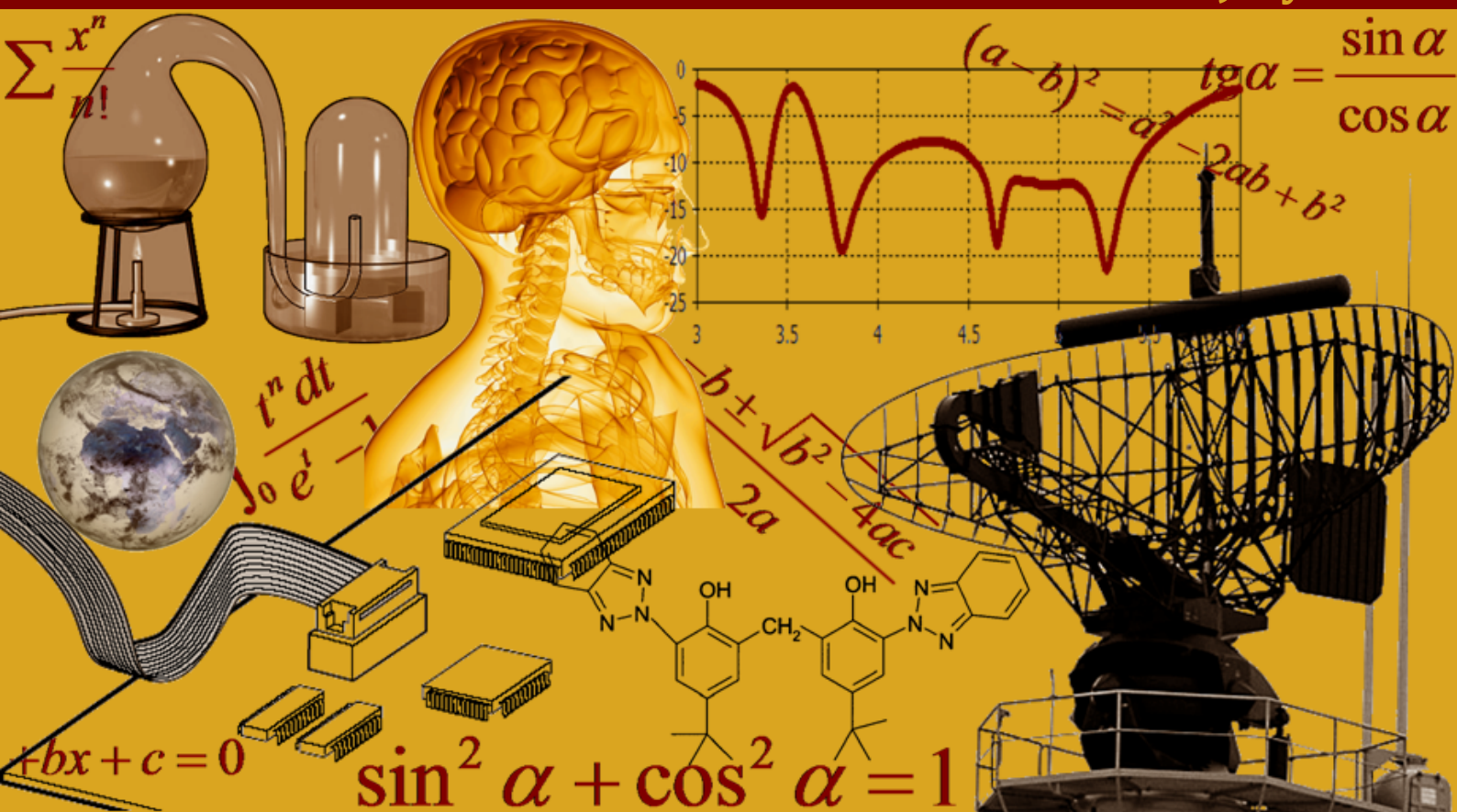


INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND SCIENTIFIC RESEARCH

Vol. 43 N. 2 July 2019



International Peer Reviewed Monthly Journal



International Journal of Innovation and Scientific Research

International Journal of Innovation and Scientific Research (ISSN: 2351-8014) is an open access, specialized, peer-reviewed, and interdisciplinary journal that focuses on research, development and application within the fields of innovation, engineering, science and technology. Published four times per year in English, French, Spanish and Arabic, it tries to give its contribution for enhancement of research studies.

All research articles, review articles, short communications and technical notes are sent for blind peer review, with a very fast and without delay review procedure (within approximately two weeks of submission) thanks to the joint efforts of Editorial Board and Advisory Board. The acceptance rate of the journal is 75%.

Contributions must be original, not previously or simultaneously published elsewhere. Accepted papers are available freely with online full-text content upon receiving the final versions, and will be indexed at major academic databases.

Editorial Advisory Board

K. Messaoudi, Hochschule für Bankwirtschaft, Germany
Sundar Balasubramanian, Medical University of South Carolina, USA
Ujwal Patil, University of New Orleans, USA
Avdhoot Walunj, National Institute of Technology Karnataka, India
Rehan Jamil, Yunnan Normal University, China
Sankaranarayanan Seetharaman, National University of Singapore, Singapore
Fairouz Benahmed, University of Connecticut Health Center, USA
Achmad Choerudin, ST.,SE.,MM., Academy Technology of Adhi Unggul Bhirawa, Indonesia
Mohammad Ali Shariati, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Iran
Md Ramim Tanver Rahman, Jiangnan University, China
Rasha Khalil Al-Saad, Veterinary Medicine College, Iraq
Neil L. Egloso, Palompon Institute of Technology, Philippines
Sanjay Sharma, Roorkee Engineering & Management Technology Institute, India
Ahmed Nabile Emam, National Research Center (NRC), Egypt
Md. Arif Hossain Jewel, Rural Development Academy, Bangladesh
N. Thangadurai, Jayalakshmi Institute of Technology, India
Urmila Shrawankar, G H Rasoni College of Engineering, India
Goutam Banerjee, Visva-Bharati University, India
Santosh Kumar Mishra, S. N. D. T. Women's University, India
Anupam Kumar, Ashoka Institute of Technology & Management, India

Table of Contents

Stratégie marketing des entreprises de transport public de personnes : Cas de l'agence de Transport Végor Trans	58-65
<u>KALALA MUTANDA Patrico</u>	
Etat des lieux de la logique RSFQ pour les applications spatiales	66-80
<u>Youssef Kebbat</u>	
Données préliminaires sur l'avifaune du barrage urbain de Koko (Korhogo, Côte d'Ivoire)	81-92
<u>Niamien Coffi Jean Magloire, ODOUKPE Radio Saint Guillaume, KOUE BI Tih Mathieu, YAOKOKORE-BEIBRO Kouassi Hilaire, and N'GORAN Kouakou Eliézer</u>	
Promoting Growth of Small and Medium-sized Enterprises through Innovation of Talents' Ideological Education and Ability Cultivation	93-98
<u>Chunying Zhang and Leilei Zhao</u>	
Impact de la faille des lagunes sur la genèse des grès bitumineux du Sud-Est de la Côte d'Ivoire : Aspect lithologique et environnemental	99-111
<u>Assalé Fori Yao Paul, ANO Nyamekai François d'Assise, KESSE Touvalé Marcel, KPLOHI Yaba Hervé, KOUAO Assié François, TAHE Thierry, and COULIBALY Aoua</u>	

Stratégie marketing des entreprises de transport public de personnes : Cas de l'agence de Transport Véjor Trans

KALALA MUTANDA Patrico

Assistant à l'Institut Supérieur des Techniques Appliquées de Kolwezi, RD Congo

Copyright © 2019 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Les entreprises de transport public des personnes dans l'ex province du Katanga doivent se doter d'une stratégie de marketing pour enfin tourner sans ambages ni emboîtement.

KEYWORDS: Stratégie, marketing, entreprises, transport public.

1 INTRODUCTION

La satisfaction des besoins constitue le fondement de la production des biens et services faits à partir de la combinaison des facteurs dits de production.

Parmi ces facteurs, le travail, qu'il soit manuel ou mécanisé, apparaît comme le facteur le plus déterminant.

Les besoins de l'homme sont diversifiés bien que les autres anthropologues, sociologues et psychologues les aient typés en grande classification, tels sont Abraham MASLOW, F. HERZBERT, FREUD, etc.

Parmi les besoins physiologiques, ceux de divertissement occupent une place de choix.

Dans les loisirs et divertissement, les besoins de manger, de boire et de transport sont présents. L'Ex-Province du Katanga, nous a servi de champs d'investigation pour étudier les problèmes relatifs au transport public des personnes applicables aux entreprises de transport public de personne comme exploité par Véjor Trans

En effet, L'ex province du Katanga, de par sa situation géographique, peut être considérée comme étant touristique et économique en raison de sites et piste automobile qu'elle renferme.

Sa situation proche des frontières de la République Démocratique du Congo, de l'Angola et de la Zambie, Katanga possède des sites touristiques et pistes automobiles en bon état depuis près de 12 ans.

Tous ces sites touristiques et activités d'exploitation minières et commerces sont susceptibles d'attirer de nombreux visiteurs et doivent être accueillis dans des hôtels tout comme dans les autocars où ils peuvent dormir et manger et se déplacer d'une ville à l'autre.

Actuellement, le pays cherche à redresser son économie à partir d'une exploitation rationnelle de ses ressources et une planification stratégique semble être la piste indispensable pour y aider. La planification stratégique est tellement importante que nous ne pouvons pas nous y soustraire si nous voulons maîtriser le futur.

Parmi les ressources potentielles du Congo, figurent les sites touristiques, l'exploitation minière et les transports, objet de la présente étude.

Après que, nous ayons observé les phénomènes relatifs à l'exploitation des sites touristiques et transports dans l'ex province du Katanga, il semble que les entreprises exploitant les activités de transport se heurtent à une série de difficultés qui accentuent la baisse de leur revenu. C'est particulièrement le cas de l'entreprise Véjor Trans œuvrant dans le secteur de Transport Public de Personnes

Cette situation s'accroît considérablement alors que la population s'accroît du jour au jour au Katanga et nous avons été amenés à nous poser quelques questions au sujet de la stratégie marketing pouvant être appliquée par Véjor Trans en vue de se positionner sur le marché de transport et prendre une grande part.

1. Pourquoi les entreprises de transports n'ont-ils pas encore réussi à relancer leurs activités malgré que la population s'accroisse ?
2. Quelle est la stratégie marketing à mettre en place pour inciter la population à fréquenter Véjor Trans ?

