.

2. OQP™, un projet à réaliser dans un délai record

OQP™ est un package se focalisant sur les deux étapes-clé du processus de traitement des eaux d'Abidjan : la désinfection et la mise à l'équilibre calcocarbonique. Le projet OQP™ se réalise sur une durée de quatre à six mois pour mettre à disposition un procédé de traitement de 1 000 m³/h. Sur une durée invariable de quatre à six mois, d'autres modèles d'OQP™ (OQP2000, OQP3000, OQP10000, etc.) peuvent se réaliser pour des procédés de dimensions plus grandes.

Le projet de procédé s'entend étude & paramétrage, fourniture & installation, suivi de réalisation et formation de l'exploitant.

3. OQP™, un projet doublement économique

Optimized Quicklime Process™ est un projet économique à l'acquisition et à l'exploitation. Parce OQP™ se base sur des choix de technologies compactes et génériques, sa réalisation est beaucoup plus économique que les solutions jusque-là conçues et usinées spécialement pour les eaux d'Abidjan. OQP™ permet également des gains à l'exploitation parce qu'il met en avant des technologies d'optimisation, autonomes, ne demandant que peu de maintenance et d'intervention humaine, utilisant des intrants de production des plus économiques.

4. OQP™, un projet axé sur la durabilité

Optimized Quicklime Process™ est conçu de façon à assurer entièrement la protection de l'exploitant, des installations et de l'environnement. Parce qu'il est un transfert de technologies issues des pays développés, OQP™ assure aux acteurs du secteur de l'eau potable la pérennité des sources d'approvisionnement des intrants de production d'eau et de pièces de rechange.

FEUILLE DE SYNTHÈSE

I. FILIÈRE DE TRAITEMENT DE L'EAU D'ABIDJAN SUGGÈRÉE PAR OQP™

La filière de traitement de l'eau d'Abidjan suggérée par OQP™ consiste en la mise en œuvre du couple de produit de traitement NaClO/CaO , en remplacement du traditionnel $\text{Ca}(\text{ClO})_2/\text{Ca}(\text{OH})_2$ pratiqué sur toutes les usines d'Abidjan.

Tableau 1. Filière de traitement de l'eau d'Abidjan par extinction de chaux vive.

POMPAGE D'EAU BRUTE	• Débit de 1000 m ³ /h extensible jusqu'à dix fois la capacité nominale (10 000 m ³ /h).
↓	
DEGAZAGE DE CO ₂	• Réduction du gaz carbonique de l'eau de forage pour une diminution de la demande en produit de traitement (chaux).
↓	
DESINFECTION	• Injection d'hypochlorite de sodium, en remplacement de l'hypochlorite de calcium (plus coûteux).
↓	
MISE A L'EQUILIBRE CALCO-CARBONIQUE	• Extinction de chaux vive, CaO, et injection du lait qui en est issu, en remplacement de la chaux éteinte, Ca(OH) ₂ , plus coûteux et moins propre.
↓	
STOCKAGE & DISTRIBUTION	

II. SEPT BONNES RAISONS DE PREFERER OQP™

Avec OQP™ dans le secteur du traitement des eaux d'Abidjan, il y aura...

- Création de facto de 25% de valeur ajoutée
- 0% de rejet de boue dans l'environnement
- 50% au moins d'économie sur le budget de construction d'usine
- 70% d'économie sur le budget de fonctionnement de l'usine
- Trois fois moins de temps de construction d'usine
- Dix fois plus de souplesse dans l'extension de la capacité de production
- Une demande d'espace bâti deux fois plus faible.

PARTIE 1. TRAITEMENT DE L'EAU PAR DEGAZAGE DE CO₂

L'eau de forage d'Abidjan, naturellement chargée en gaz carbonique, demande une quantité excessive de chaux, pour être à l'équilibre calcocarbonique.

La première partie du présent projet de procédé « **Optimized Quicklime Process™** », se base sur une approche du modèle Legrand Poirier Leroy (LPL) pour maîtriser le CO₂ de l'eau brute de forage.

Les paramètres de mise à l'équilibre calcocarbonique simulé au moyen du LPL sont appliqués dans un système de désorption. Le CO₂ de l'eau brute est dégazé jusqu'à un résiduel précis et valorisé comme réactif de reminéralisation.

A l'issue de ce processus, le taux de chaux pour le traitement de l'eau sera réduit de plus de 50% (comparé à un processus sans stripage de CO₂), tout en assurant une qualité de l'eau parfaitement dans les normes.

1.1. PRINCIPE DU DEGAZAGE DE CO₂

On simule sur l'eau brute d'Abidjan une mise à l'équilibre calcocarbonique au moyen du modèle Legrand Poirier Leroy.

Les caractéristiques de l'eau brute sont les suivantes :

Température :	26 °C	Calcium :	0,10 mg/L
pH :	4,51	Magnésium :	0,15 mg/L
Titre hydrotimétrique total :	0,087 °F	Sodium :	3,29 mg/L
Titre alcalimétrique :	0 °F	Potassium :	0,17 mg/L
Titre alcalimétrique complet :	0 °F	Chlorures :	7,5 mg/L
CO ₂ libre :	115 mg/L	Sulfates :	1,0 mg/L
		Nitrates :	14,8 mg/L

On recherche la teneur minimale de CO₂ qui permettrait d'atteindre les objectifs de qualité d'eau potable (pH 6.5 à 8.5 ; TAC de 5°F) et de minimiser le taux de chaux nécessaire au traitement de l'eau.

Le problème né des contraintes de pH, de TAC et de minimisation du taux de chaux est le suivant :

$$\begin{cases} 6,5 \leq \text{pH} \leq 8,5 / \text{pH} = f([\text{CO}_2]), \text{ selon les lois d'équilibre} \\ \text{TAC} \geq 5^\circ\text{F} / \text{TAC} = f([\text{CO}_2]), \text{ selon les lois d'équilibre} \\ \text{Minimum Taux CaO.} \end{cases}$$

A un résiduel de 45 mg/L de CO₂, toutes les contraintes [pH ; TAC ; Taux CaO] sont surmontées.

