

Contribution de la modélisation orientée objet dans l'étude des anomalies des paramètres physico-chimiques au sein de la sous-unité lagunaire Aby, Côte d'Ivoire

Kpangni Alex Jérémie KOUA^{1*}, N'Guessan Patrice AKOGUHI¹, Egomli Stanislas ASSOHOUN¹, Kouamé Lazare AKPETOU¹, Diarra MAMADOU² et Kablan Jérôme ADOU²

¹ *Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, Unité de Formation et de Recherche (UFR) Environnement, Département de Physique Chimie Mathématique Informatique, Laboratoire des Sciences et Technologie de l'Environnement (LSTE), 02 BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire*

² *Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan-Cocody, UFR de Mathématiques et Informatiques (MI), Laboratoire de Mécanique et Informatique, 22 BP 582 Abidjan 22*

(Reçu le 19 Octobre 2021 ; Accepté le 15 Mars 2022)

* Correspondance, courriel : jeremiekoua@ujlg.edu.ci

Résumé

La présente étude est une contribution qui a pour but la modélisation orientée objet des anomalies des paramètres physico-chimiques au sein de la sous-unité lagunaire Aby (Côte d'Ivoire). Plusieurs recherches sur les paramètres physico-chimiques ont été effectuées sur la lagune Aby. Cependant, aucune n'aborde la modélisation orientée objet pour la détection d'anomalies des paramètres physico-chimiques. Ce travail s'appuie sur des données compilées générées de dix-huit (18) stations et sur un recueil de valeurs seuils ou références (normes) desdits paramètres physico-chimiques. Ces données ont été recueillies lors des campagnes d'études sur la lagune Aby. Cette recherche adopte d'abord une approche méthodologique qui consiste à normaliser et codifier les données. Elle analyse ensuite ces données à l'aide de la modélisation orientée objet du couple 2TUP (Two Tracks Unified Process) et UML (Unified Modeling Language) afin de mettre en place un système informatisé pour le suivi et le contrôle des données liées à l'étang. Les résultats montrent les différents liens entre les données. Ils mettent en exergue les différents acteurs, rôles et interactions d'une part et ressortent d'autre part les différents diagrammes. De plus, les résultats conduisent à la mise en place de l'infrastructure permettant de représenter la structure et le stockage des données. Pour finir, ils servent d'outil d'aide à la décision par des extractions de données pour un suivi lagunaire. Ce travail est un apport additionnel au développement du numérique dans l'environnement et pouvant être utilisé comme fondement dans la mise en place d'une application web ou mobile nécessaire pour un suivi en temps réel des eaux de surface.

Mots-clés : *modélisation, anomalie, paramètres physico-chimiques, Lagune Aby.*

Abstract

Contribution of object-oriented modeling in the study of anomalies of physico-chemical parameters in the aby lagoon subunit, Côte d'Ivoire

The present study is a contribution that aims at the object-oriented modeling of the anomalies of the Physico-chemical parameters in the sub-unit of Aby lagoon (Ivory Coast). Several types of research on Physico-chemical parameters have been carried out on the Aby lagoon. However, none of them address object-oriented modeling to detect anomalies of physicochemical parameters. This work is based on the compilation of data generated by eighteen (18) stations and on a collection of threshold or reference values (standards) of said Physico-chemical parameters. The old study collected these data during the study campaigns on the Aby lagoon. This approach first adopts a methodological approach that standardizes and codifies the data. It then analyzes these data using the object-oriented modeling of the 2TUP (Two Tracks Unified Process) and UML (Unified Modeling Language) couple to set up a computerized system for monitoring and controlling data related to the lagoon. The results show the different links between the data. They highlight the different actors, roles, and interactions on the one hand and the various diagrams on the other hand. Moreover, the results lead to the implementation of the infrastructure, representing the structure and the storage of the data. Finally, they are used as a decision support tool by extracting data to monitor a lagoon. This work is an additional contribution to the development of digital in the environment and can serve as a basis for implementing a web or mobile application necessary for real-time monitoring of surface waters.

Keywords : *modelling, abnormality, physico-chemical parameters, Aby lagoon.*

1. Introduction

Les anomalies ou déviations ont toujours été investiguées eu égard à leurs graves impacts sur les écosystèmes aquatiques [1 - 3]. En océanographie, la compréhension de leurs effets sur la santé des plans d'eau requiert l'analyse statistique des paramètres physico-chimiques entre autres [4, 5]. Cette démarche mathématique aide à révéler les relations pouvant exister entre les différents paramètres et à en tirer des informations importantes [6, 7]. Autrement dit, elle permet de faire ressortir les aspects pertinents des données d'étude [8]. Ainsi, une pareille activité nécessite au minimum, comme support, une infrastructure de données pouvant pérenniser les données et répondre à cette exigence. Aussi, la modélisation de ces données consiste-t-elle en réalité à dérouler une démarche aidant à la description de la structure, des relations, des impératifs et des associations liées aux informations disponibles. L'utilisation du modèle permet donc d'anticiper d'éventuels problèmes de ressources avant qu'ils adviennent [9]. De plus, l'implémentation de ce modèle conduit à la mise en place d'une base de données (BD) qui est un recueil cohérent d'informations sur le sujet. La BD guide les dispositifs informatiques de mise en forme, de stockage et d'utilisation d'informations [10]. Par ailleurs, la plupart des grandes agglomérations africaines au sud du Sahara sont construites sur les rives d'un fleuve, lac, estuaire ou lagune [11]. De ce fait, des pressions diverses et multifformes s'exercent sur leur équilibre physico-chimique [12] conduisant la plupart du temps à des catastrophes écologiques. Aussi, ces plans d'eaux permettent-ils l'exercice de plusieurs activités socio-économiques (tourisme, port, pêches, etc.) [13]. S'ils font l'objet d'études fréquentes et parfois même à la demande des États [14], il n'en demeure pas moins que les données restent parcellaires et éparses. Ce constat biaise ainsi les prises de décisions quant aux anomalies temporelles survenant au sein des lagunes. La lagune Aby, sous-unité du système lagunaire Ébrié (Côte d'Ivoire) a connu un suivi de la qualité physico-chimique de ses eaux de 2007 à 2009. L'analyse des données générées a alors révélé des variabilités plus ou moins prononcées avec des données existantes [16]. Elle a même contribué à attirer l'attention des communautés sur la nécessité de mettre en œuvre des

mesures de préservation des lagunes ivoiriennes. Cependant, l'inexistence de gestion de ces mesures à travers des supports numériques ne serait-elle pas une des causes de niveaux de réussite souvent mitigés ? Dans la présente étude, la mise en place d'une infrastructure de gestion numérique de paramètres physico chimiques s'appuie sur la modélisation informatique en utilisant le couple 2TUP et UML. L'objectif de ce travail est de contribuer à produire un système de gestion simplifié des données générées lors des études en lagune Aby. Cela consistera au prétraitement des données et à proposer un modèle à travers l'analyse et la conception.

2. Matériel et méthodes

2-1. Présentation de la zone d'étude

La lagune Aby est située au Sud-Est de la Côte d'Ivoire **Figure 1** et s'étend entre 2°51'-3°21' de longitudes Est et 5°05'-5°22' de latitudes Nord [12, 16]. Elle constitue la frontière naturelle entre la Côte d'Ivoire et le Ghana qui en détient plus du quart de sa superficie.