Au vu des questions posées dans la problématique, nous formulons les hypothèses de travail en ces termes :

1. Véjor Trans manquera-t-elle des stratégies marketing génériques pour relancer ces activités ?
2. Ensuite, la stratégie à mettre en place pour inciter la population locale à fréquenter Véjor Trans au cas où Véjor Trans n'arrête pas sa méthode de ramassage ?

Le choix de ce sujet est motivé par le souci de contribuer à l'identification et l'explication des causes de la baisse de recettes de Véjor Trans dans l'ex-province du Katanga

Le transport public de personnes intéresse bon nombre de commerçants et exploitant miniers de la province en tant que base de développement économique.

Sur le plan pratique, cette étude constituerait un cadre de référence non seulement pour les dirigeants de Véjor Trans mais aussi pour les responsables des services publics concernés. Ceux-ci pourraient y puiser des suggestions pouvant permettre de maîtriser les effets de la crise qui frappe leur système de travail. Managers, nous sommes et ne pouvons pas croiser les bras devant la problématique relative au bon fonctionnement de l'entreprise Véjor Trans qui est parmi les entreprises au service du développement économique et social de notre pays.

Pour vérifier les hypothèses de notre travail et pour répondre ainsi aux questions soulevées dans la problématique, nous faisons recours aux méthodes analytique, descriptive et explicative appuyées des techniques d'interview réalisées auprès des voyageurs.

Nous avons limité notre recherche en retenant la période allant de 2014 à 2017, le choix de cette période se justifie par le fait que c'est la période pendant laquelle Véjor Trans a vu ses recettes et la fréquentation de clients diminuer.

2 LES PISTES DE VOYAGES EN EX PROVINCE DU KATANGA

2.1 PRESENTATION GEO ECONOMIQUE DU KATANGA

2.1.1 GEOGRAPHIE

Située au Sud Est de la RDC et entièrement dans l'hémisphère austral, la Province du Katanga occupe la deuxième position parmi les provinces du pays par sa superficie qui représente 21,3% de la superficie nationale soit 496 877 km². Carrefour important, la province est limitée par 4 provinces du pays : le Sud Kivu au Nord Est, le Maniema au Nord et les deux Kasaï au Nord-Ouest. Le Katanga partage avec trois pays la frontière de la RDC : la République Populaire d'Angola au Sud-Ouest, la Zambie au Sud et au Sud Est et la Tanzanie à l'Est.

La Province du Katanga a deux saisons (saison des pluies et saison sèche) et deux types de climats y règnent. Une partie de la province connaît un climat tropical humide avec une saison sèche et froide qui dure deux à cinq mois selon la région et l'autre partie un climat tempéré avec une température qui peut descendre jusqu'à -3°C.

La température moyenne annuelle s'élève à 20°C au Sud et à 24°C pour le Nord. Elle varie entre 19 et 25°C dans l'ensemble de la province.

2.1.2 ECONOMIE

Avec les importants gisements de minerais (cuivre, cobalt, zinc, plomb, argent, cadmium, ...) dont regorge son sous-sol, l'économie du Katanga gravite autour de l'exploitation minière. Cette province est le deuxième pool économique du pays après Kinshasa. Il y existe une industrie minière mais aussi d'autres industries de transformation, des unités agro-industrielles, des pêcheries industrielles. La GECAMINES, une entreprise publique, est la principale société minière de la province avec une production, avoisinant jadis 500 000 tonnes de cuivre, qui a fortement baissé. Cette production s'est située aux alentours de 36 000 tonnes pour 2006. Comme la plupart des sociétés de la province, la GECAMINES a signé des accords d'exploitation avec des firmes étrangères (Kamoto copper company, Kamoa Copper etc.).

Le secteur informel est très développé dans la province. La grande partie de la population a comme activité principale le commerce.

Au Katanga, l'agriculture est pratiquée, surtout pour l'autoconsommation, par des ménages agricoles pas suffisamment encadrés, sur de petites étendues, avec des outils rudimentaires, des semences non améliorées et des techniques traditionnelles. Les quantités produites sont très faibles car les paysans, qui jadis produisaient plus, sont découragés à cause notamment de la diminution de la demande suite aux difficultés de transport pour l'acheminement des produits vers les centres de consommation avec comme conséquence des prix non rémunérateurs et par l'exploitation minière artisanale qui est une source rapide de revenus.

2.1.3 LES INFRASTRUCTURES DE COMMUNICATION

Les voies de communication sont en mauvais état au Katanga. Leur réhabilitation et leur renouvellement doivent être l'une des priorités de la province pour permettre le transport des personnes et des biens dans de bonnes conditions. Actuellement, le réseau routier compte 31.670 km dont 4.637 km de routes d'intérêt national, 679 km de routes provinciales, 969 km de routes urbaines et 25.385 km de routes de desserte agricole.

Malgré l'existence du fleuve Congo qui y prend sa source et de beaucoup de cours d'eau, les voies navigables ne peuvent pas servir convenablement pour le transport car elles ne sont ni entretenues, ni draguées ni balisées.

La voie ferroviaire au Katanga, longue de 2.530 km, est la plus développée du pays. Néanmoins, cette voie ne donne plus satisfaction aux usagers à cause notamment du non entretien et du non renouvellement de la voie et du matériel roulant devenu trop vétustes.

2.2 HISTORIQUE DES ENTREPRISES DES TRANSPORT PUBLIC DE PERSONNES DANS LE KATANGA

LES PISTES DE TRANSPORT DE CIRCULATION

Tableau 1. Les principales pistes et leurs distances au Katanga

N°	Pistes	Localisation	Spécificité	Economique
1	RN 1	Kasumbalesa- Nguba	Asphaltée	oui
2	RN 39	Nguba- Kolwezi	asphaltée	oui
3	RN 5	Lubumbashi-Kalemie	Non Asphaltée	oui
4	RN33	Manono- Kalemie	Non Asphaltée	oui
5	RN34	Kapona -Moba	Non Asphaltée	oui
6	RN35	Kasomeno- Kasenga	Non Asphaltée	oui
7	RN36	Mokambo-Mwenda	Non Asphaltée	oui
8	R39	Nguba- dilolo	Non Asphaltée	oui

Source : division provinciale de transport du Lualaba

Tableau 2. Charroi Automobile Et Capacité d'accueil de Véjor Trans

N°	Localisation	Type	nombre	Marques	Catégories	Capacités
1	Lubumbashi	bus	2	King long	Classique	65
2	Lubumbashi	bus	1	King long	Classique	39
3	Lubumbashi	bus	1	King long	Classique	26
4	Kolwezi	bus	1	King long	Classique	60
5	Kolwezi	bus	1	King long	Classique	39
6	Kolwezi	bus	1	youtong	Classique	45
7	Kolwezi	bus	1	King long	VIP	45
8	Kolwezi	bus	1	King long	Classique	26

Source : Division De Production Véjor Trans

3 ETUDE DES PROBLEMATIQUES RELATIVES A LA STRATEGIE MARKETING DE TRANSPORT PUBLIC DE PERSONNES AU KATANGA

Dans cette partie du travail, il est question d'esquisser ce qui suit :

- Présenter l'enquête menée sur le terrain,
- Décrire les techniques utilisées pour recueillir les données sur le terrain,
- Présenter les données reçues au cours de l'enquête,
- Faire l'analyse de ces données pour enfin interpréter les résultats,
- Tenter de faire un essai d'élaboration stratégique face à la concurrence et à la clientèle

3.1 PRESENTATION DE L'ENQUETE

Pour récolter les renseignements relatifs aux opinions des clients voyageurs du Katanga, nous avons procédé par une enquête par sondage.

Cette enquête a été réalisée pendant deux mois auprès des exploitants des transports public de personnes ; ces derniers constituant notre population de base.

Pour appliquer notre marketing, nous avons préféré de connaître nos concurrents sur le marché de transport et par là, voici la liste qui en découle :

Tableau 3. Liste des Entreprises œuvrant dans le transport Public des personnes

N°	Entreprises	Charroie	Points De Ventes	Destinations	Horaire des Voyages
1	Mulykap		Kolwezi Fungurume Likasi Lubumbashi	Fungurume Likasi Lubumbashi Kolwezi	
2	Transkat		Kolwezi Fungurume Likasi Lubumbashi	Fungurume Likasi Lubumbashi Kolwezi	
3	Sun Africa		Kolwezi Fungurume Likasi Lubumbashi	Fungurume Likasi Lubumbashi Kolwezi	
5	Classic coach		Dilolo Kasaji Kolwezi Fungurume Kamina Kalemie Likasi Lubumbashi Kasumbalesa	Dilolo Kasaji Kolwezi Fungurume Kamina Kalemie Likasi Lubumbashi Kasumbalesa	
6	Ratco		Kolwezi Fungurume Likasi Lubumbashi Kasumbalesa	Kolwezi Fungurume Likasi Lubumbashi Kasumbalesa	
7	Efe Trans		Kolwezi Fungurume Likasi Lubumbashi Kasumbalesa	Kolwezi Fungurume Likasi Lubumbashi Kasumbalesa	

Source : Division provinciale de transport Lualaba, Ministère Provincial de l'économie Lualaba

3.2 TECHNIQUE DE RECUEIL DES DONNEES

Pour récolter les données utiles à la vérification des hypothèses de notre travail, nous avons eu recours à la technique du questionnaire. La technique d'interview menée auprès des responsables de la division provinciale de transport et voies de communications.

Après avoir présenté les techniques de récoltes des données. Il sied de présenter les données récoltées sur le terrain.

4 PRESENTATION DES DONNEES

4.1 ANALYSE DES DONNEES ET INTERPRETATION DES RESULTATS D'ENQUETE PAR QUESTION

A l'issue de l'administration du questionnaire, le traitement statistique se répartit en deux grands groupes:

- 1) Une analyse en composantes principales et régressions multiples: Ces traitements ont pour finalité d'identifier et de mesurer les liens existants entre un phénomène que l'on souhaite expliquer et un ensemble de variables explicatives (les différents items satisfactions étudiés). Il est ainsi possible d'identifier la contribution apportée par chaque critère Qualité dans la perception globale du réseau par l'utilisateur. Concrètement, cette contribution est matérialisée par l'intermédiaire d'un ratio statistique appelé coefficient de corrélation dont les valeurs varient entre 0 et 10. Plus le coefficient de corrélation est proche de 10, plus le critère qualité considéré attribué à la satisfaction globale de la clientèle et inversement.
- 2) Des tris à plat pondérés : ce Traitement est destiné à mesurer la satisfaction actuelle des usagers des transports en commun à partir d'une échelle en dix points sur tous les critères qualité recensés lors des réunions préliminaires et qui sont présentés aux interviewés par paire. Les tris à plat ainsi obtenus sont pondérés à partir du postulat suivant:

* Un client satisfait le dit à trois personnes.