Le résultat de la simulation LPLWIN™ du traitement d'une eau qui contiendrait le résiduel visé en CO₂, 45 mg/L, est consigné dans le tableau 3.

Tableau 3. Traitement de l'eau brute à la teneur de 45 mg/L O₂.

		Objectif
CO ₂ eau brute (mg/L)	45	
pH (d'équilibre)	8,2	6,5 ≤ pH ≤ 8,5
TAC	5 °F	> 5
Traitement	Mise à l'équilibre avec CaO	
Dose	28 g/m ³	

Avec un taux de 28 g/m³ de chaux vive pour un équilibre calcocarbonique (au lieu des 74 g/m³ habituels sans dégazage de CO₂), un pH et un TAC d'eau traitée respectivement de 8.2 et de 5 °F, conformes aux normes et aux objectifs poursuivis, le point de fonctionnement à 45 mg/L de CO₂ résiduel dans l'eau brute confirme son optimalité.

1.2. SYSTEME DE DEGAZAGE DE GAZ CARBONIQUE

Dans le cas des eaux agressives (cas des eaux d'Abidjan), il est toujours possible d'éliminer une partie du CO₂ en excès par simple dégazage à la pression atmosphérique.

Divers procédés, qui visent tous à accroître l'interface eau/air, peuvent être mis en œuvre pour éliminer plus ou moins complètement le CO₂. L'un des plus efficaces systèmes qui permettra un contrôle du résiduel de CO₂ est la mise en œuvre de colonne de stripage conçue sur la base du modèle pratiqué à l'Université de la Ruhr à Bochum (Allemagne) qui procède par insufflation de bulles d'air chaud dans la masse d'eau à traiter circulant à courants croisés.

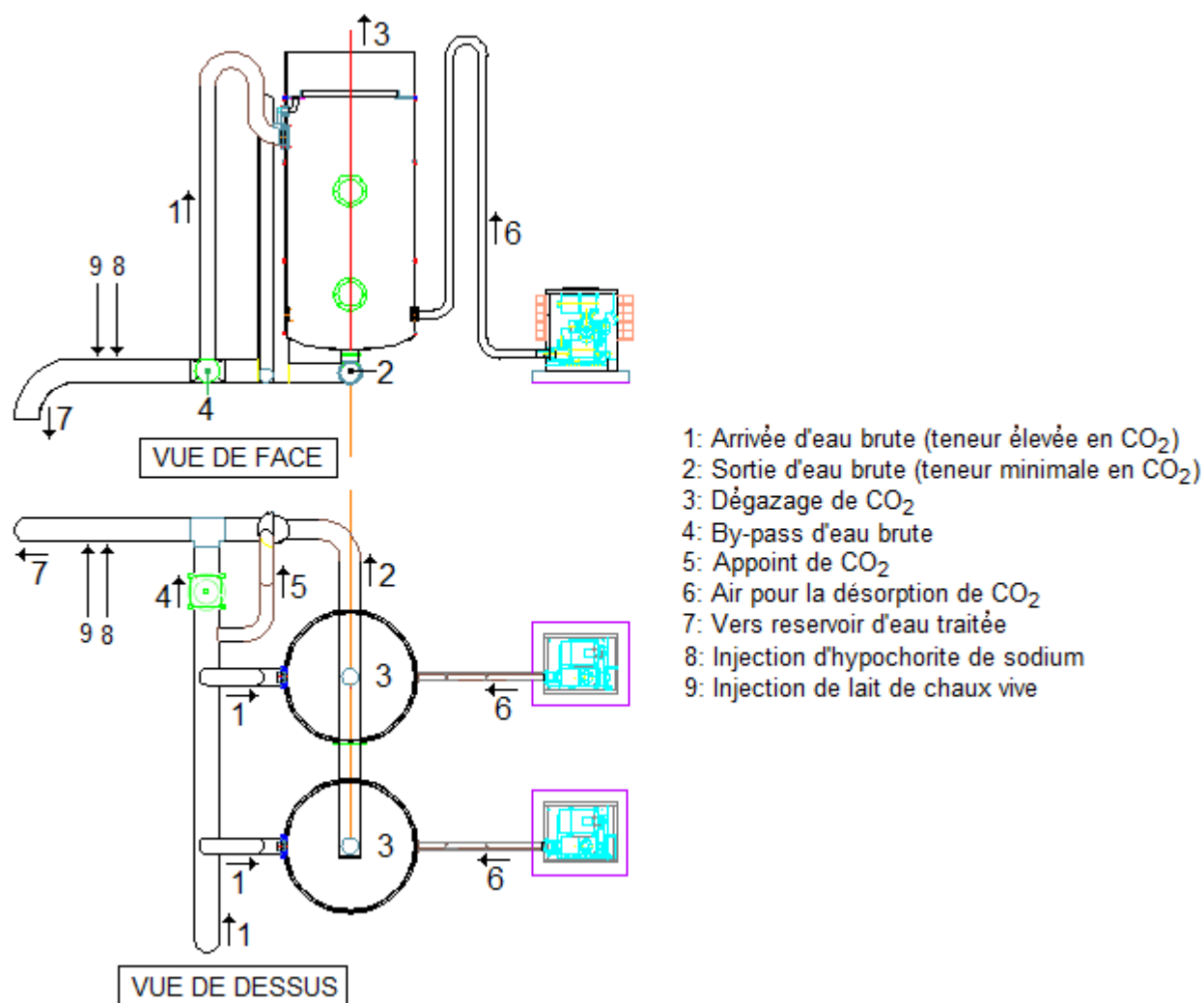


Figure 1. Schéma du système de stripage de CO₂ pour OQP™.

La colonne de stripage de CO₂ de OQP™ est une colonne ayant une garniture et des équipements spéciaux et qui procède par extraction du CO₂ volatil de l'eau brute par entraînement à l'aide de flux d'air circulant à contre-courant. Comme la colonne est dimensionnée pour assurer une élimination du gaz carbonique jusqu'à son seuil de solubilité, une dérivation (by-pass) d'une fraction du débit est

réalisée afin d'apporter l'appoint en CO_2 qui assure le résiduel nécessaire à la minéralisation de l'eau.