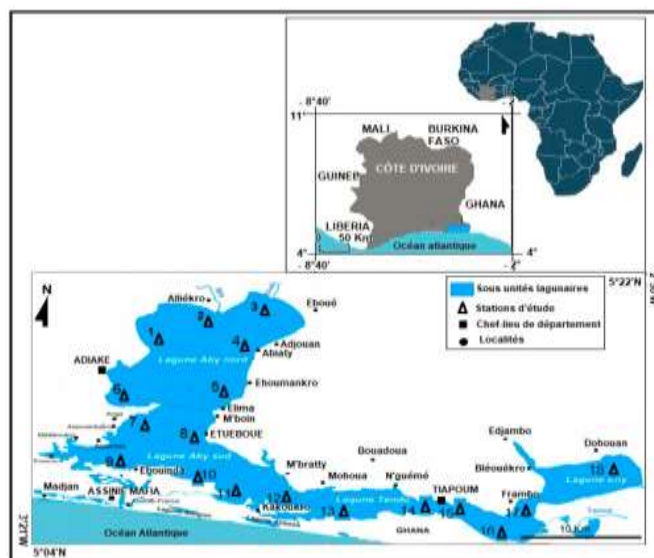


Figure 1 : Localisation et situation des stations d'étude en lagune Aby

Cette lagune estuarienne et de dimension moyenne car elle s'étend sur 24,5 km en direction du nord et 56 km d'Est en Ouest. Sa plus grande largeur est de 5,5 km au Nord alors que la plus petite ne mesure qu'un peu plus d'un km à l'Est ; sa superficie est estimée à 425,3 km². Le complexe lagunaire Aby est subdivisé en quatre sous-unités (dénomination locale) [17, 18] qui se distinguent les unes des autres par les caractéristiques confinées dans le **Tableau 1** suivant :

Tableau 1 : Subdivision, superficie, volume et profondeurs de la lagune Aby [19]

Ensemble	Sous ensemble	Surface (km ²)	Volume (.10 ⁶ m ³)	Profondeur maximum (m)	Profondeur moyenne (m)
Aby	Aby nord	166,3	725	16	4,4
	Aby sud	139,5	624	17	4,7
	Tendo	73,7	189	10	2,6
	Ehy	45,8	71	2	1,5
	Total	425,3	1609	-	-
				17	3,8

La lagune Aby possède une communication permanente avec l'Océan Atlantique via la passe d'Assinie [2, 20]. Par ailleurs, le relief de son bassin versant est relativement faible. Ce qui a permis d'y installer plusieurs villages et plantations, facteurs d'influences plus ou moins directes des paramètres physico-chimiques en lagune Aby. La lagune Aby est sujette comme la plupart des plans d'eau de surface en Afrique, à l'anthropisation de ses bords. Bien plus, tout son bassin versant abrite plusieurs activités agro-industrielles potentiellement pourvoyeuses de déchets divers. Les apports en métaux lourds ont reflété les contraintes sur les paramètres physico-chimiques. Celles-ci ont présenté des variabilités saisonnières lors des travaux de [21] qui servent de support à la présente étude.

2-2. Matériel et données

Le matériel et les données utilisés dans le cadre de ce travail sont composés :

- des données compilées des paramètres physico-chimiques générées de dix-huit (18) stations lors des campagnes d'étude sur l'unité lagunaire Aby ;
- d'un recueil de valeurs seuils ou références (normes) des différents paramètres physico-chimiques étudiés ;
- de matériel informatique ;
- de logiciels.

2-2-1. Données physico-chimiques

Les données exploitées dans le cadre de notre étude sont issues de campagnes saisonnières d'échantillonnage du Centre de Recherches Océanographiques (CRO) Abidjan (Côte d'Ivoire) de la période de Décembre 2007 à Novembre 2009. Vingt (20) paramètres ont été observés lors des campagnes sur dix-huit (18) stations en lagune Aby. Cette unité lagunaire est subdivisée en quatre sous-entités principales distinctes les unes des autres par leurs caractéristiques physico-chimiques essentiellement : les lagunes Aby Nord et Aby Sud à l'Ouest, Tendo au Centre et Ehy à l'Est. Un regroupement de ces stations par sous-entités lagunaires illustré dans le **Tableau 2** a été observé par des travaux précédents [14, 20] au regard de la variabilité des paramètres physico-chimiques.

Tableau 2 : Entités Lagunaires, Sous-Entités et Numéro des stations

Entité lagunaire	Sous-Entité lagunaire	Station(s)
Aby	Aby Nord	1 – 6
	Aby Sud	7 – 12
Tendo	Tendo	13 – 17
Ehy	Ehy	18

Quelques données ayant servies de support à la présente étude ont été présentées dans le **Tableau 3**.

Tableau 3 : Exemple de données brutes servant de support à la présente étude [21]

n° Stations	Temp (°C)	pH	Salinité	Transpa (m)	Prof (m)	OD (mg/L)	NO2- (µmol/L)	NO3- (µmol/L)	NH4+ (mg/L)	P Tot (µmol/L)	MES Tot (mg/L)	Chl a (mg/L)
1	30,2	8	1,20	0,58	2,20	5,79	0,28	0,75	19,05	0,87	50,98	80,62
3	30,6	7,31	0,40	0,90	2,20	5,52	0,51	1,41	25,71	0,69	53,73	18,51
4	31,9	7,78	0,73	0,93	3,10	5,52	0,62	1,37	21,90	0,61	56,60	31,23
6	30,8	8,03	2,10	1,03	4,20	5,77	0,30	0,85	27,62	0,93	34,75	32,67
7	31,3	7,83	1,97	1,28	2,60	7,07	0,19	0,82	28,57	2,09	44,27	53,97
8	30,7	7,84	2,63	0,90	4,70	5,97	0,32	1,50	18,79	0,93	25,03	36,96
9	30,9	7,06	2,67	0,78	2,70	5,54	0,35	1,41	11,05	1,32	22,11	20,51
11	30,1	7,82	2,20	1,10	3,70	6,25	0,23	1,60	17,86	0,61	60,48	67,70
14	31,4	7,93	1,23	1	3,60	5,36	0,67	1,85	32,38	0,75	41,90	19,38
16	30,4	7,53	0,27	0,63	2	6,08	0,67	1,83	31,90	1,32	35,05	23,03
18	29,7	7,41	0,03	0,77	3,70	5,67	0,23	1,16	12,38	1,03	38,76	19,16
	Pb					Cd					Mn	
n° Stations	Pb-F1	Pb-F2	Pb-F3	Pb-F4	Pb-F5	Cd-F1	Cd-F2	Cd-F3	Cd-F4	Cd-F5	Mn-F1	Mn-F2
1	1,80	11,11	31,55	6,46	18,60	0,02	0,42	1,01	2,24	0,18	10,65	53,75
3	1,40	12,11	27,11	10,14	26,47	0,02	0,69	0,94	2,84	0,23	10,98	53,87
4	1,96	6,91	35,26	4,55	26,99	0,05	0,36	0,60	1,66	0,23	15,96	48,07
6	1,77	8,37	28,91	6,33	17,61	0,17	0,88	1,86	3,30	0,58	12,66	47,83
7	2,02	10,97	27,24	5,38	23,58	0,02	0,49	0,85	1,51	0,13	29,76	60,27
8	3,21	11,04	33,88	11,04	19,83	0,03	0,75	0,60	1,30	0,41	18,50	63,27
9	2,34	14,51	34,96	7,63	28,58	0,04	0,35	0,87	1,92	0,41	16,25	78,34
11	2,62	13,90	23,43	11,65	20,94	0,04	0,22	0,52	1,20	0,12	17,70	77,12
14	1,19	8,60	28,19	5,91	24,03	0,06	0,46	0,70	2,62	0,35	11,21	65,93
16	2,44	12,10	33,77	8,26	27,81	0,01	0,24	0,63	2,07	0,23	33,16	64,62
18	2,70	12,79	44,45	10,81	32,59	0,03	0,44	1,07	2,32	0,33	13,75	45,36

2-2-2. Valeur seuil

Un recueil de valeurs seuils est requis pour toutes les études d'anomalies. Dans le cadre de cette étude, ces valeurs sont présentées dans le **Tableau 4**. Elles sont définies par des normes à respecter (niveau guide) et des maximums admissibles. Ce tableau résulte de la collecte de données de référence fournies par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2006) et de la Commission de Protection des Eaux, du Patrimoine, de l'Environnement, du Sous-sol et des Chiroptères de la France (C.P.E.P.E.S.C, 2017).