* Un client peu satisfait le dit à dix personnes.

A chaque niveau de satisfaction est attribué un coefficient:

Très satisfait : 3 points

Satisfait : 1,5 point

Moyennement satisfait : -1 point

Pas satisfait : -10 points

Sans opinion: Réponse non prise en compte

Pour chaque réponse, le nombre de critère est multiplié par les coefficients correspondants. La note de satisfaction par critère est obtenue en divisant ce montant par le nombre de réponse exception faite des "ne sais pas".

Les résultats peuvent alors être visualisés par une échelle de ce type dont les valeurs oscillent entre +3 et -10.

3 Excellent Zone de Qualité Totale "Le client est un inconditionnel à l'entreprise"

2 Très bon Zone de fidélisation "Le client est satisfait mais..."

1 Bon Zone d'indifférence " Le client est versatile."

0 Acceptable Zone rouge "Le client est critique: Il réclame, se plaint ouvertement et se tournerait vers une autre agence."

-10 Très mauvais

En outre, cette méthode permet:

- d'éviter que la note globale ne masque une répartition atypique des réponses illustrant des comportements masqués de la part de sous-cibles spécifiques.
- de ne prendre en compte que les réponses des interviewés se sentant réellement concernés par le problème posé, un coefficient nul étant appliqué aux réponses "ne sait pas". Les résultats de l'étude sont représentés sous forme de mapping à deux dimensions. L'axe horizontal mesure la perception de l'offre sur tous les facteurs satisfaction qui auront été retenus lors des réunions de travail initiales...

L'axe vertical permet d'appréhender l'influence et la contribution de ces facteurs ou de ces critères dans la satisfaction globale des usagers. Un tel mapping permet d'obtenir huit univers distincts. En particulier, les critères de satisfaction trompeurs

suscitent une forte satisfaction actuelle de la part des interviewés mais leurs influences sur la perception globale demeurent faibles.

Nous avons choisi cette catégorie d'enquêtes en raison de leur besoin de satisfaction au voyage. Ce dont un voyageur et touriste a besoin ; répétons-le, c'est de bonnes conditions d'accueil, de voyage et besoin de sécurité, et respect d'horaire de travail.

Telles sont les raisons qui nous ont poussé à choisir comme population d'étude l'entreprise Véjor Trans.

Bref : ils espèrent en l'environnement politico légal qui leur présente de riches opportunités d'affaires, bonne condition de voyage et de divertissement

En gestion stratégique, l'analyse de l'environnement externe, surtout l'environnement politico-légal, est un élément très important car les attraits de l'environnement, c'est-à-dire les opportunités, sont l'un des éléments essentiels d'un plan marketing et par conséquent d'une stratégie marketing.

C'est pourquoi, nous analysons cette variable dans cette étude.

3) Variable couple produit offert-place

Tableau 4. Variable couple produit place

Question	Item	Nombre	%	Observations
1	En quoi l'emplacement vous est-il favorable ?	15000		
2	Quel produit est nécessaire pour le voyage ?	25000		

Nous allons passer en revue, les enquêtes les plus courantes du monde du transport.

Les enquêtes les plus fondamentales pour connaître la fréquentation et surtout les flux de déplacement sont constituées par les enquêtes

Origines-Destinations et enquêtes Montées-Descentes.

L'ENQUÊTE MONTÉES-DESCENTES

C'est l'un des moyens les plus simples de connaître grossièrement la fréquentation par ligne, par course, par point d'arrêt ou même plus généralement par tranche horaire. Cette enquête déjà assez coûteuse s'exerce sur une journée type: Jour ordinaire de semaine scolaire, samedi scolaire, dimanche ou un jour de vacances scolaires en semaine ou du week-end, ce jour étant choisi en fonction de la période que l'on veut étudier. Donc, durant cette journée type, le réseau entier, une ligne ou simplement un arrêt sera enquêté. Les enquêteurs seront répartis dans tous les bus de l'agence ou sur une ligne en fonction de l'étendue de l'enquête. Le rôle des enquêteurs placés à chaque porte dans les bus (cas de la consommation en self-service) est de dénombrer pour chaque course et à chaque arrêt le nombre de personnes qui montent et descendent du bus. Ils comptabiliseront les montées et les descentes seulement au point d'arrêt si l'enquête est ponctuelle. Le nombre d'enquêteurs est susceptible d'augmenter en période des vacances où la fréquentation est plus importante. La consolidation de ces montées et descentes donnera la fréquentation à chaque point d'arrêt sur une journée, par tranche horaire ou par course ainsi que les charges par tronçon.

On appelle charge du véhicule, le nombre de personnes transportées par tronçon (entre deux points d'arrêt). On peut aussi calculer les charges moyennes sur une ligne c'est à dire le nombre moyen de clients présents dans le bus sur une période de référence. En fonction de la capacité en places des véhicules, on peut déterminer le taux de remplissage moyen. Ces indications permettent de savoir si la ligne est saturée ou non à certains moments, si elle nécessite des moyens supplémentaires (doublages, fréquences supplémentaires, véhicules plus spacieux) ou si au contraire on peut retirer des moyens.

L'ENQUÊTE GÉNÉRATRICE

Un générateur est un générateur de déplacement: exemple les universités, les entreprises minières, hôpitaux, centres commerciaux... Il est bon d'avoir une bonne desserte des générateurs et de savoir lesquels doivent être reliés entre eux par des liaisons de transports. Les entreprises minières excentrées doivent avoir des liaisons faciles avec les pistes automobiles. Pour connaître les flux reliés à ces générateurs et donc les besoins, on met en œuvre l'enquête génératrice qui consiste à

interroger toutes les personnes ou un échantillon de personnes qui entrent ou qui sortent de ces entreprises considéré. Des questions sur l'origine ou sur la destination de leur déplacement leur sont posées.

5 CONCLUSION GENERALE ET SUGGESTIONS

Nous voici au terme de notre travail intitulé « La stratégie marketing des entreprises de transport public de personnes. Cas de l'entreprise Véjor Trans.

Nous sommes partis de la question de savoir pourquoi Véjor Trans entreprise de transport public de personnes n'a pas réussi à relancer ses activités à ces jours, bien que la population s'accroisse de par l'exode du Kasai, des autres territoires des Provinces de l'ex Katanga et des opportunités d'affaires que crée le Lualaba

Pour répondre à cette préoccupation, nous avons formulé les hypothèses selon lesquelles :

- 1) Véjor Trans manquera-t-elle des stratégies marketing génériques pour relancer ces activités ?
- 2) Ensuite, la stratégie à mettre en place pour inciter la population locale à fréquenter Véjor Trans au cas où Véjor Trans n'arrête pas sa méthode de ramassage ?

La vérification de ces hypothèses a nécessité le recours à une approche méthodologique basée sur les méthodes analytique, descriptive et explicative appuyées des techniques d'interview basée sur le questionnaire que nous avons adressé à un petit échantillon des voyageurs étant donné la taille de la population étudiée. Notons que nous avons choisi d'étudier les entreprises de transport Public de personnes (Véjor Trans) et les voyageurs

En adoptant cette démarche, nous sommes arrivés à la conclusion que Véjor Trans manque des stratégies génériques (pas de segmentation du marché, pas de ciblage et positionnement de l'offre), pour conquérir le marché du transport qu'il ignore.

Il semble que Véjor Trans ne sollicite pas des formations et conseils en marketing.

En définitive, Quelle que soit la vocation finale du service de transports, vocation de service public ou vocation de service privé, l'objectif intermédiaire et commun de la société exploitante et de l'autorité organisatrice sera d'obtenir une rentabilité maximale du réseau associée à un service de la qualité la meilleure possible et encore faut-il qu'ils s'entendent sur la signification de la Qualité.

Toujours est-il que l'organisateur voudra à plus ou moins long terme limiter le déficit d'exploitation subventionné par les impôts et la société exploitante cherchera à maximiser son profit dépendant de sa bonne gestion. De plus, il est sans doute préférable que Véjor Trans, participe plus à son financement que le non-client. Ainsi, pour assurer la survie des transports, on s'oriente toujours vers la maximisation des recettes issues des ventes de titres (billets etc.).

Véjor Trans ne fait pas recours à des stratégies de diversification et ignorent ainsi, le recours à une clientèle locale dite potentiel.

A titre de suggestion, nous pouvons retenir que les tâches régulières du service Marketing et commercial soit avant tout:

- d'évaluer la fréquentation sur le réseau ainsi que les recettes commerciales et d'en établir des statistiques
- d'optimiser les recettes transports à l'aide de tous les moyens qu'il jugera bon (fixation des tarifs, de l'offre produit après approbation de l'autorité organisatrice, campagne publicitaire,...)
- de satisfaire le client utilisateur de ses bus et services protocole organisatrice.
- de ne jamais oublier que la société de transports en possède deux types clients. Il est difficile de satisfaire le consommateur de produits qui est très exigeant en termes de dessertes, d'horaires, de fréquences temps de parcours
- de connaître assez précisément le trafic, les flux de déplacements sur le réseau routier mais aussi les flux de déplacements globaux ainsi que les besoins non satisfaits actuels et les besoins futurs en déplacements.
- d'Organisation des séminaires de formation pour la recherche des marketings en faveur des établissements ;
- d'Etudier le marché local de transport pour suppléer la demande ;
- de Sensibiliser des clients potentiels par Internet, téléphones, affiches et réseau de télécommunication national.

REFERENCES

- [1] Abraham Maslow, 1983, motivation and personality, 3e édition, miffin, company, Boston, pg 274.
- [2] Maxime CRENER et B. MONTER, 1971, principe de management. Ed Presse de l'université du Québec, Montréal, pg 163.
- [3] Division Provinciale de transport du Lualaba
- [4] Office Nationale des Routes

Etat des lieux de la logique RSFQ pour les applications spatiales

[Review of RSFQ logic for space applications]

Youssef Kebbat

Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement et de l'Espace LPC2E-CNRS,
Université d'Orléans/Observatoire des Sciences de l'Univers en Région Centre OSUC,
LPC2E 3A, avenue de la recherche scientifique,
Orléans, France

Copyright © 2019 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The state of the art of RSFQ logic shows that this technology is viable for different areas of application. In fact, we have seen a significant increase in the number of circuits developed over the past twenty years, and the performances achieved: speed, power consumption, integration density and also in terms of technology: new JJ, submicron technologies ... the space domain, this technology has not yet found its place and this despite the need for more and more important in terms of computing power. The generation of cold remains the main lock of this technology. In this article, we will list missions carrying cooled instruments that could integrate the logic of the RSFQ. We will then expose the scientific objectives and the space agencies concerned.