Le dimensionnement de la colonne de stripage de CO_2 de OQP™ se base sur les formules et équations classiques en thermodynamique et utilisées dans les techniques de séparations gaz/liquides: calcul de la constante de Henry, du coefficient de transfert, de la perte de charge linéaire, de l'engorgement, de la tension critique, du taux de mouillage, de la surface mouillée, etc.

Régulation du système aux fins du contrôle du résiduel de CO_2

Sur la Figure 1, les flux d'eau entrant dans le réseau primaire (1) et dans les réseaux de mitigeage (5) sont calculés en modélisant le système de dégazage contrôlé du gaz carbonique dans l'eau brute issue de forages comme réacteur échangeur de matières.

Le procédé de dégazage de CO_2 d'eau de forage peut être modélisé comme dans la figure ci-dessous.

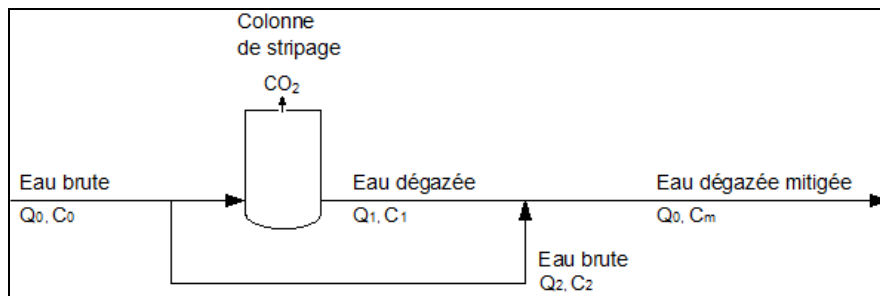


Figure 2. Modélisation du procédé de dégazage de CO_2 d'eau de forage et bilan-matière sur le système de système de dégazage contrôlé du gaz carbonique. Les Q_i sont des flux d'eau et C_i des concentrations en CO_2 .

Le débit d'eau brute, Q_0 , étant connu, en calculant les débits Q_1 et Q_2 indiqués dans le modèle de la Figure 2 ci-dessus, l'on disposera des données d'entrée pour la régulation du système, de sorte à obtenir un résiduel précis de CO_2 .

Lorsque l'on réalise les bilans sur tout le procédé de désorption de CO_2 ...

- bilan volumique sur l'eau
- bilan-matière sur le CO_2

... le système de la Figure 2 est traduit par le modèle suivant :

$$\begin{cases} Q_1 + Q_2 = Q_0 \\ C_1 Q_1 + C_2 Q_2 = C_m Q_0 \end{cases}$$

Soit une matrice carrée de Cramer dont les deux éléments Q_1 et Q_2 sont déterminables comme suit:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ C_2 & C_0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} Q_0 \\ C_m \cdot Q_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \end{bmatrix}$$

Les débits Q_1 , d'eau brute à dégazer, et Q_2 , d'eau servant à mitiger l'eau Q_1 très pauvre en CO_2 sortant du réacteur, sont déterminés par la résolution du système découlant de la modélisation du procédé OQP™. Ainsi, en plaçant un débitmètre avec transmetteur de débit à l'entrée du système et une vanne modulante avec entrée et sortie analogiques sur la conduite d'eau de mitigeage, il est

possible de mettre en place une régulation proportionnelle $Q_0=f(Q_2)$, de type « $Y=aX+b$ » et, ce faisant, d'obtenir une eau en sortie avec un résiduel contrôlé de CO_2 , en fonction du débit d'eau entrant.

PARTIE 2. DESINFECTION PAR DE L'HYPPOCHLORITE DE SODIUM

L'hypochlorite de sodium est appliqué dans l'eau potable pour l'oxydation et pour la désinfection. Il a l'avantage que les microorganismes ne peuvent construire aucune résistance contre lui. En effet, l'hypochlorite de sodium est efficace contre toutes formes de bactéries, y compris la Legionella et le bio-film dans lequel la bactérie peut se multiplier.

Ce désinfectant et oxydant efficace qu'est l'hypochlorite de sodium est délaissé dans le domaine de l'hydraulique urbaine dans notre pays au profit de l'hypochlorite de calcium pour des raisons pratiques. Il est instable et peut perdre de son activité jusqu'à un taux de 0,75 g de chlore actif par jour dans les conditions les plus défavorables, lorsqu'il vient en contact avec les acides, la lumière du soleil, certains métaux, etc.

L'instabilité relative de l'hypochlorite de sodium est un frein à son importation et, jusqu'à un passé récent, sa production était délicate, lourde et n'était faisable que par des mains de maîtres. A l'époque, l'importation de son équivalent alternatif, l'hypochlorite de calcium, en granulés et plus stable n'était qu'un sage choix. Aujourd'hui, avec l'évolution de la technologie d'une part et les contraintes sécuritaires dans le commerce international d'autre part, la production in situ d'hypochlorite de sodium s'affirme comme une solution technique incontournable et avisée.

L'hypochlorite de sodium peut être produit de deux manières:

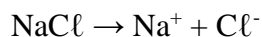
- soit en additionnant du chlore gazeux à de la soude caustique. Lorsque cela est fait, de l'hypochlorite de sodium (eau de javel) se forme selon la réaction suivante:
$$\text{Cl}_2 + 2 \text{NaOH} \rightarrow \text{NaClO} + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} ;$$
- soit en dissolvant du chlorure de sodium pur dans de l'eau adoucie, ce qui produit une solution de saumure concentrée. La solution est ensuite électrolysée pour former une solution aqueuse d'hypochlorite de sodium.

Durant ces dernières années, les fournisseurs d'hypochlorite de calcium ont, de façon insistante, fait savoir aux acteurs du secteur de l'eau potable en Côte d'Ivoire que les compagnies de transport maritime seraient réticentes à transporter les produits chlorés (chlore gazeux, hypochlorite de calcium, etc.), compte tenu de leur degré de dangerosité et du corollaire de flambée de primes d'assurance de celui-ci. Des technologies modernes de production in situ de l'hypochlorite par électrolyse du seul chlorure de sodium offre non seulement l'opportunité d'affranchir l'exploitant ivoirien des risques récurrents de rupture de stock d'hypochlorite sur le marché international mais aussi d'ajouter de la valeur à ce produit désinfectant.