Tableau 4 : Normes OMS de quelques paramètres physico-chimiques des eaux de surfaces

Paramètres	Normes O.M.S. (mis à jour en 2006)	
	Niveau guide	Maximum admissible
1 pH		$6,5 \leq \text{pH} \leq 9,5$
2 Oxygène dissous (mg.L ⁻¹)	5	10
3 Nitrites (mg.L ⁻¹)	0,01	3
4 Nitrate		50
5 Ammonium (mg.L ⁻¹)	0,05	0,5
6 Plomb (mg.L ⁻¹)		0,01
7 Cadmium (µg.L ⁻¹)		0,003
8 Manganèse (mg.L ⁻¹)		0,4
9 Zinc (mg.L ⁻¹)		3
10 Température (°C)		$20 \leq T \leq 25,5$
11 Salinité	0	3
12 Chlorophylle	10	60
13 Transparence	0,16	0,6
14 Profondeur	1	1,8
15 Azote Kjeldahl	1	20
16 Azote total	0,05	0,5
17 Phosphore total	0,05	0,2
18 Phosphate	0,1	0,5
19 Matière en suspension	25	50
20 Cobalt (µg/L)		0,5

Le recueil des valeurs seuils des paramètres physico-chimiques ci-dessus a constitué la référence pour l'élaboration des tests de variabilité comme l'a signifié ce travail [21].

2-2-3. Matériel informatique

Le matériel informatique utilisé est composé des éléments suivants :

- un micro-ordinateur de caractéristiques (MacBook Pro, processeur 2,5 GHz Intel Core i5, mémoire RAM 16 Go 1600 MHz DDR3, disque dur HDD 1To) est la machine cliente qui a servi à la connexion au serveur pour effectuer la conception des différents diagrammes ;
- un serveur (HPE ProLiant DL380 Gen9, processeur : Intel Xeon E5-2620V3 / 2.4 GHz 3.2 GHz 6 cœurs, mémoire RAM : 16 Go, disque dur 1 HDD : 5 To, disque dur 2 HDD : 7 To);
- le package WampServer est un package contenant entre autres des serveurs Apache et MySQL. Il a été déployé en vue d'exploiter le SGBDR MySQL pour l'implémentation et l'administration de notre base de données ;
- Powerdesigner 15 a été pour le design et la conception des différents diagrammes jusqu'au modèle physique de notre base de données ;
- SQL a été utilisé comme langage de création et de manipulation de la base de données ;

2-3. Méthodes

La démarche utilisée dans le cadre de travail sera déclinée en trois phases comme illustrées sur la **Figure 2** :

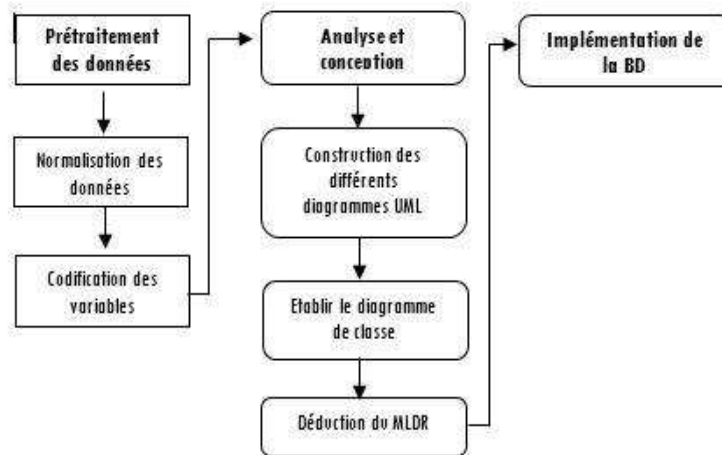


Figure 2 : Démarche d'analyse, conception et l'implémentation de la base de données

Ces étapes sont :

- la phase de prétraitement à travers la normalisation et la codification ;
- l'analyse des données et la conception du modèle ;
- l'implémentation de la base de données.

Par ailleurs, les solutions de cette étude sont appelées à évoluer dans le temps.

2-3-1. Phase de prétraitement

Le prétraitement d'un jeu de données est une étape relativement importante. La sélection et le nettoyage des données se font pour éviter l'utilisation de données peu fiables et incomplètes. Aussi, cette étape préliminaire est-elle une phase qui conditionne une bonne étude sinon elle nous aide à éviter une modélisation falsifiée ou trompeuse.

2-3-2. Approche de modélisation

L'approche de modélisation utilisée dans le cadre de ce travail est le couple 2TUP/UML. UML est une formalisation très précise parfaitement adaptée à la modélisation objet. Ce support de communication permet de faciliter la représentation et la compréhension de solutions objet. Il exprime les limites, les ambiguïtés, les incompréhensions et est complètement indépendant de tout langage de programmation. Il faut cependant l'associer à une démarche et une organisation (RUP de Rational ou 2TUP par exemple) pour constituer une méthode [22]. UML est beaucoup plus complet [23]. Le langage comporte de nombreuses notations spécifiques et s'est construit dans la volonté d'être le plus fidèle à la réalisation finale du système qui sera implémenté. L'UML, associé à certains langages comme Java, prend tout son sens. De plus, étant plus récent, il est raisonnable de considérer que les entreprises l'utilisant sont plus habituées à un cycle de développement itératif (avec des modules réalisés un par un, constitués de prototypes successifs, etc) plus intéressant, notamment pour rassurer les clients (et dans une certaine mesure aussi les employés) en observant petit-à-petit l'évolution du travail [23]. Cependant, dans certains cas, l'on observe un emploi de l'UML au milieu d'une modélisation Merise, ce qui a l'avantage de réunir les atouts des deux modèles. Merise et UML ne sont donc pas vraiment des concurrents et le choix de l'un ou de l'autre dépend avant tout des objectifs visés.

2-3-3. Implémentation de la base de données

Une base de données est une collection de données cohérentes sur un sujet donné et susceptible d'être stockée sous la forme de fichier sur un support. Elle est au centre des dispositifs informatiques de collecte, stockage et utilisation d'informations. Elle présente un certain nombre de caractéristiques telles que la confidentialité, l'intégrité, la disponibilité, la cohérence et la sécurité. Ainsi, pour implémenter la BD, le choix d'un système de gestion de base de données (SGBD) s'impose après une étude comparative des SGBDR les plus répandus dans le **Tableau 5** suivant :

Tableau 5 : Tableau comparatif des trois principaux SGBDR

	Oracle DB	MySQL	SQL Server
Vitesse	++	+++	++
Coût	+	+++	++
Robustesse	+++	++	++
Sécurité	+++	++	+

Légende : +++ : le meilleur des 3 ; ++ : Bonne performance ; + : le moins bon des 3

3. Résultats

L'approche méthodologique utilisée pour cette étude nous a permis d'obtenir des résultats probants.

3-1. Prétraitement des données

Cette phase nous permet d'avoir un jeu de données normalisées et codifiées. Elle nous a aussi permis de ressortir les données incomplètes et non fiables. En outre, elle nous a montré les liens existants entre les différentes variables de cette étude. La synthèse des données prétraitées est consignée dans le **Tableau 6** suivant.

Tableau 6 : Données après prétraitement

N°	Paramètres	Codifications	Type	Résumé Statistiques				Données		Unités
				Moy	SD	Min < Med < Max	IQR	Valides	Manquantes	
1	pH	pH	num	7.6	0.4	6.6 < 7.7 < 8	0.5	100 %	0 %	
2	Oxygène dissous	OD	num	6	0.7	4.9 < 5.8 < 7.7	0.6	100 %	0 %	mg.L ⁻¹
3	Nitrites	NO2	num	0.3	0.2	0.2 < 0.3 < 0.7	0.1	100 %	0 %	mg.L ⁻¹
4	Nitrate	NO3	num	1.1	0.4	0.6 < 1.1 < 1.9	0.6	100 %	0 %	mg.L ⁻¹
5	Ammonium	NH4	num	20.7	6.8	11.1 < 20.5 < 32.4	10.1	100 %	0 %	mg.L ⁻¹
6	Plomb	Pb_Mob	num	45	6.7	38 < 44.1 < 59.9	8.1	61.11 %	38.89 %	ppm
7	Cadmium	Cd_Mob	num	1.4	0.6	0.8 < 1.4 < 2.9	0.4	61.11 %	38.89 %	ppm
8	Manganèse	Mn_Mob	num	128	20.3	106.1 < 125.4 < 175.5	25.1	61.11 %	38.89 %	ppm
9	Zinc	Zn_Mob	num	141.8	36.3	74 < 142.5 < 206	25.1	61.11 %	38.89 %	ppm
10	Température	Temp	num	30.8	0.7	29.6 < 30.8 < 31.9	1.1	100 %	0 %	°C
11	Salinité	sal	num	1.2	0.9	0 < 1.2 < 2.7	1.6	100 %	0 %	
12	Chlorophylle	Chl_a	num	33.2	17.7	18.5 < 28.9 < 80.6	15.3	100 %	0 %	mg.L ⁻¹
13	Transparence	Transpa	num	0.9	0.2	0.6 < 0.9 < 1.4	0.3	100 %	0 %	m
14	Profondeur	Prof	num	3.1	1.2	1.3 < 2.9 < 5.6	1.6	100 %	0 %	m
15	Azote Kjeldahl	NTK	num	0.4	0.2	0.2 < 0.5 < 0.8	0.3	100 %	0 %	mg.L ⁻¹
16	Azote total	N_tot	num	0.7	0.2	0.3 < 0.7 < 1	0.4	100 %	0 %	
17	Phosphore total	P_tot	num	0.9	0.4	0.4 < 0.8 < 2.1	0.3	100 %	0 %	µmol/l
18	Phosphate	PO34	num	0.8	0.3	0.4 < 0.7 < 1.7	0.3	100 %	0 %	µmol/l
19	Matière en suspension totale	MES_tot	num	41.1	10.8	22.1 < 40.2 < 60.5	14.5	100 %	0 %	mg.L ⁻¹
20	Cobalt	Co_Mob	num	21.1	2.2	17.9 < 21.6 < 25.6	2.8	61.11 %	38.89 %	