KEYWORDS: RSFQ logic, space missions, superconducting technology, microelectronics technology, RSFQ design flow.

RÉSUMÉ: L'état de l'art de la logique RSFQ montre que cette technologie est viable pour différents domaines d'application. En effet, nous assistons, depuis les deux dernières décades, à une augmentation importante du nombre de circuits développés, des performances atteintes : vitesse, puissance consommée, densité d'intégration et aussi en termes de technologie : nouvelles JJ, technologie submicronique... Toutefois dans le domaine spatial, cette technologie n'a pas encore trouvé sa place et cela malgré les besoins de plus en plus importants en termes de puissance de calcul. La génération du froid restant le principal verrou à cette technologie. Dans cet article, nous listerons les missions qui embarquent du froid et susceptible d'intégrer la logique RSFQ. Nous exposerons alors les objectifs scientifiques et les agences spatiales concernées.

MOTS-CLEFS: Logique RSFQ, missions spatiales, technologie supraconducteur, technologie microélectronique, flot de conception RSFQ.

1 INTRODUCTION

Dans une précédente publication dans le même journal [1], nous avons fait un état des lieux des capteurs refroidis dans le domaine spatial. Dans cet article, nous allons traiter « l'autre extrémité » de la chaîne instrumentale à savoir les circuits numériques. En effet, La logique RSFQ (*Rapid Single Flux Quantum*) est une technologie supraconductrice pour les circuits intégrés numériques. Cette technologie a permis d'atteindre des performances encore inégalées en technologie microélectronique CMOS classique seulement avec un modeste nombre de chercheur dans le monde. Cet accomplissement est dû en partie à un ensemble de caractéristiques inhérentes, qui se manifestent au niveau circuit, à savoir la rapidité de calcul avec une faible puissance consommée, la simplicité de fabrication, l'exactitude du quantum. Dans cet article, nous n'aborderons pas la technologie Qubits pour son manque actuel de maturité nécessaire au domaine spatial.

2 AVANTAGES DE LA LOGIQUE RSFQ

Depuis la découverte de la supraconductivité et de la jonction Josephson (JJ) dans les années 1960, une nouvelle aire de la microélectronique est apparue. En effet, les circuits intégrés supraconducteurs actuels utilisent les caractéristiques inhérentes à la JJ pour atteindre des performances (rapidité de traitement des données à haute fréquence, une faible dissipation de puissance...) jusqu'alors inégalé par les circuits CMOS. Ces caractéristiques peuvent être résumées [2]:

- Disponibilité de lignes de transmission supraconductrice *microstrip* capables de transférer des ondes picosecondes avec une vitesse approchant celle de la lumière.
- Les JJ peuvent être utilisées comme interrupteur/mémoire ultrarapide (~ picoseconde).
- Les JJ peuvent être facilement adaptés en impédance avec les lignes microstrip ce qui permet un transfert balistique des ondes générés. Ainsi, les JJ ont une dissipation de puissance très faible de par les faibles tensions utilisées.

L'élément élémentaire RSFQ consiste en un interféromètre composé d'une diode Josephson couplée avec un élément inductif supraconducteur et des lignes de transmission à base de diodes Josephson. Cette architecture permet de transférer ou de mémoriser une impulsion logique (quanta de flux magnétique) sans atténuation ou distorsion à des fréquences de plusieurs centaines de gigahertz (~ 750 GHz) et avec une puissance consommée extrêmement faible (< 100 nW/porte). Par ailleurs à la différence de la JJ, les circuits RSFQ nécessitent uniquement une alimentation continue DC. De plus, en comparaison avec la technologie CMOS actuelle, ils utilisent une technologie de fabrication relativement simple ne nécessitant pas de dessin submicronique profond. La figure 1 présente le schéma(a) et le layout (b) d'une cellule D flip-flop [2].

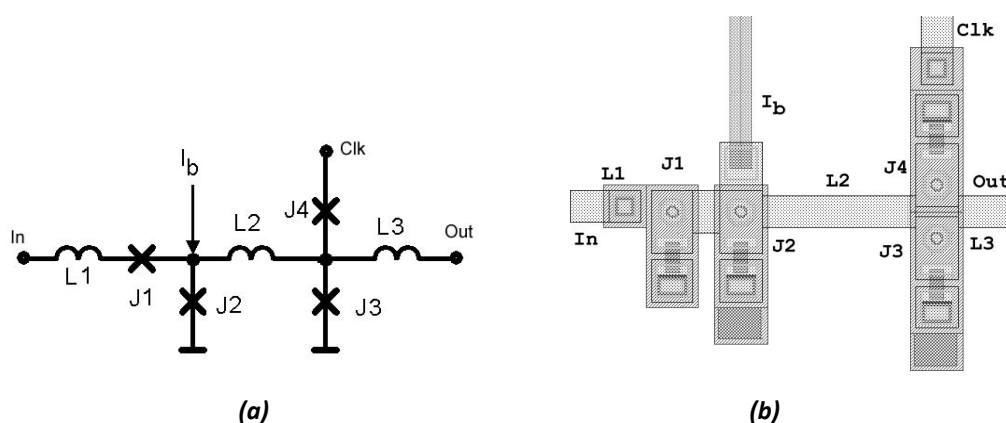


Fig. 1. Cellule D flip-flop, (a) schéma, (b) layout

Notons que la complexité de conception et les performances des circuits logiques RSFQ dépendent principalement de la technologie supraconductrice utilisée et du nombre de JJ intégrés.

Les supraconducteurs à haute température critique (SHT) sont apparus en 1986 lorsque *Bednorz* et *Miller* découvrent un nouvel oxyde céramique supraconducteur $(La, Ba)_2CuO_4$ avec une température critique de 35 K. En 2001, le record de température critique (T_c) avoisinait 133.5 K (160 K à haute pression) pour l'oxyde $HgBa_2Ca_2Cu_3O_{8+x}$. Cependant en 2015, le record mondial, détenu par des chercheurs de l'institut Max Planck, est établi à 203°K pour le sulfure d'hydrogène H_2S à très haute pression. Dans les années 2000, Les recherches se sont focalisées principalement sur deux familles de matériaux, YBCO ($YBa_2Cu_3O_{7-x}$, $T_c \sim 92$ K) et BSCCO ($Bi_2Sr_2Ca_2Cu_2O_{8+x}$ (Bi-2212), $T_c \sim 85$ K, et $Bi_2Sr_2Ca_2Cu_2O_{10+x}$ (Bi-2223), $T_c \sim 110$ K). La structure cristalline de ces matériaux se présente sous la forme de *pervoskites* déficient en oxygène avec la surface d'oxyde de cuivre CuO_2 . Le comportement des SHT est décrit dans la théorie de *London* et *GL*. Cependant, cette théorie n'est pas totalement acceptée par la communauté scientifique comme théorie microscopique [3].

La plupart des matériaux SHT restent supraconducteurs à la température d'ébullition de l'azote liquide 77.4 K. Au départ, cette caractéristique a suscité beaucoup d'intérêt. Les mécanismes des SHT n'étant pas totalement maîtrisés, les scientifiques pensaient avoir à porter de main un fonctionnement à température ambiante. Même à la température de l'azote liquide, les SHT présentent un intérêt certain. En effet, la suppression d'un watt de chaleur générée à 77 K nécessite 10 W ou moins à température ambiante en opposition aux 1000 W nécessaires à 4 K. De plus, les coûts de fonctionnement de la réfrigération

(cryocoolers), à base de liquide cryogénique, sont extrêmement faibles puisque le prix d'un litre d'azote liquide avoisine les 60 ¢ comparés aux 25 \$ pour hélium liquide.

Cependant, l'intérêt suscité c'est vite transformé en déception. Le fonctionnement à température ambiante n'a pas encore été atteint, les densités de courant critique restent faibles pour des applications technologiques et la tenue mécanique des matériaux SHT est médiocre. Comme les céramiques, les SHT nécessitent, pour leur formation, des hautes températures en présence d'oxygène. Ils sont ainsi cassants, difficiles à façonner et à manipuler mais surtout, incompatibles avec les procédés conventionnels de fabrication microélectronique. Bien que très rapide, les circuits RSFQ SHT actuels se limitent d'une part à une très faible densité d'intégration (quelques dizaines de JJ) et d'autre part à un petit nombre de circuits intégrés. Pour le moment, la fabrication en grande série n'est pas maîtrisée.

De nouveaux matériaux SHT, qui ne sont pas des oxydes de cuivre comme par exemple le MgB_2 , $T_c \sim 39$ K découvert par l'équipe de *Jun Akimitsu* à l'université *Aoyama-Gakuin* de *Tokyo*, ont été révélé récemment. Ils constitueront, peut être car les recherches continues, la solution pour atteindre une densité d'intégration élevée et une fabrication en grande série.

De nos jours, la majorité des circuits RSFQ fonctionnels (CAN, microprocesseurs, filtres ...) sont fabriqués en supraconducteurs à basse température critique (SBT). Ces circuits utilisent des fréquences d'horloge pouvant atteindre 100 GHz (750 GHz de fréquence de fonctionnement pour les nouvelles portes RSFQ) avec une puissance consommée extrêmement faible de l'ordre de 10^{-8} Joule/bit (5 ordres de grandeur moins que les circuits CMOS modernes). La faible dissipation de puissance permet une grande densité d'intégration ainsi qu'un transfert de donnée (quanta de flux magnétique) sans atténuation ou distorsion. Ces caractéristiques permettent de maintenir des vitesses de calcul très importantes même dans le cas de circuits numériques complexes. Ainsi, les circuits RSFQ récents comportent jusqu'à 70.000 jonctions Josephson comme par exemple le microprocesseur FLUX-1 (20GHz, 65.759 JJ) [4].

Les circuits RSFQ SBT sont fabriqués principalement dans les filières technologiques en niobium (Nb, $T_c < 6$ K) et en nitrure de niobium (NbN, $T_c < 12$ K). L'avantage principal de cette technologie est sa compatibilité avec les procédés conventionnels de fabrication microélectronique. En effet, elle ne nécessite pas de croissance d'épitaxie, pas de profil de dopage à calculé, pas de déposition en phase vapeur ni de procédé haute température comme cela était le cas des SHT. Les infrastructures microélectronique, utilisées il y'a une dizaine d'année pour fabriquer des circuits CMOS en technologie 1.5, ..., 0.6 μm , sont parfaitement adaptées pour fabriquer des circuits RSFQ SBT sans coût supplémentaire.