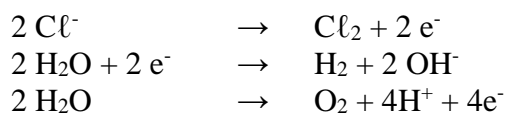
En utilisant des technologies modernes bien réputées de production in situ de l'hypochlorite par électrolyse, il est possible de réaliser des gains d'exploitation tout en opérant dans des conditions de sécurité totalement maîtrisée.

2.1. PRINCIPE DE LA PRODUCTION IN SITU DE L'HYPPOCHLORITE PAR ELECTROLYSE

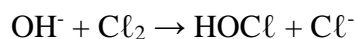
L'hypochlorite de sodium peut être produit par électrolyse sur site d'une solution salée (NaCl). Lorsque le chlorure de sodium pur est dissous dans l'eau, des ions sodium (Na⁺) et chlorure (Cl⁻) sont produits :



En amenant la solution salée sur une cellule d'électrolyse, les réactions suivantes ont lieu aux électrodes:



De ce fait, le chlore et l'hydroxyde réagissent pour former de l'hypochlorite (HOCl):



L'avantage du système d'électrolyse de sel vient de ce qu'il n'y a ni transport ni stockage délicat de l'hypochlorite de sodium requit. Lorsque l'hypochlorite de sodium est stocké pour une longue période, il perd de son activité.

Sur la base de la mise en œuvre de certaines technologies, l'exploitation d'un poste de génération d'hypochlorite de sodium par électrolyse ouvre l'opportunité :

- de réaliser des économies, par rapport à la mise en œuvre de l'hypochlorite de calcium ;
- d'affranchir l'exploitant des risques récurrents de rupture de stock d'hypochlorite de calcium sur le marché international du fait de contraintes de sécurité liées au transport de celui-ci.

2.2. SYSTEME DE PRODUCTION D'HYPOCHLORITE DE SODIUM PAR ELECTROLYSE SUGGERE

Notre proposition de procédé de désinfection de l'eau d'Abidjan avec de l'hypochlorite de sodium généré par électrolyseur est le suivant : Système électrolyseur OSEC-B[®] de EVOQUA[™].

L'électrolyseur OSEC-B[®] de EVOQUA[™] est conçu pour fabriquer de l'hypochlorite de sodium par électrolyse de saumure. La production de l'hypochlorite de sodium a lieu dans plusieurs cellules sans membrane parcourues une seule fois par la saumure.

Les avantages d'un tel procédé sont multiples :

- peu d'entretien, en raison du nettoyage automatique des électrodes ;
- électrodes de grande longévité ;
- gestion de l'installation par automate intégré ;
- possibilité de dosage à plusieurs points d'injection ;
- rentabilité élevée : faible consommation d'énergie ;
- construction compacte et robuste ;
- montage et mise en service simples.

L'électrolyseur OSEC-B produit de l'hypochlorite de sodium actif directement sur le site d'exploitation à partir de saumure inoffensive et de courant électrique.

L'électrolyseur ne produit de l'hypochlorite de sodium qu'en fonction des besoins. La concentration de la solution ainsi préparée par intermittence ne se dégrade que de manière négligeable, même après un stockage prolongé.

Les anodes sont fabriquées en titane recouvert d'une couche d'oxydes de métaux nobles. Les cathodes sont également conçues en matériau résistant, le Hastelloy. Ce qui leur assure une grande longévité.

L'hypochlorite de sodium produit a une concentration d'environ 6 g/L de chlore actif. Les sondes de niveau montées dans le bac de stockage commandent sa production par intermittence.

Principe de Fonctionnement :

De l'eau adoucie est mélangée dans un bac avec du sel de façon à fabriquer une solution saturée d'eau saumâtre; celle-ci est injectée dans l'électrolyseur à l'aide d'une pompe doseuse. Le dissolvant de sel est conçu de façon à permettre l'addition de sel sans interruption du fonctionnement. L'eau de dilution arrivant également dans l'électrolyseur abaisse à 2% la concentration de la saumure et remplit les cellules d'électrolyse.

Le courant continu appliqué à l'électrolyseur provoque la production d'hypochlorite de sodium et d'hydrogène. L'effet de chaleur et la production de gaz conduisent à un mouvement ascendant favorisant la séparation hydrogène/électrolyte.

L'hydrogène est acheminé vers un bac de stockage avec l'hypochlorite de sodium. A ce niveau, un ventilateur assure le balayage en surface du bac afin de diluer très largement l'hydrogène de façon à obtenir une concentration sans danger pour l'environnement qui sera ensuite évacuée vers l'extérieur.



Figure 3. Poste de production d'hypochlorite de sodium par électrolyse OSEC-B™.

PARTIE 3. MISE A L'EQUILIBRE CALCOCARBONIQUE PAR EXTINCTION DE CHAUX VIVE

La présente partie du projet **Optimized Quicklime Process™** est une suite de la première qui visait à réduire le taux de chaux de traitement à l'équilibre calcocarbonique des eaux d'Abidjan.

Si à travers la conclusion de la première partie du projet **Optimized Quicklime Process™**, le gaz carbonique dans les eaux brutes est passé du statut d'élément de nuisance à celui d'ennoblissement, avec une baisse du taux de traitement à la chaux, le défi qui reste entier est celui de procéder à l'application de ce taux réduit dans une filière qui minimiserait le rebus et maximaliserait la conversion de la chaux.

En effet, comment, en plus du taux de chaux réduit, peut-on accroître la qualité de la mise à l'équilibre par une meilleure conversion de chaux en produit réactif? Comment augmenter la productivité de la future usine et limiter les contraintes de maintenance qu'impose la manipulation de la chaux hydratée habituellement utilisée sur les usines d'Abidjan? Comment mettre les eaux d'Abidjan à l'équilibre calcocarbonique à moindre coût, plus efficacement, plus simplement et plus sainement du point de vue environnemental?