Num : Numérique, Moy: Moyenne, SD : Écart-type, Min : Minimum, Max : Maximum, IQR : Intervalle interquartile

Le prétraitement a également permis de compléter les données de base avec l'étendue de chaque variable en y ajoutant les moyennes, les pourcentages de valeurs manquantes et les intervalles interquartiles.

3-2. Description des acteurs de l'étude

Les acteurs sont organisés en deux catégories que sont les acteurs dits primaires (tous les acteurs sauf le Système Informatique) et secondaires. Leur description est consignée dans le **Tableau 7** :

Tableau 7 : Acteurs de l'étude

Acteurs		
Catégorie	Désignation	Rôles
Primaire	Enseignant-chercheur (EC)	Chef de Projet, personne chargée de diligenter une mission d'étude sur les paramètres physico-chimiques. Consulte la plateforme et vérifie la disponibilité des données d'étude.
	Technicien (Tech)	Personne chargée d'effectuer la mission, d'effectuer les prélèvements et les analyses in situ. Renseigner les données après prélèvements.
	Administrateur Water ParaCollect (Admin)	Personne chargée d'administrer la base de données, faire le support, ajouter, modifier et retirer les utilisateurs, renseigner les données de base permettant une bonne utilisation de la plateforme. Gérer les différents profils
	Internaute (Int)	Personne externe à l'équipe, mais désirant avoir des informations sur les données
Secondaire	Système Informatique (SI)	Outil chargé de la disponibilité du système

Les acteurs primaires déclenchent les différents processus de gestion du système informatisé. Le Système Informatique quant à lui gère l'infrastructure de données. Il assure la pérennité des données à l'aide des autres acteurs (primaire) qui la sollicitent régulièrement pour la mise à jour et autres traitements.

3-3. Description des cas d'utilisations

Les cas d'utilisations (UC) identifiés sont réalisés à l'aide du déclenchement d'un processus. Pour une bonne compréhension, les UC sont regroupés en deux catégories qui sont :

- générique (S'authentifier, Consulter, Gestion des prélèvements, Gestion des analyses) décrivant les cas usuels d'utilisation;
- administration (Administrer paramètre, Administrer station, Administrer utilisateur) qui est un cas particulier d'utilisation destiné à la gestion de l'infrastructure; Cela est illustré dans le **Tableau 8**.

Tableau 8 : Différents UC de l'infrastructure de données

Catégorie	N°	Désignation des UC	EC	Tech	Admin	Int	SI
Générique	1	S'Authentifier	X	X	X		X
	2	Consulter	X	X	X	X	X
	3	Gestion des prélèvements	X	X	X		X
	5	Gestion des analyses	X		X		X
Administration	6	Administrer paramètre			X		X
	7	Administrer station			X		X
	8	Administrer utilisateur			X		X

L'UC « Consulter » est utilisé par tous des acteurs ne nécessitant pas d'authentification, il permet à tous d'avoir une vue sur les données. La catégorie « Administration » est utilisée par un type d'utilisateurs spécifiques chargé de la bonne marche de la plateforme. La **Figure 4** présente le diagramme général des cas d'utilisation.

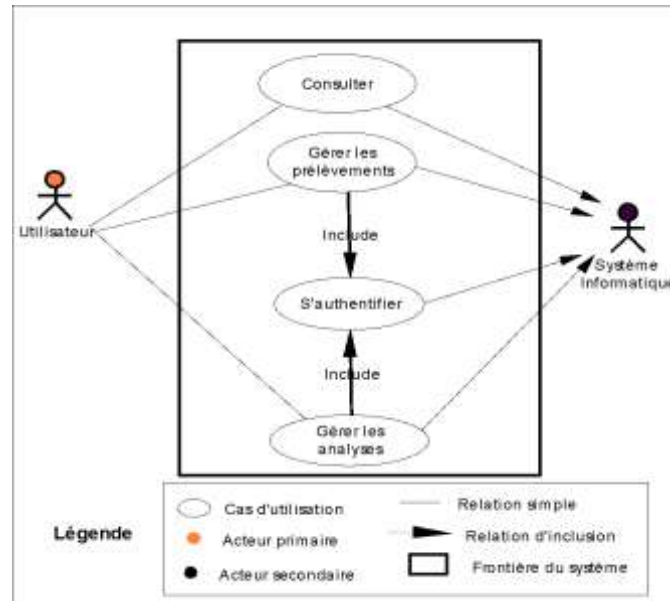


Figure 4 : UC général

Le cas « S'authentifier » est nécessaire pour avoir accès aux autres cas d'utilisations. Le cas « Gestion des analyses » permet d'effectuer les différentes analyses requises pour ressortir la description des variables, les anomalies ou écarts aux normes. Quant au cas d'utilisation « Gestions des utilisateurs », il sert à créer, modifier et supprimer des utilisateurs. Il permet également de donner des droits ou des profils permettant de réaliser des tâches spécifiques. Cependant, il est bien de rappeler qu'en ce qui concerne l'acteur primaire « Utilisateur », il représente tous les utilisateurs de l'étude avec des droits différents. Enfin, le UC « Gestion des prélèvements » est le cas le plus important de cette étude, déclencheur de la démarche menant à la gestion des anomalies illustrée sur la **Figure 5**.

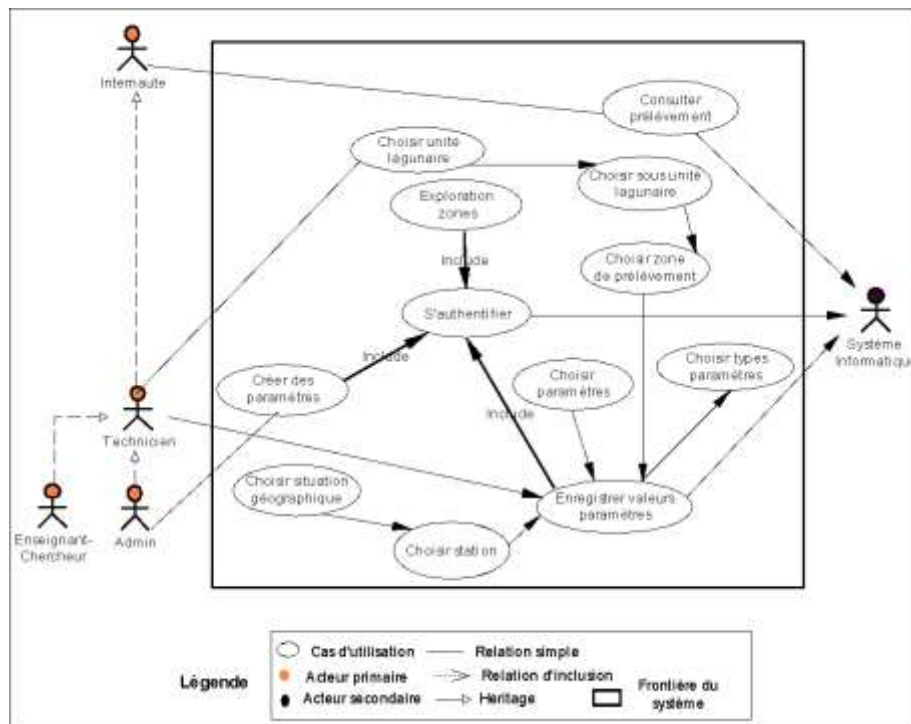


Figure 5 : Diagramme du cas d'utilisation « Gestion des prélèvements »