Notons que le principal fondeur est américain : Hypres. Celui-ci propose déjà des fonderies commerciales en 3 et 1.5 μm (cf. annexe 1). Citons aussi Northrop Grumman (TRW précédemment), SUNY, MIT ...toujours aux Etats-Unis et NEC, Hitachi, ... au Japon. La figure 2 présente une coupe technologique 4 niveaux de Nb d'Hypres. Nous remarquerons enfin, que la littérature fait état d'applications en 0.8 μm (calculateur PetaFlops [4]) et une technologie en 0.4 μm [5].

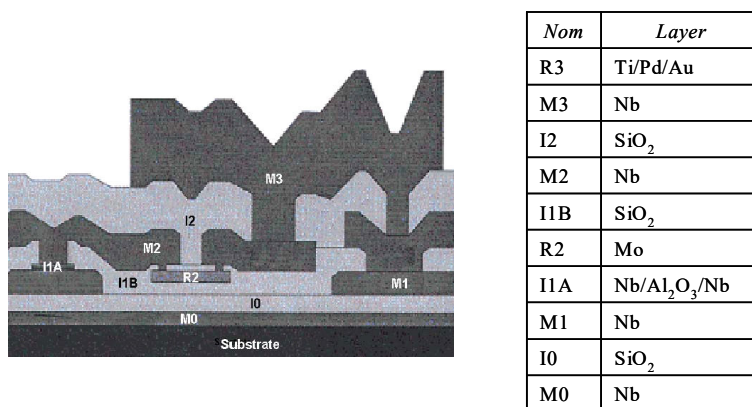


Fig. 2. Coupe technologique de chez Hypres

3 AVANTAGES DE LA LOGIQUE RSFQ DOMAINES D'APPLICATION ET EXEMPLES DE RÉALISATION

L'état de l'art de la logique RSFQ montre que cette technologie est viable pour différents domaines d'application. En effet, nous assistons, depuis la dernière décade, à une augmentation importante du nombre de circuits développés, des performances atteintes: vitesse, puissance consommée, densité d'intégration et aussi terme de technologie : nouvelles JJ,

technologie submicronique... La figure 3 montre les différentes plateformes pouvant accueillir une technologie supraconductrice.

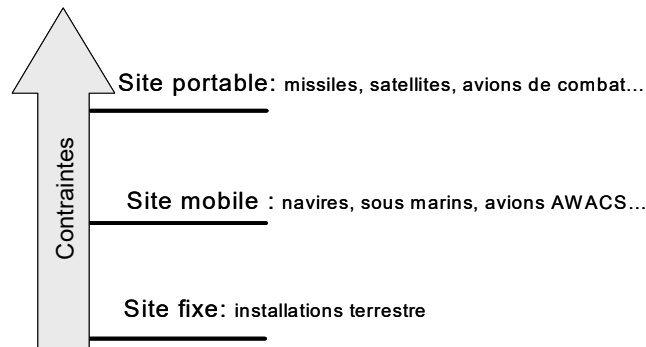


Fig. 3. Plateformes pouvant accueillir une technologie supraconductrice

Le **Error! Reference source not found.**, d'après D. K. Brock (Hypres), donne une représentation des différents circuits (numériques) RSFQ fonctionnels développés en technologie Nb 2-3 μm .

Tableau 1. Représentation des circuits RSFQ fonctionnels en technologie Nb 2-3 μm [6]

Type de circuit	Performances du circuit
Toggle flip-flop	144 GHz
4-bits shift register	66 GHz
6-bits Flash ADC	3 ENOB à 20 GHz
14-bits ADC haute résolution	14 ENOB et -100 dBc SFDR à 2 MHz
1: 8 Demultiplexeur (synchrone)	20 Gb/s
1- bit Half-Adder	23 GHz
8xN bit Multiplieur série	16 GHz
128-bit autocorrelateur	16 GHz
2-bit compteur	120 GHz
1-kbit registre à décalage	19 GHz
6-bit Transient digitizer with 6x32 bit on-chip memory buffer	16 GS/s
19-bit CAN	Fonctionnement à basse vitesse
1: 2 Demultiplexeur (asynchrone)	95 Gb/s
2- bit full-Adder	13 GHz
14-bit digital comb filter	20 GHz
Time-to-digital converter	31 GHz

ENOB= effective number of bits

SFDR= spurious-free dynamic range

4 AVANCÉES ET VÉRROUS DE LA LOGIQUE RSFQ

Les dernières années ont mis en évidence de nouveaux progrès dans la fabrication de jonctions Josephson en technologie 3 niveaux de Nb. Des jonctions en technologie submicronique profonde avec une densité de courant supérieur à 200 kA/cm² ont été réalisées. En concordance avec la théorie, ces jonctions sont intrinsèquement auto-amortie (*self-shunted*). Ainsi, elles ne nécessitent pas de résistance de shunt ce qui réduit les parasites par effet inductif. De plus ces jonctions ont une valeur élevée du produit $I_c R_N$ (de l'ordre de 2.0 mV, i.e très proche de la valeur maximum théorique du Nb) ce qui augmente encore la vitesse des circuits RSFQ. Par exemple, des tests sur un circuit T flip-flops (diviseur de fréquence numérique) ont montré une vitesse de fonctionnement supérieur à 770 GHz. Par ailleurs, ces jonctions s'avèrent tout à fait reproductibles, permettant une propagation sur circuit totale de I_c inférieur à 10%.

Le second progrès concerne le développement de jonctions Josephson empilées verticalement (*vertically stacked*) avec un contact externe sur l'électrode (commune) du milieu. En combinant ces progrès, des estimations montrent que cette nouvelle

approche permettra aux circuits logiques RSFQ d'atteindre une densité d'intégration équivalente aux circuits CMOS avec 15 millions de transistors et 16 Mbits de mémoire cryogénique CRAM [4]. Notons aussi les avancées très intéressantes réalisées à l'université de *Nagoya*, sur des jonctions en NbN fonctionnant à 10 K avec une densité de courant $\sim 50 \text{ A/cm}^2 - 3.3 \text{ kA/cm}^2$, et ceux du Communication Research Laboratory (CRL) au *Japon* concernant la fabrication de jonctions tunnel en NbN/AlN/NbN sur substrat de MgO et résistance de shunt en Cu (figure 4) avec une densité de courant à 4.2 K de 2.2 kA/cm^2 [6]. En effet, les jonctions en NbN présentent un avantage certain sur la filière Nb d'une part par un fonctionnement à haute température 10 K au lieu de 4 K, ce qui permet un allègement de la réfrigération, et d'autre part pour leurs vitesses de fonctionnement pouvant atteindre le THz [7].

Enfin, nous renvoyons vers l'article de *Gaj* [7] qui discute sur les possibilités d'avoir des circuits RSFQ avec des jonctions submicroniques.

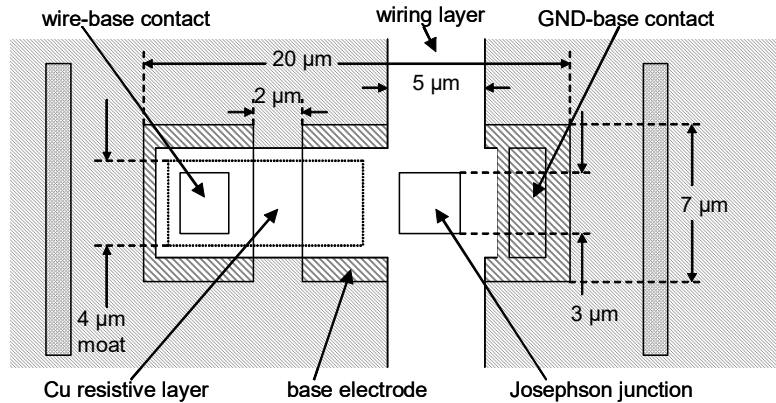


Fig. 4. Schématisation d'une jonction tunnel NbN/AlN/NbN utilisant une résistance de shunt Cu

Bien que nous assistions depuis la dernière décade à une augmentation importante du nombre de circuits RSFQ développés, le flot de conception n'a pas connu le même essor. En effet pour ce premier verrou, les flots RSFQ reposent principalement sur les flots semi-conducteurs déjà existants comme indiqué sur la figure 5 ci-dessous. Cependant, les caractéristiques inhérentes à la logique RSFQ ne sont pas prises en compte : distribution des lignes DC, distribution des horloges (portes logiques principalement synchrone) ... Le fait qu'il n'y a pas de synthétiseur RSFQ dédié illustre cette situation. De nos jours, la synthèse repose sur des méthodes manuelles fortement dépendantes de l'expérience du concepteur [8].

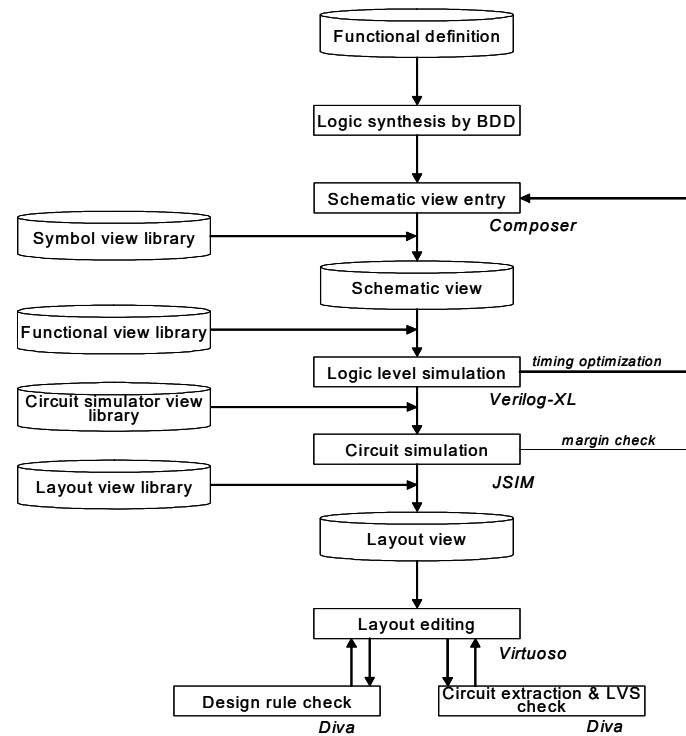


Fig. 5. Flot de conception VLSI de la logique RSFQ

Cependant, il existe une multitude de logiciels spécifiques : JSIM, MALT, WinS, ... conçus par des universités (U. de Savoie, U. de Rochester, U. de Berkeley...) et/ou par des industriels (Whiteley research inc, TRW... [7] destinés à la simulation d'un circuit RSFQ. Le tableau 2 ci-dessous donne un aperçu des différents logiciels utilisés.