La présente partie du projet de procédé tentera de donner une voie de résolution intégrale de ces questions. Elle suggèrera une nouvelle approche dans la mise à l'équilibre calcocarbonique avec la mise en œuvre de chaux vive pour un procédé de traitement plus vif, plus simple, plus environnementalement sain, et plus économique !

3.1. ÉTAT DES LIEUX

La mise à l'équilibre calcocarbonique des eaux d'Abidjan est basée sur des procédés traditionnels utilisant une technologie fortement tributaires des équipements et artifices hydrauliques (saturateur tronc-conique, dissolvant, saturateur Pulsator™, saturateur lamellaire, filtration, etc.).

A l'époque, les solutions hydrauliques étaient des plus intéressantes : elles étaient des plus fiables, des plus économiques et des plus faisables, surtout que le coût de l'espace bâti était relativement bon marché et la main-d'œuvre qualifiée rare.

Aujourd'hui, qu'ils soient à Saturateur Pulsator™ continu, à Saturateur Pulsator™ discontinu ou à saturateur dynamique, les procédés de mise à l'équilibre calcocarbonique des eaux d'Abidjan présentent de nombreux handicaps dont les suivants :

- leurs autonomies sont faibles ;
- la conversion du lait de chaux en eau de chaux manque d'efficacité ;
- les opérations de maintenance sont lourdes et fastidieuses ;
- les rejets de boues gênants, d'un point de vue environnemental, et ;
- les coûts des moyens et intrants mis en œuvre restent encore à minimiser.

3.1.1. CONVERSION INSUFFISANTE DU LAIT DE CHAUX EN EAU DE CHAUX

Le taux de chaux appliqué sur les usines (« taux pratique ») est plus élevé que le taux déterminé idéalement par simulation ou par essai au marbre (« taux théorique ») pour la simple raison qu'une bonne partie de la chaux peut se trouver piégée dans la boue à évacuer comme rebus. Lorsque l'usine fonctionne à la limite de sa capacité de production, l'extraction solide-liquide qu'est la production d'eau de chaux par les procédés actuels utilisant une technologie fortement hydraulique (saturateur) génère des rendements sujets à caution.

Un rapport de K. Kopoin, « *Station de Neutralisation d'Anonkoua-Kouté – Etude de rendement de saturation* », 1984, 8 pages, a montré que la conversion de la chaux éteinte en eau de chaux (saturation) était de l'ordre de 88%. En d'autres termes, le secteur de l'eau potable supportait un surcoût de 12% avec les usines de l'époque, qui du reste, n'ont pas beaucoup évolué en termes de performance.

3.1.2. BESOIN DE GRANDS ESPACES POUR LA SATURATION DE LA CHAUX

Outre le fait d'opérer à des valeurs éloignées de l'optimum et de fonctionner avec des rendements faibles dans la saturation de l'eau en chaux, les procédés actuels de mise à l'équilibre calcocarbonique des eaux d'Abidjan sont déployés dans des ouvrages de génie civil relativement spacieux. Lesdits ouvrages abritent les nécessaires et nombreux organes hydrauliques, électromécaniques, électriques et électroniques. Dans la plupart des usines d'Abidjan, sur un espace de 600 m² d'ouvrage, les procédés de mise à l'équilibre, comme des colosses aux pieds d'argile, ne peuvent produire que 120 m³ d'eau de chaux par heure ; ce qui limite les débits traitables par usine à 2000 - 2500 m³/h d'eau brute.

3.1.3. SYSTEME A LOURD PROCESSUS DE MAINTENANCE

La complexité de la connexion des équipements hydrauliques, électromécaniques, électriques et électroniques dans un saturateur et le principe même de saturation de chaux hydratée avec ses fortes quantités de rebus font des procédés actuels de mise à l'équilibre calcocarbonique des eaux d'Abidjan des systèmes à processus de maintenances préventive et curative lourds.

Le risque qu'engendre la lourdeur du processus de maintenance est l'augmentation de la fréquence de maintenance curative du fait, par exemple, de colmatages fréquents et une perte de produits et de performance.

3.1.4. SYSTEME DE PRODUCTION OCCASIONNANT DE LA GENE DANS L'ENVIRONNEMENT

Le processus de saturation de la chaux hydratée commerciale rejette au moins cinq pourcents (5%) de la masse de chaux sous forme de boue. En pratique, ce taux de boue est plus élevée puisque :

- la chaux hydratée commerciale peut contenir jusqu'à 5% de matières insolubles ;
- des carbonates (insolubles) peuvent se former et accentuer la formation de boue, quand la mise en œuvre du lait de chaux n'est pas suffisamment maîtrisée, et ;
- on l'a dit, une étude a montré que la perte de chaux dans la boue est de l'ordre de 12%.

Tous ces incuits de chaux à évacuer sont une gêne et un problème potentiel pour l'environnement.

En théorie, il est possible mitiger la nuisance due aux incuits de chaux sortant des saturateurs et de les revaloriser auprès d'exploitants agricoles. La boue de chaux servirait alors de matière d'amendement de sol. Toutefois, faute d'initiative de revalorisation ou même de clients, les boues issues des procédés actuels de mise à l'équilibre calcocarbonique des eaux d'Abidjan sont stockées sur les sites, avec des risques de déversement dans l'environnement immédiat des usines.

3.2. NOTRE PROPOSITION : L'EXTINCTION DE CHAUX VIVE IN SITU

Nous proposons de mettre à l'équilibre calcocarbonique les eaux en injectant directement le lait de chaux dans l'eau à traiter, sans transiter par une formation d'eau de chaux. Un tel procédé mettra en œuvre de la chaux vive, CaO, au lieu de la chaux hydratée actuelle, Ca(OH)₂.

Dans le changement que nous préconisons, la chaux vive sera hydratée in situ et le produit injecté directement dans l'eau à traiter comme cela se fait avec les produits « solubles » (carbonate de sodium, hypochlorite de sodium, etc.).