L'étude des anomalies des paramètres physico-chimiques est organisée autour des prélèvements des valeurs des différents paramètres. En effet, le cas d'utilisation « Gestion des prélèvements » met en exergue deux types d'acteurs que sont les acteurs primaires et secondaires. En ce qui concerne les premiers (Enseignant-Chercheur (EC), Technicien (Tech), Administrateur (Admin), Internaute(Int)), ils agissent en interaction avec le second (Système Informatique (SI)) pour permettre la bonne marche de la plateforme. Dans ce diagramme, l'héritage (matérialisé par les flèches entre les acteurs primaires) exprime la possibilité qu'un utilisateur effectue les actions de l'utilisateur situé plus haut. Le processus de prélèvements fait intervenir pratiquement tous les différents cas d'utilisation suivants : « S'authentifier », « Consulter », « Gestion des prélèvements » et la « Gestion des utilisateurs ». C'est après ce processus qu'il est possible d'effectuer « la gestion des analyses », seul cas d'utilisation non pris en compte dans la « gestion des prélèvements ». Pour une gestion plus élaborée, l'administrateur est le seul à effectuer toutes les actions possibles et met en place le choix des types de paramètres, les paramètres, les zones de prélèvements, les stations, les situations géographiques, etc. Il ajoute les utilisateurs avec leurs différents profils. Pour finir, il valide les inscriptions des internautes souhaitant consulter les données (UC Consulter prélèvement) sur la plateforme. Ainsi, les actions des intervenants sur la plateforme s'effectuent comme suit :

- l'internaute ne peut que consulter;
- le technicien enregistre les valeurs des paramètres;
- L'EC effectue les analyses ;
- l'administrateur peut effectuer toutes les actions de gestion liées à la plateforme.

La saisie des valeurs d'un prélèvement peut être faite par un technicien, un EC ou l'admin. À cet effet, il faut s'être authentifié (se connecter) pour le faire. Pour cela, l'acteur choisit l'unité et la sous-unité lagunaire concernée. Ensuite, la zone de prélèvement (elle est liée à la sous-unité lagunaire), le paramètre et le type de paramètre de la station souhaitée sont choisis. La station est liée à une situation géographique. Finalement, la saisie de la valeur du paramètre est effectuée et les informations récoltées sont stockées dans le système informatisé. Après ce processus, tous les acteurs peuvent consulter les données.

3-4. Diagramme d'activité (DA)

Le diagramme d'activité (*Figure 6*) représente les enchaînements d'activités concernant la gestion du prélèvement. Le processus de prélèvement et les activités permettant au processus de bien s'exécuter en sont illustrés.

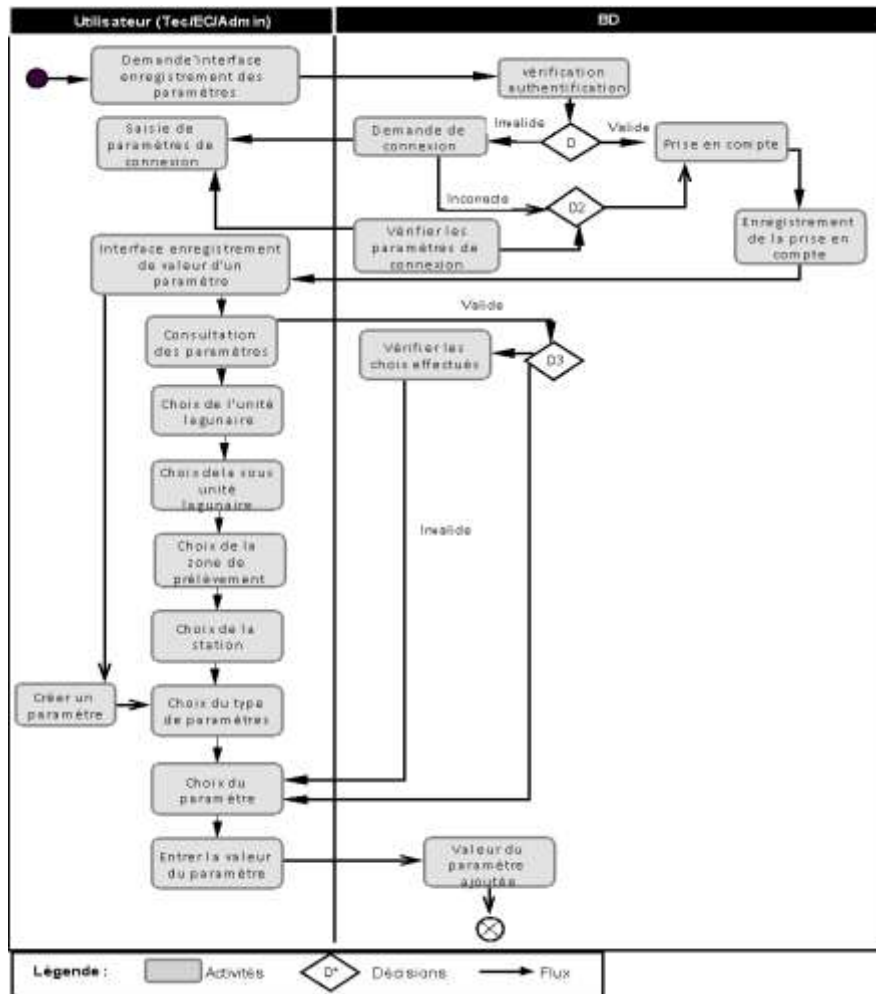


Figure 6 : Diagramme d'activité « Gestion des prélèvements »

Ce diagramme représente l'interaction entre les acteurs principaux et le système informatisé mis en place. Le processus de prélèvement est déclenché par les acteurs primaires à partir de l'action « demande de l'interface de prélèvement ». L'accès à cette interface est soumis à une authentification de l'acteur à travers un formulaire de sécurité « Page de connexion ». Ainsi, pour enregistrer un prélèvement, il faut une certification de l'identité de l'internaute (processus contrôlé et géré par la BD) pour mener cette action. Par la suite, l'utilisateur pourra effectuer le choix des paramètres et autres éléments (type de paramètres, station, etc.) à travers les masques de saisie et enregistrer son prélèvement.

3-5. Diagramme des classes

Le modèle obtenu à travers cette étude est représenté par le diagramme de la **Figure 7**.