Tableau 2. Les différents logiciels utilisés pour la conception de circuits à base de logique RSFQ

Groups	Layout tool	Circuit simulator	Optimizer	Inductance estimator	Logic simulator
Chalmers University (Sweden)	Cadence Virtuoso & Diva	PSCAN	COWBOY	Lmeter & 3D-MLSI	Leapfrog VHDL
University of Twente (Netherlands)	CleWin	Jsim (with GUI)	-	Fast Henry & Lmeter	-
University of Ilmenau (Germany)	Magic, Lasi, Autocad	Eldo	XOPT	MFB, SCIM	Eldo/ Powerview
University of Savoie (France)	Wavemaker	WINS/JSIM	-	Sonnet em, sline, MTRM	-
University of Karlsruhe (Germany)	Cadence Virtuoso & Diva	Spice 3f4	ABAK	Sonnet EM	Verilog-XL
DERA (UK)	L-Edit	Jsim_n	rtry	Lmeter	Lard

Il est à noter que des simulations analogiques réalisés sous environnement CADENCE, pour connaître les limites en température permises, montrent une limite autour de -135,4 °C. Il apparaît donc, que pour utiliser ce logiciel, la température réelle doit être "transparente".

Le deuxième verrou est celui des sources de froid. Deux sources principales de froid ont pu être dégagées au cours de cette étude :

- La première est constituée d'une réserve de froid (souvent de l'Hélium superfluide) contenue dans un cryostat. Dans le cas du spatial, la durée de la mission dépend de l'orbite retenue, de la puissance nécessaire au fonctionnement des instruments et de la réserve placée dans le cryostat. Des exemples de ces types de missions sont :

- Herschel (future mission), SIRFT, ISO, IRAS.
- La seconde est constituée par le développement de cryo-générateurs. Plusieurs types de cryostats sont actuellement développés ou en cours de développement pour les futures missions spatiales :
 - Aux USA : TRW, Martin Looked, Creare, Ball Aerospace
 - En Europe : Thalès Cryogenie SA, Air Liquide.

La figure 6 ci-contre montre un exemple de cryostat développé par la NASA.



Fig. 6. Exemple de cryostat développé par la NASA

Comme nous l'indiquerons dans la seconde partie (plus en détail dans l'annexe), les missions d'observation infrarouge nécessitent une cryogénie importante, aussi bien pour les détecteurs que pour les miroirs. De même, les détecteurs pour rayons X (ou pour les particules) nécessitent aussi la présence de cryogénie. Dans certains cas, la température à atteindre est de quelques mK, ce qui est obtenu au moyen de plusieurs étages :

- Des cryogénérateurs basés sur différents principes : Stirling, turbo Brayton ou pulse- tube qui permettent d'atteindre 6K
- Ces étages sont suivis de réfrigérateurs adiabatiques qui peuvent fournir le froid nécessaire au fonctionnement de capteurs.

5 LES PROJETS SPATIAUX

5.1 ARISE (VSOP-2)

Ce projet correspond à la réalisation d'un très grand interféromètre de radioastronomie, placé en orbite. ARISE est l'acronyme de: « Advanced Radio Interferometry between Space and Earth », il correspond à un radiotélescope orbital destiné à fonctionner entre 5 et 43 GHz. Avec une moins bonne précision, il est également envisagé d'utiliser les fréquences de 60 et 86 GHz.

OBJECTIFS SCIENTIFIQUES

Il s'agit d'obtenir des images de radio source avec une résolution de 10 à 20 microsecondes d'arc, ce qui correspond à une amélioration de deux ordres de grandeur par rapport aux résolutions actuelles. Ce radiotélescope est destiné à fonctionner en conjonction avec les radiotélescopes au sol et son objectif principal est d'observer les objets de l'univers les plus énergétiques, à savoir les trous noirs super massifs. Il devrait pouvoir également évaluer les échelles de distance extra galactiques (50 à 200 Mpc) en utilisant le mouvement propre des masers à vapeur d'eau extérieur à la galaxie et enfin estimer la température et l'abondance des molécules d'oxygène dans une douzaine de nuages interstellaires de notre galaxie. Ces objectifs correspondent à une amélioration de la sensibilité de l'interféromètre de 50 à 200 aux fréquences de 5 à 22 GHz, par rapport au premier programme VSOP.

5.2 CONSTELLATION X

Les missions Constellation X sont formées d'un ensemble de télescopes à rayons X qui compléteront les observations effectuées par certains télescopes à rayons X déjà existant comme le télescope Chandra (NASA) et XMM-Newton (ESA). Ce télescope aura la plus grande résolution spectrale et constituera, sûrement, le plus grand télescope rayon X jamais construit. Actuellement, ce projet occupe la deuxième place, après le télescope James Webb, dans les priorités de télescopes spatiaux.

OBJECTIFS SCIENTIFIQUES

Comme tous les télescopes à rayons X, Constellation X doit être positionné dans l'espace car les rayons X ne traversent pas l'atmosphère. Les 4 (ou 6) satellites constituant la mission doivent être suffisamment légers pour être lancés individuellement ou par paires. Ils devront avoir une sensibilité cent fois plus grande que les télescopes existant à rayons X, ce qui signifie que les observateurs doivent être capables de recevoir en une heure plus d'informations qu'ils n'en collectent actuellement en quelques jours ou quelques semaines. L'objectif principal de ce télescope géant est d'observer les trous noirs, les galaxies en formation, de tester la théorie de la relativité générale, l'évolution de l'univers et la nature de la matière noire.

5.3 FORMATION FLYING

Dans le cas présent, il ne s'agit pas à proprement parler d'une mission ou d'un ensemble de missions précises mais plutôt d'un nouveau concept spatial. Ce concept offre une manière révolutionnaire de planifier, concevoir, implémenter et exploiter les missions. Cette technologie permet à un ensemble de vaisseaux autonomes, formant un réseau distribué d'agir à la manière d'une unité collective. L'intérêt principal est de réduire d'une manière considérable la limitation, les coûts et les rendez-vous associés d'une manière traditionnelle aux missions scientifiques. On peut probablement considérer qu'un précurseur de ce concept a été démontré par le vol de Techsat 21 réalisé par l'Air Force Research Laboratory. Afin de mieux comprendre le fonctionnement de ce type de missions, il est nécessaire d'examiner rapidement la mission Techsat 21.

La mission Techsat 21 : il s'agit d'un ensemble de trois vaisseaux de 150 kg en formation circulaire à 550 km altitude. Les points clés du programme étaient au nombre de 3 :

- Démonstration de la possibilité d'avoir une formation, en vol non aligné, et maintenue à distance contrôlée d'une manière autonome (c'est-à-dire sans intervention depuis le sol).
- Possibilité de faire des observations au moyen de cet ensemble de satellites, en utilisant des traitements de signal avec des formes d'ondes innovantes.
- Validation des modèles et des simulations.

La distance a été maintenue automatiquement par les satellites en utilisant le GPS. Pendant un an, les distances ont varié expérimentalement de 100 m à 5 km en utilisant des communications inter satellites. Les capteurs embarqués sur ces satellites fonctionnent comme un capteur à grande ouverture répartie, ce qui présente un avantage décisif pour certaines observations comme par exemple les observations SAR.

Les intérêts de cette technique :

- Il est possible de faire à bord une détection avec un traitement des données de manière à ne transmettre au sol que les informations majeures. Cela nécessite de pouvoir disposer à bord d'une unité de calcul importante, capable de trier et de mémoriser les données (par exemple identifier les événements météorologiques importants, ou bien les émissions volcaniques ou les tremblements de terre). Naturellement, la puissance de calcul est fonction de la mission.
- Ce type de missions s'adapte aussi bien aux missions de surveillance qu'aux missions d'observations scientifiques, astronomiques ou radio astronomiques.
- Une telle plate-forme présente aussi l'intérêt d'améliorer considérablement la précision des observations car les différents capteurs embarqués peuvent travailler de concert, comparer leurs observations et éliminer les artefacts.
- L'ensemble de la plate-forme avec ses différents capteurs représente en fait un capteur unique de dimensions considérables.
- Le fait d'avoir plusieurs capteurs permet aussi de fiabiliser les observations, en effet en cas de défaillance d'un capteur, les observations ne sont pas compromises.
- Il est annoncé que cette méthode permettrait de pouvoir exploiter les données avec simplement un ordinateur portable, car l'ensemble du travail scientifique serait fait à bord (Science from a Laptop).

- Un dernier point important à signaler est la réduction considérable des transmissions de télémétrie à cause de l'autonomie des groupements de satellites.

Le développement de telles plateformes nécessite un travail important au niveau de l'automatisme et des logiciels de contrôle de vol, de manière à assurer l'autonomie d'une manière efficace.

Il est également nécessaire de développer des techniques de calcul permettant des transferts rapides d'informations, et plusieurs pistes sont actuellement à l'étude :

- Transmission descendante optique
- Compression importante de données
- Codage de canaux à fort débit (probablement par le développement de turbo codes)
- Développement important de microcontrôleurs

Parmi les équipements en développement, il faut citer des cryo-générateurs capables de descendre en dessous de 4 K sans vibrations, à faible consommation électrique et faible poids. Il convient aussi de mentionner l'appel aux technologies micro-électroniques et micro systèmes, tels que par exemple :

- Un magnétomètre MEMS basé sur un « xylophone » (mise en résonance d'une fine lame de silicium qui se déforme sous l'influence d'un champ magnétique local et qui, par exemple, fait varier la fréquence de résonance) .
- Un micro gyroscope MEMS
- Un micro accéléromètre MEMS etc.

Il est estimé que l'utilisation de la micro-électronique permet d'avoir les mêmes fonctionnalités avec un satellite de 100 kilos aujourd'hui qu'avec un satellite d'une tonne il y a dix ans. Ce projet a été abandonné en 2003 due au coût.

5.4 GAIA

Après le succès de la mission Hypparcos, qui représentait la première étape du projet de mesures astrales, le concept de la mission GAIA a été dégagé (*Global Astrometric Interferometer for Astrophysics*).

OBJECTIFS SCIENTIFIQUES

L'objectif à atteindre consiste à améliorer de plusieurs ordres de grandeur, par rapport à Hypparcos, la précision, le nombre d'objets observés et leur magnitude. Il s'agit de construire une carte précise en trois dimensions de la Voie lactée. Un paramètre supplémentaire est à rajouter par rapport à la mission Hypparcos, la mesure des vitesses radiales, ce qui permettrait d'améliorer grandement les études cinématiques, l'identification et la compréhension des systèmes multiples. Ceci permettrait l'étude de l'origine et de l'histoire de notre galaxie. Le but est d'atteindre des mesures sur environ un milliard d'étoiles avec les caractéristiques suivantes :

- Une précision requise de 10 à 20 μ sec d'arc
- Observer les objets ayant une magnitude $V < 20$
- Mesurer la vitesse radiale pour des magnitudes $V < 16-17$
- Effectuer des mesures photométriques dans plusieurs bandes d'observation

La mission a une durée prévue de cinq ans, avec la possibilité de continuer à exploiter les résultats trois ans après la fin de la mission.