A la dimension des besoins des usines d'Abidjan, les atouts d'un tel procédé nouveau sont multiformes : le procédé à la chaux vive est

- plus facile à installer ;
- plus économique à l'exploitation ;
- plus facile à maintenir ;
- plus performant en production ;
- environnementalement plus sain, et ;
- moins cher à l'acquisition.

Dans un tel contexte, l'usage de la chaux vive se positionne comme l'alternative à la fois technique et économique la plus durable à Abidjan.

Pour éteindre la chaux vive in situ, nous proposons le système de Integrity Municipal Systems (IMS)[®] que nous connaissons le mieux pour l'avoir pratiqué à l'usine E.A. Fairbairn de Sacramento, Californie, USA.

3.2.1. PRINCIPE DU PROCEDE D'EXTINCTION DE CHAUX

L'extincteur de IMS[®] est un système compact permettant de préparer une suspension de lait de chaux qui peut ensuite être diluée à l'eau de façon à obtenir la concentration en lait de chaux souhaitée.

La conception de ce type d'extincteur a réservé une place de choix aux deux critères permettant d'obtenir une extinction optimale, à savoir :

- une température de réaction élevée, et ;
- l'introduction de forces de cisaillement importantes.

De par sa conception compacte, la chaleur dégagée au cours de la réaction d'extinction suffit pour assurer une transformation complète de la chaux vive en chaux éteinte, en faisant l'économie d'un chauffage. En plus, les forces déployées par certains organes lors de la transformation de la chaux vive en chaux éteinte occasionnent un cisaillement du produit qui la rend plus réactive que la chaux hydratée ordinairement disponible sur le marché.

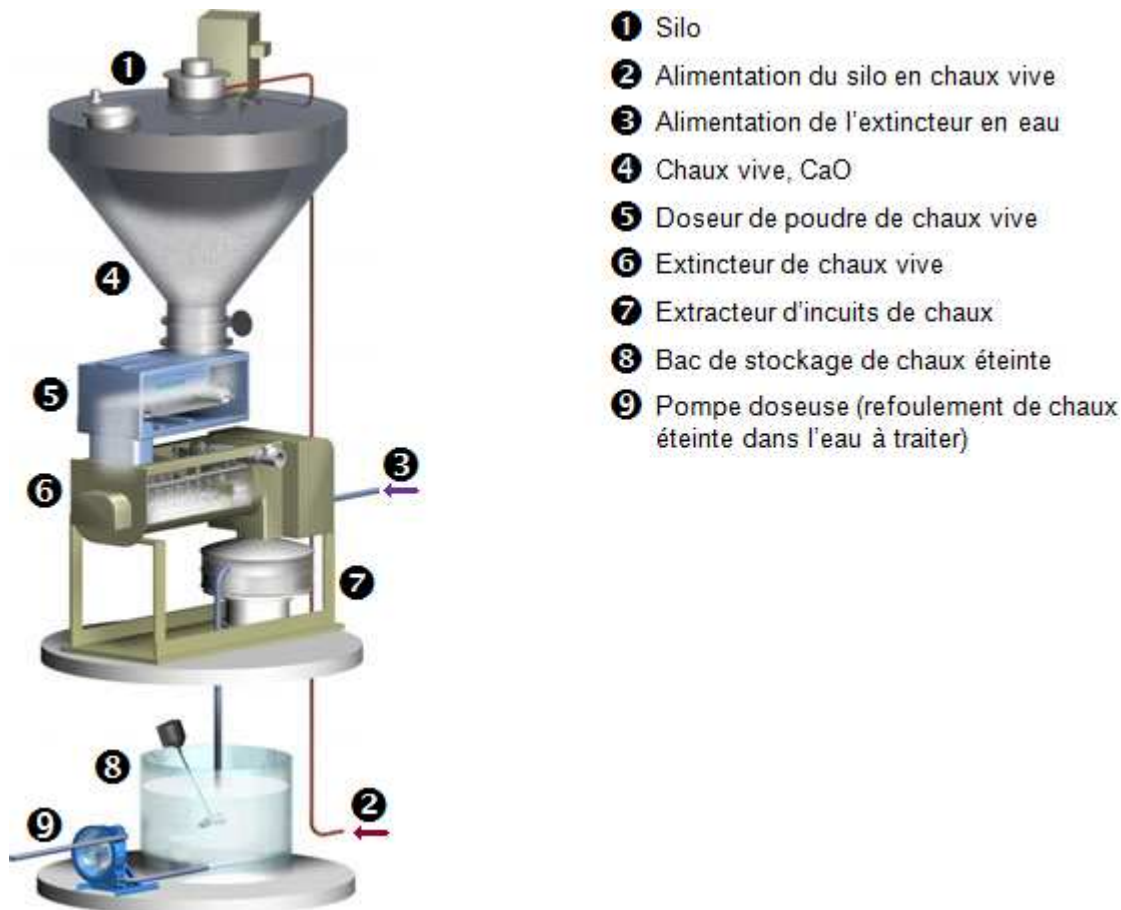


Figure 4. Représentation schématique d'un système complet d'extinction de chaux vive EVOQUA®.

La chaux et l'eau sont admises en continu dans la chambre d'extinction selon un rapport 1:2. L'alimentation en chaux vive s'effectue à l'aide d'un doseur de poudre.

Le (double) mélangeur à pales assure un brassage intensif du mélange eau-chaux en entraînant la solution vers la chambre de dilution. L'entraînement de ce mélangeur s'effectue par l'intermédiaire d'un réducteur, le couple moteur de ce dernier étant utilisé pour la régulation de la vanne d'admission d'eau. La proportion entre la chaux et l'eau est ainsi maintenue constante dans la chambre d'extinction selon un rapport de 1:2. Une augmentation de la viscosité de la pâte de chaux provoque une augmentation du couple moteur déclenchant de la sorte une ouverture plus importante de la vanne d'admission d'eau.

La chaleur nécessaire pour obtenir une extinction complète est générée par la réaction elle-même ; ce qui rend le procédé IMS® plus économique que d'autres utilisant l'isolation thermique et l'emploi d'eau chaude.

Une fois éteinte, la chaux, sous forme de pâte, quitte la chambre d'extinction par un trop-plein. A ce niveau, on procède à un apport d'eau supplémentaire grâce à des buses permettant de diluer la pâte.