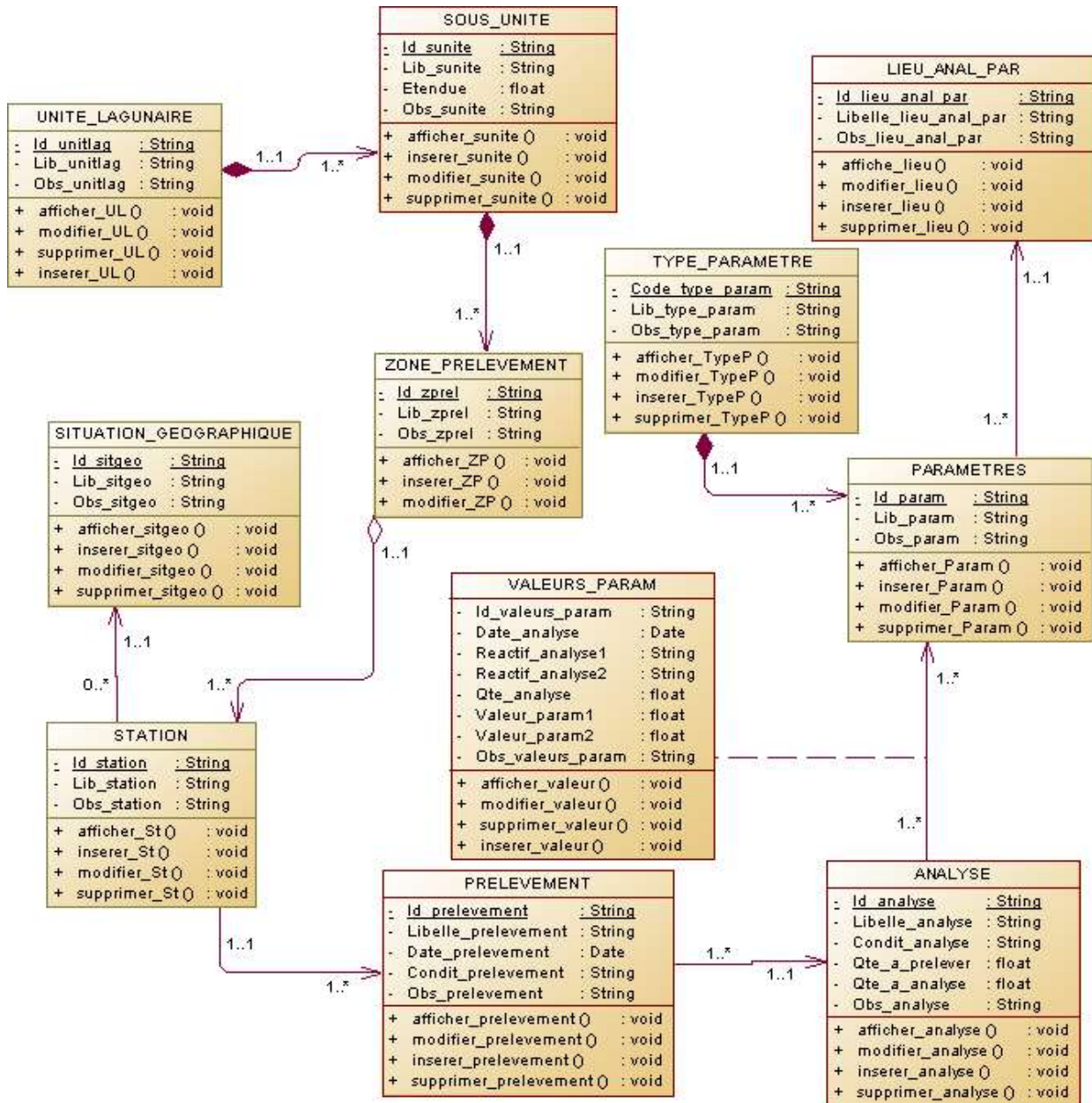


Figure 7 : Diagramme des classes (DC)

Le DA permet de décrire les actions concernant les différents processus interactifs à modéliser. À l'aide de ce diagramme, la construction du DC a pu se faire avec ses objets constituant l'infrastructure de données c'est-à-dire les attributs, les opérations et les méthodes qui sont associées.

3-6. Modèle logique de données relationnelles (MLDR)

Le MLDR décrit la structure de données utilisée sans faire référence à un langage de programmation. Il est construit à partir du DC en respectant un certain nombre de règles de passage du DC en MLDR comme le montrent les travaux [24, 25]. Nous nous intéresserons au contenu sans préjuger des méthodes de stockage (index, pointeurs, fichiers adressés, etc.) et sans toutefois ignorer les limites et les possibilités de ces fichiers. Nous ne tiendrons donc pas compte des formats physiques de stockage ni des méthodes d'accès. Le MLDR obtenu à partir du DC est représenté comme suit :

ANALYSE (Id_analyse, Libelle_analyse, Condit_analyse, Qte_a_prelever, Qte_a_analyse, Obs_analyse)
 LIEU_ANAL_PAR (Id_lieu_anal_par, Libelle_lieu_anal_par, Obs_lieu_anal_par)
 PARAMETRES (Id_param, Code_type_param#, Id_lieu_anal_par#, Lib_param, Obs_param)
 PRELEVEMENT (Id_prelevement, Id_station#, Id_analyse#, Libelle_prelevement, Date_prelevement, Condit_prelevement, Obs_prelevement)
 SITUATION_GEOGRAPHIQUE (Id_sitgeo, Lib_sitgeo, Obs_sitgeo)
 SOUS_UNITE (Id_sunite, Id_unitlag#, Lib_sunite, Etendue, Obs_sunite)
 STATION (Id_station, Id_zprel#, Id_sitgeo#, Lib_station, Obs_station)
 TYPE_PARAMETRE (Code_type_param, Lib_type_param, Obs_Type_param)
 UNITE_LAGUNAIRE (Id_unitlag, Lib_unitlag, Obs_unitlag)
 VALEURS_PARAM (Id_analyse#, Id_param#, Date_analyse, Reactif_analyse1, Reactif_analyse2, Qte_analyse, Valeur_param1, Valeur_param2, obsValeursParam)
 ZONE_PRELEVEMENT (Id_zprel, Id_sunite#, Lib_zprel, Obs_zprel)

3-7. Description de quelques tables

La base de données de l'étude utilise un ensemble de tables pour la pérennisation des données à savoir :

- ◆ SITUATION_GEOGRAPHIQUE, UNITE_LAGUNAIRE, SOUS_UNITE, ZONE_PRELEVEMENT pour la localisation des lieux des campagnes ;
- ◆ STATION, PARAMETRES, TYPE_PARAMETRES pour les données de référence ;
- ◆ PRELEVEMENT, LIEU_ANAL_PAR, VALEURS_PARAM, ANALYSE pour les données issues des campagnes et des analyses.

4. Discussion

4-1. Vue dynamique de la modélisation

Les lagunes de Côte-d'Ivoire sont des espaces aux énormes potentialités dont les pourtours sont occupés depuis plusieurs années par des populations dites « lagunaires ». Leur étude, en particulier celle d'Aby s'insère dans un vaste projet de surveillance et de protection de l'ensemble des plans d'eau lagunaire initiée par les autorités ivoiriennes. En effet, ces dernières ne disposaient d'aucune BD leur permettant de surveiller et de prédire d'éventuels problèmes. Il se pose alors différentes préoccupations parmi lesquelles la lenteur observée dans le traitement des informations liées à la qualité de l'eau pour diverses activités (la pêche, la pisciculture, la baignade, etc.). À cela, l'on note que lorsque quelques données existent, le risque de perte d'informations est élevé. Quand les données sont recensées, elles le sont de façon disparate dans des registres, non structurées et sans sécurité [26]. Ce qui engendre la confusion des documents, la difficulté de retrouver un dossier, de renseigner un usager, etc. En outre, il faut ajouter la perte de temps pour la recherche d'une donnée pertinente. La présente solution proposée par cette étude met en place un modèle numérique pour la gestion intégrée de ces différentes données liées à l'eau de surface de la sous-unité Aby. De ce fait, plusieurs études [2, 9, 15, 26] sont menées dans ce sens pour en sortir les caractéristiques et trouver des solutions. Ces solutions semblent organiser les différentes données et formaliser les traitements de dossiers pour le bon fonctionnement de leur gestion, comme l'a fait remarquer [28]. De plus, le modèle prévoit un impact plus fort dans la description de la structure, des associations, des relations et des impératifs liés aux données disponibles [29, 30]. Cela est d'une importance capitale pour les prises de décisions. Un autre avantage du présent travail est l'orientation Web services qui permettrait une utilisation plus étendue des données sur les différents plans d'eau ivoiriens.