5.5 HERSCHEL

La mission Herschel initialement désignée sous le nom de FIRST est un télescope submillimétrique et infrarouge dédié à l'observation du cosmos aux longueurs d'ondes comprises entre 85 et 700 μ m. Il s'agit d'un télescope de 3.50 m de longueur à la température de 80 K. Il comporte des instruments dans les plans focaux qui peuvent être refroidis à des températures inférieures à 11 K en utilisant un cryostat à l'hélium liquide.

OBJECTIFS SCIENTIFIQUES

Les objectifs primordiaux de la mission sont les suivants :

- Effectuer une surveillance photométrique extra galactique à large bande en sélectionnant des régions avec une faible résolution spatiale et une haute sensibilité ;
- Faire un suivi spectroscopique des objets découverts durant les observations ;
- Etudier la physique et la chimie du milieu interstellaire, y compris la formation des étoiles ;
- Etudier l'astrochimie des gaz et des poussières ;
- Effectuer des études spectroscopiques à haute résolution des comètes et des planètes.

5.6 IRSI/DARWIN

Il s'agit d'un interféromètre infrarouge spatial centré autour de 1,55 μm .

L'objectif de cette mission est très proche de celui de la mission TPF (*Terrestrial Planet Finder*) présentée ci-dessous. Ce projet est développé par un consortium européen avec une contribution industrielle à laquelle participe Alcatel.

OBJECTIFS SCIENTIFIQUES

On peut distinguer deux objectifs principaux :

- Le premier consiste à réaliser un interféromètre spatial ayant une grande résolution angulaire associée à un spectroscopie. Les observations concernent les amas globulaires, les disques proto-stellaires etc.
- Le second est la recherche et la caractérisation d'exoplanètes similaires à la terre, ainsi que des signatures spectrales évoquant les possibilités de vie. La détection et l'étude de telles planètes, orbitant autour d'un soleil, sont des projets d'observation ambitieux, mais rendus possible par une observation des spectres en infrarouge et dans le visible.

Quelques centaines d'étoiles naines sont situées à 15 parsec de notre système solaire. Les instruments doivent résoudre au moins une séparation angulaire de 0.05 à 0.1 seconde d'arc, ce qui correspond à 1 unité astronomique autour d'une étoile située entre 10 à 20 parsec.

5.7 GLAST (FERMI GAMMA-RAY SPACE TELESCOPE)

L'origine du projet correspond à une collaboration entre la physique des hautes énergies et l'astrophysique. Cette collaboration est internationale, les États-Unis, la France, l'Italie, le Japon et la Suède sont impliqués. La mission GLAST (Gamma-Ray Large Area Space Telescope) a été lancée en juin 2008.

OBJECTIFS SCIENTIFIQUES

Il s'agit d'un télescope à grande ouverture pour la détection de rayons gamma dont les énergies sont comprises entre 20 MeV et 300 GeV. Ce projet fait suite à la mission EGRET (*Energetic Gamma Ray Experiment Telescope*) qui a été mise en orbite en 1991. Cette dernière a effectué une observation du ciel pour des énergies supérieures à 30 MeV et a permis de construire un catalogue de sources qui forme une référence. La mission GLAST maintient les mêmes objectifs avec une technologie plus élaborée, elle permettra un accroissement de la surface effective d'un facteur 10 et l'angle de vue d'un facteur 5. Le lancement est prévu par une fusée DELTA 2, ce qui limite le poids du satellite à 4 tonnes et ses dimensions à 4 m³. Son orbite aura une altitude de 550 km. Le débit d'informations vers le sol est prévu à 0.3 Mb/s.

5.8 IRSRI (LOBSTER)

Il ne s'agit pas ici d'un projet de mission spatiale précis (quoique le projet LOBSTER puisse être inclus dans cette approche), mais plutôt de l'étude de détecteurs capables de recevoir les particules très énergétiques en provenance des différents objets stellaires. Il s'agit d'une phase préliminaire destinée à développer au sol des détecteurs qui pourront ensuite être placés sur des satellites mais aussi pourront équiper des accélérateurs de particules. Il s'agit principalement de calorimètres dont les principes seront présentés en annexe. IRSRI est un projet présenté en mars 2005 à la commission européenne (*Spaceraid 6th European Framework Programme*). C'est un consortium constitué de laboratoires ou organismes de quinze pays, de trois industriels et d'une agence spatiale (ESA). Les domaines scientifiques abordés concernent les détecteurs cryogéniques de photons allant des rayons X durs à l'infrarouge (qui se divise en cinq groupes), ainsi que des groupes de travail au nombre de huit.

5.9 JESMINE

Il s'agit d'un plan japonais de développement d'une instrumentation future pour une observation spatiale astrométrique dans l'infrarouge.

OBJECTIFS SCIENTIFIQUES

Le principal objectif de JASMINE est d'étudier la structure fondamentale et l'évolution du disque formé par la voie lactée de notre galaxie. Les observations sont délicates à faire en optique à cause de l'extinction apportée par la présence des poussières. Les observations seront donc faites dans l'infrarouge proche ($2.2\mu\text{m}$) avec une précision de $10\mu\text{as}$. La construction de l'observatoire sera faite en deux étapes : JASMINE-I, prévu pour un lancement à partir du centre d'Alcantara au Brésil sur une fusée Tsiklon-4. Le projet est conçu pour une observation de plusieurs centaines de millions d'étoiles. La durée des missions est prévue pour cinq ans.

5.10 MAXIM

MAXIM (*Micro-Arcsecond X-ray Imaging Mission*) est une mission à très long terme car il reste un certains nombres de problèmes au niveau de la technologie à résoudre.

OBJECTIFS SCIENTIFIQUES

Les objectifs de cette mission s'inscrivent dans la continuité d'une part de Hubble et d'autre part de l'observatoire à rayons X Chandra. C'est une mission du même type que « Constellation X ». L'objectif attendu concerne l'observation du halo (désigné par : « event horizon ») qui se trouve autour d'un trou noir. Par définition, le trou noir lui-même ne peut pas être observé, mais on peut observer un halo de rayonnements qui parviennent à s'échapper de la très forte gravité.

L'observatoire est constitué par un ensemble de 32 miroirs collecteurs répartis sur un cercle de 200m de diamètre au centre duquel se trouve un satellite collecteur. Celui-ci renvoie les rayons sur un satellite de convergence situé à 10km, et enfin l'ensemble est renvoyé sur un satellite muni de détecteurs CCD pour faire l'imagerie. Le satellite collecteur central a aussi pour mission de maintenir correctement l'espace entre les étages. Par certains côtés, il y a une certaine similitude avec la disposition: « Formation Flying » décrite ci-dessus.

5.11 SAFIR ET SPECS

SAFIR (Single Aperture Far-IR) et SPECS (the Submillimeter Probe of the Evolution of Cosmic Structure) sont deux projets spatiaux dans les domaines submillimétrique et lointain infrarouge, le premier est la réalisation d'un télescope et le second celle d'un spectromètre.

OBJECTIFS SCIENTIFIQUES

SAFIR est un télescope destiné aux observations dans les longueurs d'ondes comprises entre 15 et $600\mu\text{m}$, ce qui permettra un léger recouvrement avec la mission JWST et les possibilités des observatoires au sol. Dans le livre blanc de SAFIR, il est mentionné que le spectre continu F-IR et les raies observées sont d'excellents indicateurs pour connaître la vitesse de formation des étoiles et les conditions physiques nécessaires à la formation des nuages moléculaires. SAFIR peut être utilisé pour étudier des sites individuels d'étoiles en formation par une méthode spectroscopique. Il y a également un intérêt dans l'étude des trous noirs.

5.12 SPICA (ANCIENNEMENT HII/L2)

SPICA (*Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics*) est une mission de la prochaine génération dans l'infrarouge qui devrait être lancée par une fusée japonaise HIIA au point L2 du système terre-soleil. Elle doit faire suite à la mission IRTS lancée en 1995 et elle s'inscrit dans le projet de surveillance en imagerie infrarouge japonaise (ASTRO-F/IRIS).

OBJECTIFS SCIENTIFIQUES

La figure 7 ci-dessous compare les sensibilités entre les résultats attendus de Herschel (anciennement FIRST), et de JWST (anciennement NGST). Il est annoncé que cette mission a pour objectif une très haute sensibilité dans l'infrarouge moyen et en lointain infrarouge. Cette mission est considérée comme le complément des observatoires infrarouges et submillimétriques ci-dessus.

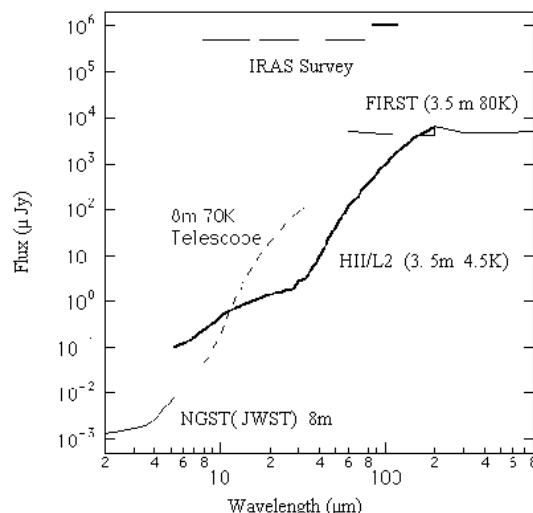


Fig. 7. Comparaison des sensibilités Herschel, JWST

5.13 SUBMILLIMETRON

Il s'agit d'un télescope cryogénique submillimétrique dont le déploiement, la maintenance et éventuellement les réparations seront effectuées en utilisant la partie russe de la station spatiale internationale.

OBJECTIFS SCIENTIFIQUES

Il s'agit d'obtenir une cartographie complète du ciel en ondes submillimétriques (1 THz) avec une résolution angulaire, à cette fréquence, d'une seconde d'arc. Plus précisément, les objectifs de cette mission seront les suivants:

- Etudier en submillimétrique et en infrarouge lointain les composants froids de la matière de l'Univers ;
- Etudier l'anisotropie du rayonnement cosmique micro-ondes ;
- Etudier le spectre des sources astronomiques et leurs variations.