Dans la chambre de dilution, des râtaeux viennent compléter l'homogénéisation de la solution.

La poussière de chaux, de même que les vapeurs, sont aspirées par la tuyère d'absorption. De la sorte, on évitera par la suite des dépôts dans le conduit d'amenée de chaux vive.

L'air chaud et humide est évacué vers l'extérieur par une conduite d'évent. L'eau motrice de cette tuyère peut ensuite être rejetée via le départ de la solution de lait de chaux.

Un séparateur d'incuits est prévu pour drainer les incuits de chaux vers une cuve de récupération.

3.2.2. ATOUT DE L'EXTINCTION DE CHAUX IN SITU

3.2.2.1. CREATION DE VALEUR AJOUTEE

La possibilité d'éteindre la chaux vive in situ, avant injection du produit d'extinction (lait de chaux), est une opportunité d'ajout de valeur dans le processus de production.

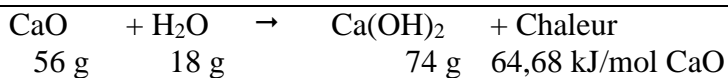
Que la chaux soit éteinte ou vive, les réactions calcocarboniques donnent le même bilan en milieu aqueux (cf. Encadré 1.)

Réaction de la chaux vive avec le CO₂ de l'eau : $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} + 2 \text{CO}_2 \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

Réaction de la chaux éteinte avec le CO₂ de l'eau: $\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2 \text{CO}_2 \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

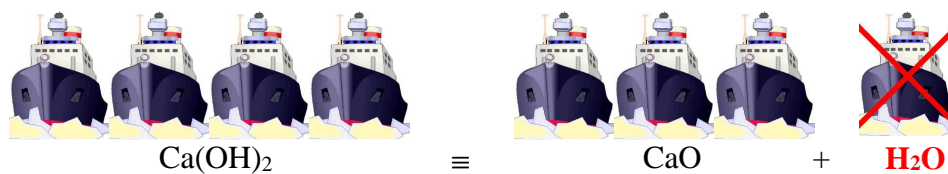
Encadré 1. Réactions calcocarboniques des chaux hydratée et vive.

Selon l'encadré 1, la chaux éteinte, Ca(OH)₂, n'est différente de la chaux vive, CaO, qu'en ce que la première a une molécule d'eau de plus. Donc, chimiquement, en milieu aqueux, il n'y a pas deux produits distincts. Commercialement, ils sont différents. Physiquement, en passant de la chaux vive à la chaux éteinte, il y a un gain densité et un dégagement de chaleur :



Encadré 2. Réaction d'hydratation de la chaux vive.

Dans la réaction d'hydratation de la chaux, sur 74 g de produit obtenu, l'eau pèse pour 18 g, soit un gain en poids de dix-huit soixante-quatorzièmes (24,3%) mais aussi un gain en volume de 30%. Autrement dit, comme le produit actuel de mise à l'équilibre calcocarbonique (chaux hydratée) est importé, sur 4 bateaux de chaux éteinte, la SODECI affrète pratiquement 3 bateaux de matière utile + 1 bateau d'eau. Ce qui donne plus d'un quart de valeur à ajouter à la chaux, si son extinction se déroule in situ.



3.2.2.2. BAISSSE DU COUT D'INVESTISSEMENT POUR LA MISE EN ŒUVRE DE LA CHAUX

La filière de mise à l'équilibre calcocarbonique par utilisation de lait de chaux issu d'un extincteur in situ est plus simple, plus compact et moins cher à l'acquisition que celle dont la SODECI a hérité sur les unités d'Abidjan et qui met en œuvre la saturation de la chaux hydratée.

En installant un extincteur, au lieu d'un saturateur ou tout autre procédé utilisant de la chaux éteinte, il est possible de réaliser d'énormes économies à l'investissement. Ces économies sont d'autant plus importantes que la taille de l'usine est grande.

3.2.2.3. COMPARAISON DES PROCÉDES OQP™ ET CLASSIQUE

3.2.2.3.1. Considérations techniques et qualitatives

Tableau 2.

Procédé classique	Procédé OQP™
Description de la filière de traitement 1) Pompage d'eau brute 2) Désinfection avec hypochlorite de calcium, Ca(ClO) ₂ 3) Mise à l'équilibre avec chaux éteinte, Ca(OH) ₂ .	1) Pompage d'eau brute 2) Dégazage de CO ₂ dissout dans l'eau brute 3) Désinfection avec hypochlorite de sodium, NaClO 4) Mise à l'équilibre avec chaux vive, CaO
Impact du traitement de l'eau sur l'environnement Nuisance à l'environnement: 10 à 20% de rejets de boues de chaux.	Pas de nuisance à l'environnement. Pas de rejet liquide ou solide.
Souplesse et extensibilité Une station classique de 1000 m ³ /h ne peut traiter que son débit nominal (1000 m ³ /h), pas plus.	Une station OQP™ de 1000 m ³ /h peut traiter jusqu'à 10 000 m ³ /h, sans problème.

Le procédé OQP™ que nous suggérons se distingue du classique en les caractéristiques suivantes :

- le procédé OQP™ comporte une étape de plus (Dégazage de CO₂) que le classique ;
- OQP™ emploie le couple {CaO, NaClO} pour remplacer le classique {Ca(OH)₂, Ca(ClO)₂} ;
- le procédé classique pose un problème environnemental avec ses 15% de rebus, tandis que OQP™ ne rejette pratiquement rien dans l'environnement ;
- la station classique n'est pas extensible. Par contre, OQP™ peut traiter jusqu'à 10 fois sa capacité nominale ;
- OQP™ est un procédé compact qui se réalise sur dans un bâtiment 350 m² sur 2 niveaux, alors que le classique est à 600 à 800 m² sur 3 niveaux.

3.2.2.3.2. Considérations économiques et financières

- **Coût d'investissement**

Pour optimiser le traitement, OQP™ suggère un processus (le dégazage de CO₂) de plus que le classique et coûte 12,4% plus cher. Si l'on élève le procédé classique au même nombre de processus unitaires, OQP™ coûtera 30% à 50% moins cher que le classique.