4-2. Vue statique

L'approche utilisée dans ce travail a permis de normaliser les données. Elle a aussi servi à jeter les bases d'un système intégré futur pour la gestion des paramètres physico-chimiques et ou des anomalies de l'écosystème étudié. Cette gestion pourrait s'étendre sur une exploitation spatio-temporelle à partir d'outil mobile ou web. Cette approche méthodologique pourrait à terme servir de base pour la mise en place d'un outil d'analyse de données comme le précise l'étude suivante [31] et ce dans le but de rendre plus efficaces les décisions et ou d'en ressortir les anomalies liées aux paramètres physico-chimiques. Comprendre des phénomènes naturels est devenu une nécessité inhérente dans le domaine de la science si bien que les modéliser paraît une solution appropriée pour une gestion plus efficiente des données. Cependant, bon nombre de travaux sur les paramètres physico-chimiques en Côte d'Ivoire [2, 11, 16, 26, 32] existent, mais rares sont ceux qui exploitent cette approche. À notre connaissance, toutes les études précédentes sur les paramètres physico-chimiques de la lagune Aby ont généralement porté sur l'analyse statistique, la bactériologie, la caractérisation, la classification, la variation [6, 7, 16, 18, 21]. De plus, d'autres formes d'étude (hydrologiques, hydro chimiques, dynamiques, etc.) [2, 3, 12, 20, 26] et même la recherche d'anomalies par d'autres procédés de ces estuaires sans toutefois aborder l'aspect de la modélisation orienté objet. Nous apportons donc cette contribution de la modélisation orienté objet pour permettre la collecte et la mise à disposition des données d'étude parcellaire pour d'autres études plus approfondies dans ce milieu. Ce travail montre également la modélisation des pratiques complexes telles que l'étude des paramètres physico-chimiques à partir des principales représentations du langage UML. Dans ce sens, il donne un apport significatif dans la mise en œuvre de solutions interactives comme la gestion des données liées à l'eau. Le couple 2TUP/UML répond aux exigences de cette gestion tant au niveau de l'analyse des besoins que de l'implémentation et ultérieurement de la programmation orientée objet [33]. Les résultats obtenus lors de son application à l'aide de différents diagrammes ont montré la pertinence de cette méthodologie comme le signifie plusieurs travaux [33, 34]. En effet, UML en tant que standard, basé sur un ensemble de diagrammes facilite la représentation et la compréhension de solutions objet complètement indépendant de tout langage de programmation. Adapté pour gérer l'aspect informatisé du système d'information, il est couramment associé à une démarche et une organisation [35]. La modélisation du couple 2TUP/UML utilise plusieurs diagrammes dont le DC qui est non moins le plus important mais celui assurant la mise en place de la base de données. Des études similaires réalisées [36, 37] révèlent qu'à travers un DC, l'approche UML permet de montrer la structure générale interne du système [38]. En effet, le DC a permis de mettre en place une représentation plus objective du système d'informations et a défini des liens entre les différentes données. Par exemple, sur la **Figure 7** représentant le DC, les classes « PRÉLÈVEMENT », « ANALYSE » et « PARAMÈTRES » servent à ressortir les informations pertinentes telles que :

- la liste des prélèvements à des dates données;
- les conditions d'analyse à une date précise;
- les paramètres physico-chimiques sur lesquels des analyses ont porté; etc.

Toutes ces informations sont enregistrées et archivées dans la base et pourraient faire l'objet d'utilisation ultérieures. Néanmoins, comme de nombreux auteurs [39 - 41], il semblerait que la modélisation à base d'UML reste insuffisante pour modéliser certains aspects des données complexes (mobiles, dynamiques, graphes). En d'autres termes, la modélisation par l'approche 2TUP/UML montre un certain nombre d'insuffisances quand il s'agit de modéliser dans un contexte interactif et spatio-temporel comme souligné dans les travaux suivants [41, 43]. Il importe donc d'optimiser à moyen terme le modèle pour lui permettre de prendre aussi en compte l'aspect spatial des paramètres physico-chimiques. Autrement, une extension du modèle objet UML par une approche de modélisation des données à caractère spatio-temporelles comme MADS (modélisation d'applications à données spatio-temporelles) ou Perceptory permettrait de gérer les données spatio-temporelles de la BD.

5. Conclusion

La lagune Aby est sujette comme la plupart des plans d'eau de surface en Afrique, à l'anthropisation de ses bords. Bien plus, tout son bassin versant abrite plusieurs activités agro-industrielles potentiellement pourvoyeuses de déchets divers. Pour une étude approfondie de cette eau de surface, il a été mis en place un modèle de données et une infrastructure grâce à l'usage d'outils informatiques modernes pour l'accueil des données analysées et futures. Cette étude propose un jeu de données normalisées et codifiées réalisées à l'aide d'outils de prétraitement. En outre, elle nous a montré les liens existants entre les différentes variables de cette étude. L'analyse et la conception ressortent premièrement les différents acteurs, leurs rôles ainsi que leurs interactions. Elles ont permis la mise en place des différents diagrammes (UC, activités et classes) pour la conception du modèle informatique. Pour finir, ces résultats ont conduit au MLDR sur lequel est conçue l'infrastructure dans le but de stocker les données dans une BD future et de la rendre accessible aux intéressés. De cette position, les données peuvent être manipulées en vue d'extraire des informations pertinentes nécessaires à une prise de décision. Au regard des résultats de cette étude, ce qui pourrait être considéré comme une limite est la non prise en compte des éventuelles collectes de données spatio-temporelles des paramètres physico-chimiques du plan d'eau.

Références

- [1] - E. CAMIZULI, « Impact des anciens sites miniers et métallurgiques sur les écosystèmes terrestre et aquatique actuels : étude comparative des deux moyennes montagnes : le Morvan et les Cévennes », Ecole doctorale Langages, Idées, Sociétés, Institutions, Territoires (Dijon ; 2007-2016), Dijon. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.theses.fr/2013DIJOL035>, Consulté le 14 Décembre 2021
- [2] - T. WANGO, M. MOUSSA, Y. A. N'GUESSAN et S. MONDE, « Hydrodynamique du complexe lagunaire Grand-Lahou, Ebrié et Aby (Côte d'Ivoire) : impacts des forçages fluviaux et de la marée », *Bull. L'Institut Sci. Rabat Sect. Sci. Terre*, N° 35 (2013) 27 - 38 p.
- [3] - S. ASSEMIAN-NIANGO, « Contamination par les esters de l'acide phtalique des sédiments d'une lagune tropicale : lagune Aby (côte d'ivoire) », *Adv. Eng. IJIRAE ISSN 2349-2763*, N° ue 11, Vol. 3, (2016) 10 p.
- [4] - M. K. YAO, D. C. AKMEL, K. L. AKPETOU, A. TROKOUREY, K. B. YAO, et N. E. ASSIDJO, « Modélisation de l'évolution spatio-temporelle du phosphore minéral dans une baie lagunaire hypereutrophe tropicale : la baie lagunaire de Tiagba (Côte d'Ivoire) », *Rev. Sci. L'eau*, vol. 30, N° 3, doi: 10.7202/1044250ar, (mars 2018) 247 - 258 p.
- [5] - R. KHAIRI, A. COATANHAY et A. KHENCHAF, « L'observabilité des états de mer pour l'océanographie : Analyse statistique de champs électromagnétiques de diffusion estimés à partir de simulations numériques », (Décembre 2010)
- [6] - N. BRINIS, A. BOUDOUKHA and A. AHMED HAMEL, « Analyse statistique et géochimique de la dynamique des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines du synclinal de ghassira Algérie orientale. » *LARHYSS Journal/P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782* 22 (2015) 123 - 137 p.
- [7] - H. AMADOU, M. S. LAOUALI et A. S. MANZOLA, « Analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux de trois aquifères de la région de Tillabery : application des méthodes d'analyses statistiques multi variées », (Décembre 2014) 25 - 41 p.
- [8] - A. D. DIALLO, N. K. IBNO, A. N'DIAYE, H. GARMES, M. KANKOU et O. WANE, « L'intérêt des méthodes d'analyses statistiques dans la gestion du suivi de la qualité physicochimique de l'eau de la rive droite du fleuve Sénégal », (mars 2014) 101 - 114 p.