- **F/m3 traitement**

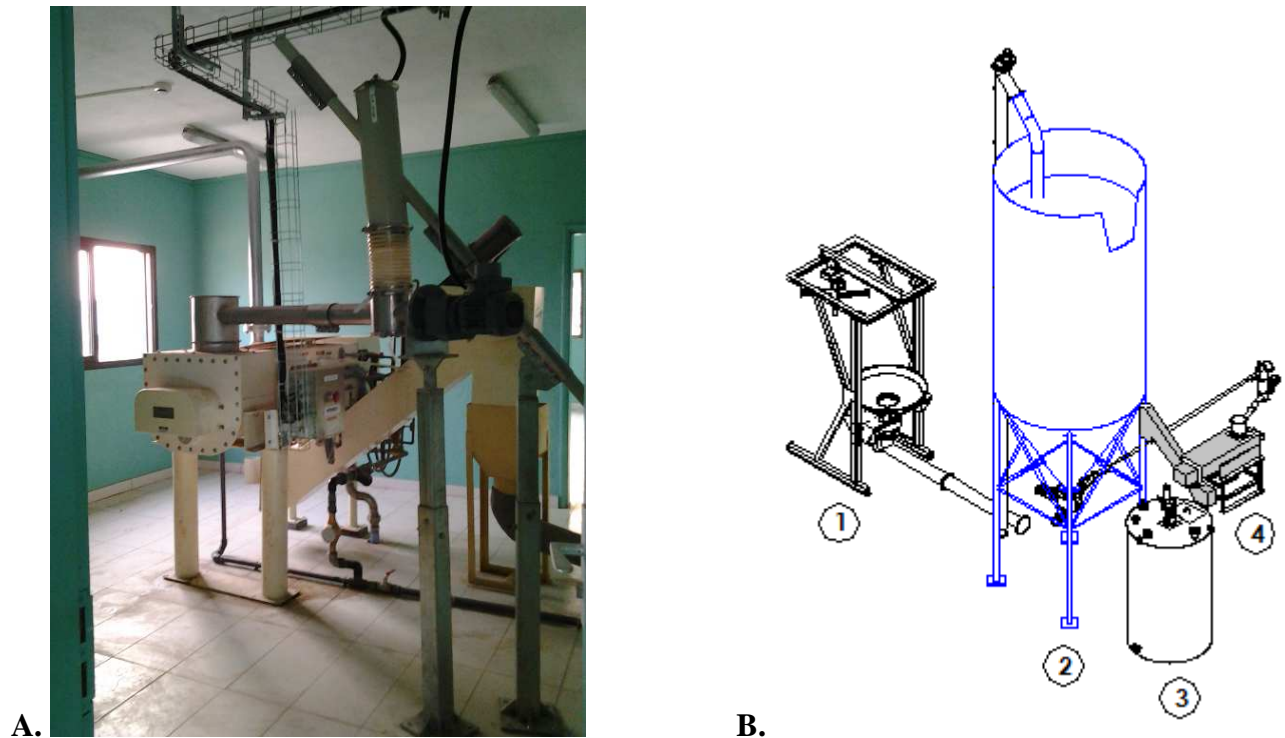
Tableau 3.

Procédé classique	Procédé OQP™
Coût proportionnel du traitement Hypochlorite de calcium, Ca(ClO) ₂ = 0,001x(1680/0.70)x2250x20x365 Chaux éteinte, Ca(OH) ₂ = 0,074x240x2250x20x365x1,15	Hypochlorite de sodium, NaClO = 0,001x845x2250x20x365 Chaux vive, CaO = 0,028x240x2250x20x365
39 420 000 F	13 879 125 F
335 464 200 F	110 376 000 F
Total HT, Procédé classique/an	Total HT, Procédé OQP™/an
374 884 200 F	124 255 125 F
22,8 F/m³	7,6 F/m³

L'évaluation économique du coût du traitement dû au nouveau procédé suggéré (OQP™) se fait en prenant en compte aussi bien les coûts liés aux produits de traitement que ceux liés à l'électricité.

On note que l'on peut faire baisser les coûts proportionnels du mètre-cube d'eau produite de 22,8 F à 7,6 F, soit une économie de 66,7% !!!

Le gain économique direct généré par le changement de procédé peut être davantage conforté en prenant en compte les charges de main d'œuvre et charges d'amortissement des investissements, puisque, on l'a vu, le coût de la main d'œuvre (tâches de maintenance réduites, gain de productivité, etc.) et les charges d'amortissement des investissements suivent aussi une tendance baissière dans le changement suggéré.



3.2.2.3.3. Délai de réalisation

Compte tenu de sa conception simple, modulaire, faite de matériau à souder ou à visser et de son faible besoin de génie civil, OQP™ se réalise en 6 à 7 mois, alors que le procédé classique n'est réalisable que sur 18 à 24 mois.

PARTIE 4. POSSIBILITÉ DE BENCHMARKING

Tous les systèmes faisant partie du procédé OQP™ sont largement pratiqués dans les pays occidentaux et ont une réputation avérée en termes de bonnes performances.

Les systèmes suggérés sont disponibles dans les pays indiqués ci-dessous et peuvent faire l'objet de benchmarking à tout acteur du secteur de l'eau potable qui le désire.

Lot	Procédé unitaire	Exemple de site d'exploitation
n°1	Système de dégazage de CO ₂ :	Service des eaux potables de Bâle, Suisse.
n°2	Système de génération d'hypochlorite sodium par électrolyse :	Clients de EVOQUA™ autour de Paris, France.
n°3	Système d'extinction de chaux avec silo et auto-chargeuse :	1. EA Fairbairn, Sacramento, CA, USA ; 2. Clients de EVOQUA™ autour de Paris, France.
n°4	Analyseurs en continu: pH, Température, Cl ₂ libre, Turbidité :	Clients de EVOQUA™ autour de Paris, France.

Et aujourd'hui, à Abatta...



OCSI vous remercie d'engager le secteur de l'eau en Côte d'Ivoire dans un cycle d'économies.