- [9] - « La modélisation informatique : qu'est-ce que c'est, et à quoi sert-elle ? », *Portes Ouvertes*, (mai 2021). <https://www.esgi.fr/actualites/19052021-la-modelisation-informatique-quest-ce-que-cest-et-a-quoi-sert-elle> (consulté le 31 octobre 2021)
- [10] - J.-L. HAINAUT, *Bases de données : concepts, utilisation et développement*. Paris : Dunod, (2015) 736 p.
- [11] - A. MARCEL KOUASSI, D. GUIRAL et M. DOSSO, « Variations saisonnières de la contamination microbienne de la zone urbaine d'une lagune tropicale estuarienne cas de la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire) », *Rev. Hydrobiol. Trop.*, Vol. 23, N° 3 (1990) 181 - 194 p.
- [12] - T. K. MARTINE GAUZE, K. LAZARE KOUASSI et D. FRANÇOIS MALAN, « Caractérisation de la dynamique d'occupation du sol et de la morphologie de la Lagune Aby dans l'espace du Parc National des Îles Ehotile ; Sud-Est de la Côte d'Ivoire », *Eur. Sci. J. ESJ*, Vol. 15, N° 2, doi: 10.19044/esj.2019.v15n2p11, (30 janv. 2019)
- [13] - G. A. T. ADOU, « Femmes, commerce de produits halieutiques et structuration de l'espace lagunaire Aby », *EDUCI*, N° 2 (2014) 62 - 76 p.
- [14] - J. PAGES, L. LEMASSON et P. DUFOUR, « Pollution de la zone urbaine de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire) », *Doc Sci Cent. Rech Océan. Abidj.*, Vol. XI, N° 2 (1980) 79 - 107 p.
- [15] - K. L. AKPETOU, A. M. KOUASSI, B. T. A. GOULA, S. ASSEMIAN et K. AKA, « Nutrients induction on lead, cadmium, manganese, zinc and cobalt speciation in the sediments of Aby lagoon (Côte d'Ivoire) », *Int. J. Eng. Sci. Technol.*, Vol. 2, N° 8 (2010) 3894 - 3900 p.
- [16] - O. KAMBIRE, S. G. EBLIN. A. A ADINGRA, N. AKA, A. C. KAKOU et R. KOFFI-NEVRY, « Caractérisation des eaux d'une lagune estuarienne de la Côte d'Ivoire : la lagune Aby », *Larhyss J.*, Vol. 20, (2014) 95 - 110 p.
- [17] - E. CHARLES-DOMINIQUE, « L'exploitation de la lagune Aby (Côte d'Ivoire) par la pêche artisanale : dynamique des ressources, de l'exploitation et des pêcheries », *Thèse Biol. Popul. Ecol. Univ. Sci. Tech. Languedoc Montp.*, Vol. 120, (1994) 407 p.
- [18] - J. M. CHANTRAINE, « La lagune Aby (Côte d'Ivoire) morphologie, hydrologie, paramètres physico-chimie », *Océan. Abidj.*, Vol. XI, N° 02 (1980) 30 - 77 p.
- [19] - S. CLAON, « Exposition de l'écosystème et des populations riveraines de la lagune Aby au mercure, arsenic et sélénium », in », *Thèse de l'Université de Cocody, Abidjan - Cote d'Ivoire*, (2004) 204 p.
- [20] - B. S. METONGO, *Hydroclimat d'une lagune à forte influence continentale : la lagune Aby (Côte d'Ivoire)*. Abidjan : Cent. Rech. Océanogr, (1985) 29 - 44 p.
- [21] - K. L. AKPETOU, « Variation saisonnière de la spéciation de quelques métaux lourds (plomb, cadmium, manganèse, zinc et cobalt) sous l'effet de l'hydrologie en lagune Aby (Côte d'Ivoire) : aspects physico-chimiques de la mobilisation à partir des sédiments », in » *Thèse de l'Université d'Abobo-Adjame, Abidjan, RCI*, (2011) 149 p.
- [22] - L. DEBRAUWER et F. VAN DER HEYDE, *UML 2 : initiation, exemples et exercices corrigés*. St. Herblain : ENI, (2012) 270 p.
- [23] - P. ROQUES, *UML 2.5 par la pratique*, (2018). [En ligne]. Disponible sur : <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=1799060> Consulté le : (5 octobre 2021)
- [24] - C. SOUTOU et F. BROUARD, *UML 2 pour les bases de données*. Editions Eyrolles, (2012) 322 p.
- [25] - N. DENNOUNI et A. LEHIRECHE, « *Mise en œuvre d'un SIG route* », (2009) 6 p.
- [26] - L. AKPETOU, H. YAO, T. WANGO, S. ASSEMIAN., J. KOUA et A. M. KOUASSI, « Anomalistics of physical and chemical parameters variability under anthropogenic and natural conditions in the four sectors of Aby lagoon (Ebrié lagoon system, Côte d'Ivoire) », (2020) 34 - 40 p.
- [27] - M. C. S. VILLANUEVA, « Biodiversité et relations trophiques dans quelques milieux estuariens et lagunaires de l'Afrique de l'ouest : adaptations aux pressions environnementales », *Thèse Inst. Natl. Polytech. Toulouse*, (2004) 272 p.

- [28] - S. BENAICHOU, Bases de données et systèmes d'information : modèle relationnel, SQL, optimisation des requêtes, transactions, modélisation des données, (2017) 504 p.
- [29] - C. BROUARD et F. BROUARD, Modélisation des bases de données : UML et les modèles entité-association, [En ligne] : Disponible sur : <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=1631258>, (2017), Consulté le : (19 Décembre 2021)
- [30] - T. VAN DEN BERGHE, Bases de données pour managers : modélisation et utilisation, (2019) 196 p.
- [31] - S. BIMONTE *et al.*, « Un système décisionnel pour l'analyse de la qualité des eaux de rivières », *Rev. Sci. Technol. Inf. - Sér. ISI Ingénierie Systèmes Inf.*, Vol. 20, N° 3 (juin 2015) 143 - 167 p.
- [32] - Y. ISSOLA, A. M. KOUASSI, B. K. DONGUI et J. BIEMI, Caractéristiques physico-chimiques d'une lagune côtière tropicale : lagune de Fresco (Côte d'Ivoire) », (2008) 368 - 393 p.
- [33] - N. P. AKOGUHI, M. G. ADJA, D. MAMADOU, E. S. ASSOHOUN, K. A. J. KOUA et K. F. KOUAME, « Apport de la modélisation orientée objet dans l'analyse spatiale des infrastructures d'enseignement à l'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG) de Daloa, Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire », (2020) 105 - 123 p.
- [34] - X. DOLQUES, M. HUCHARD, C. NEBUT et P. REITZ, « Fixing Generalization Defects in UML Use Case Diagrams », *Fundam. Informaticae*, Vol. 115, N° 4, doi : 10.3233/FI-2012-658, (2012) 327 - 356 p.
- [35] - « *Processus unifié* », 30 septembre 2021. https://fr.wikipedia.org/wiki/Processus_unifi%C3%A9 (consulté le 20 novembre 2021)
- [36] - Y. RANJINI K. et A. KANTHIMATHI et YASMINE, « Design of Adaptive Road Traffic Control System through Unified Modeling Language. » *International Journal of Computer Applications*, 14 (7) (2011) 36 - 41
- [37] - J. ZHENG, Y. FENG et Y. ZHAO, « A Unified Modeling Language-Based Design And Application For A Library Management Information System », *Cybern. Inf. Technol.*, Vol. 14, N° 5, doi : 10.2478/cait-2014-0050, (2014) 129 - 144 p.
- [38] - J. RUMBAUGH, I. JACOBSON et G. BOOCH, The unified modeling language reference manual. Reading, Mass : Addison-Wesley, (1999) 568 p.
- [39] - F. PINET, A. LBATH, F. VIGIER et M. SCHNEIDER, « Conception de Systèmes d'Information à Référence Spatiale (SIRS) communicants pour les agrosystèmes », *Ingénieries Nspécial*, (2003) 143 - 155 p.
- [40] - MOHAMED DAHCHOUR, HAMZA RAYD, YOUNES LAKHRISSI et A. KRIOUILE, « Extension d'UML par les rôles », (2006) 14 p.
- [41] - D. D. O. OSSAMI, J. SOUQUIERES, et J.-P. JACQUOT, « Concepts importants à la construction de spécifications multi-vues UML et B », *Inf. Savoirs Décisions Médiations Inf. Sci. Decis. Mak.*, N° 13 (2004) 14 p.
- [42] - P. MARTIN, P. CLOUVEL, T. LIBOUREL ROUGE et P. REITZ, « Modélisation d'un système complexe - Une méthode déclarative », LIRMM, Research Report 13005. [En ligne]. Disponible sur : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00706573>, (2012), (Consulté le 21 Décembre 2021)
- [43] - P. ROQUES, *UML 2.5*, (2020) 14 p.