5.14 VLBI (À BASSE FRÉQUENCE)

Comme dans le cas précédent, ce projet ne correspond pas à une mission parfaitement identifiée, mais il s'agit de montrer la possibilité de réaliser un observatoire spatial destiné à l'observation du ciel dans des gammes de fréquences très basses, actuellement inexplorées pour la plupart. Dans aucune des études que nous avons explorées il n'est question de mettre un équipement cryogénique embarqué. Les deux intérêts majeurs de ce projet, par rapport aux radios observatoires déjà existants dans cette bande (au sol), sont d'avoir une très bonne propagation des ondes et d'éviter les interférences avec les émetteurs. En effet les observations au sol sont fortement gênées par la présence de l'ionosphère. Par ailleurs, en étant suffisant loin de la terre on élimine la réception des émetteurs terrestres. Les observations faites sur le satellite WIND, situé à $\sim 2 \times 10^5$ km de la terre montre encore un niveau supérieur de 5dB pour les RFI (*Radio Frequencies Interferences*) par rapport au bruit du ciel, et dans la bande 1 à 15 MHz. La condition d'éloignement est donc primordiale pour le succès d'une telle entreprise.

OBJECTIFS SCIENTIFIQUES

- La compréhension des processus physiques responsables d'une émission et d'une absorption de rayonnement qui sont observés à basse fréquence.
- La possibilité d'observer les émissions radio produites par les électrons de basse énergie, ce qui forme une excellente source d'information sur les évolutions des galaxies.
- L'étude de l'échange de matière entre le milieu intergalactique et les étoiles.

Il y a également un intérêt en ce qui concerne l'imagerie du soleil, la cartographie du champ magnétique interplanétaire à grande échelle et la compréhension des mécanismes d'émission et d'accélération des particules.

5.15 VSOP-2

La mission japonaise VSOP_2 fera suite à la mission VSOP. Elle est actuellement étudiée par un Working Group pour définir un interféromètre spatial, à très longue base, de la prochaine génération. La conception du satellite est fortement contrainte par les dimensions de la fusée porteuse, et le poids total du satellite devrait être de 910 kg et nécessiter une consommation électrique de 1800 W.

OBJECTIFS SCIENTIFIQUES

- Une étude des mécanismes d'émission en conjonction avec les satellites de prochaines générations comportant des télescopes à rayons X et rayons gamma ;
- Une étude de l'orientation de la polarisation du champ magnétique et l'évolution des jets ;
- Des mesures de rotation Faraday ;
- Une étude à haute résolution de la collimation et de la formation des jets dans l'environnement des trous noirs super massifs ;
- Une étude haute résolution spectrale des lignes maser et méga-maser.

5.16 WISE

WISE a été retenu en phase B par la NASA en août 2004 et le projet préliminaire était examiné en avril 2005. Le lancement a été effectué en décembre 2009.

OBJECTIFS SCIENTIFIQUES

Il s'agit d'un télescope infrarouge qui fonctionnera entre 3.5 et 23 μm . Il sera 1000 fois plus sensible que le télescope de surveillance IRAS.

L'un des objectifs principaux est de compléter les observations et les découvertes effectuées par IRAS. Ce satellite a en effet découvert une classe de galaxies qui sont 100 fois plus lumineuses dans l'infrarouge que dans visible, et qui rivalisent ainsi avec la luminosité totale des quasars. La sensibilité attendue de WISE doit permettre d'observer des galaxies hyper lumineuses jusqu'à 3 μm de longueur d'onde. Un autre objectif concerne la recherche d'étoiles proches du soleil; en effet, les étoiles dont la masse est inférieure à 0.08 fois celle du soleil ne sont pas suffisamment chaudes pour être observées dans le visible (étoiles froides, naines brunes). Parmi les autres objectifs, on peut également citer la détection de la ceinture d'astéroïdes supérieure à 3 km. Enfin cette mission permettra d'aider les observations effectuées ultérieurement par le télescope JWST.

5.17 XEUS

XEUS est l'acronyme de «X-ray Evolution of Early Universe ». Le projet a été sélectionné par l'ESA, en octobre 2007, comme candidat à la mission Cosmic Vision. Il devrait entrer en fonction vers 2020.

OBJECTIFS SCIENTIFIQUES

Les objectifs de cette mission couvrent un très vaste domaine, allant de l'astrophysique, la recherche fondamentale sur la physique du soleil et des planètes jusqu'à exobiologie. D'une manière générale, les objectifs concernent l'étude et l'évolution de l'univers chaud. On peut distinguer:

- La recherche de l'origine et subséquemment l'étude de la croissance des premiers trous noirs à l'origine de l'univers ;
- L'évaluation de la formation des premiers petits groupes de galaxies et leur évolution ;
- La caractérisation réelle du milieu intergalactique.

Pour atteindre ces objectifs, les caractéristiques de l'observatoire seront:

- 1) Un système spectroscopique particulièrement performant avec une surface sensible supérieure à 20 m² pour des photons d'énergie inférieure à 2 keV et une résolution spectrale meilleure que 2 eV, ceci permettant une détection des raies significatives.
- 2) La résolution angulaire comprise entre 2 et 5 sec d'arc permet de réduire la confusion des sources aussi bien que le bruit galactique des rayons X.

6 CONCLUSION

Ainsi qu'il a été mentionné ci-dessus, l'utilisation de la logique RSFQ n'apparaît pas, et ceci quelques soit le type de mission: en micro-ondes, en submillimétrique dans l'infrarouge, et même jusqu'aux rayons X. Aucun des projets mentionnés signale une limitation des observations à cause des temps de calculs ou de problèmes liés à un trop grand flot de données. Par contre, une bonne partie des projets en question nécessitent une électronique refroidie, et parfois même à très basse température. La raison essentielle est que dans ces gammes de fréquences, le ciel apparaît comme froid, et que la température système en sortie est dominée par celle des récepteurs. Par ailleurs, les observations effectuées sont toujours limitées en termes de bande passante. Par exemple, le projet ARISE montre que quatre fréquences de réception sont utilisées : 5, 22, 44 et 86 GHz avec une bande maximum de 4 GHz. Par ailleurs la dimension des antennes est très grande vis-à-vis de la longueur d'onde, il en résulte que le domaine visible de l'antenne est étroit. Dans ces conditions la quantité de données à traiter reste raisonnable, puisque le débit vers le sol est estimé entre 1 et 8 Gbs. Une remarque similaire peut être faite pour l'ensemble des missions, sauf probablement pour les missions du type Formation Flying. C'est en effet autour de ces projets que l'on peut envisager l'utilisation d'une logique extrêmement rapide à cause d'un grand flot de données à traiter lors du vol.

Trois projets de missions rentrent actuellement dans ce cadre: MAXIM, TFP et VLBI à basse fréquence. Le projet MAXIM est clairement à la limite de la radioastronomie, et les compétences pour l'étudier plus en détail relèvent du domaine de la physique des particules. Il n'est pas fait mention d'un volume important de données, mais plutôt de la difficulté de détecter le rayonnement. Le projet TFP rentre probablement beaucoup plus dans un domaine des longueurs d'ondes plus grandes, mais il s'agit d'un ensemble de réflexions destiné à définir des architectures de futures missions et non pas d'un projet clairement identifié, avec des fréquences précisées et des bandes passantes attribuées. Il semble aussi que l'étude porte beaucoup plus sur les équipements nécessaires pour atteindre l'objectif cherché que sur la définition précise d'une mission.

Le projet VLBI à basse fréquence a été déjà évoqué depuis très longtemps puisque l'un des premiers papiers identifiés est celui d'Alexander en 1971. Périodiquement, on voit apparaître dans la littérature, des articles qui évoquent ce type de mission, la raison majeure étant que l'ionosphère n'est pas parfaitement transparente dans ces gammes de fréquences et qu'elle affecte très sérieusement la propagation. En outre, dans cette bande de fréquences, l'activité humaine terrestre perturbe considérablement les observations. Il est donc normal que la communauté radio astronomique se soit penchée très tôt vers les possibilités offertes dans le domaine spatial. Par ailleurs, en comparaison des projets précédents, la bande passante à couvrir est considérable puisqu'elle demande plus de 7 décades. Pour ces raisons, si un projet de radioastronomie devait utiliser la logique RSFQ, c'est probablement pour construire un interféromètre à très basse fréquence. Si on se réfère à l'étude effectuée par Oberoi et Pinçon [9], il apparaît toutefois qu'un ensemble de 16 microsattellites est capable de faire le traitement de signal avec des DSP actuellement existants. Il est cependant noté que le volume du flot des données à traiter est limité principalement par les liaisons intra-satellites. En outre l'implantation de cryogénie n'est actuellement pas concevable sur des microsattellites : problèmes de poids et de consommation électrique. En conséquence, si on devait envisager l'utilisation de la logique RSFQ, il faudrait repenser complètement la structure proposée et les contraintes imposées par ces auteurs. En effet, en dehors de la possibilité de réaliser une «baseline» pour faire une interférométrie à très basse fréquence, le souci d'un faible coût pour la mission reste un guide de base pour cette étude.

Sur le plan pratique, l'introduction de la logique RSFQ dans un tel projet reste conditionnée à la présence de cryogénie, on est alors en droit de se demander si une autre approche n'est pas plus pertinente. En effet, ce qui semble un point dur n'est pas le volume des calculs mais la transmission des données entre les satellites pour un problème de dimensionnement d'antenne. Si ce point peut être résolu, par exemple en utilisant une antenne gonflable comme dans le projet ARISE, alors les perspectives du développement de la microélectronique dans un proche avenir, avec des nano transistors (voir la référence [2] qui fait le point sur les perspectives), offriront un recul substantiel sur les limites actuelles des moyens de calcul. Dans ces

conditions, l'introduction de la logique RSFQ semble apparaître comme une seconde étape après avoir épuisé les possibilités des techniques à semi-conducteurs.

RÉFÉRENCES

- [1] Y. Kebbat, H. Souffi « Etat des lieux des capteurs refroidis dans le domaine spatial » International Journal of Innovation and Scientific Research, ISSN 2351-8014 Vol. 25 No. 1 Jun. 2016, pp. 287-298
- [2] A. Svizhenko, et al "*nanotechnology*", IEEE Transaction on Nanotechnology Volume: 3 Issue: 1 Date: March 2004
- [3] M. Lundstrom, "*Is nanoelectronics the future of microelectronics?*" Proceedings of the 2002 International Symposium on: Low Power Electronics and Design, p: 172- 177 (2002)
- [4] Svizhenko, A. et al. "*Role of Scattering in Nanotransistors*", IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. 50, p 1459 (2003)
- [5] Yoshikawa, N. Koshiyama, J., "*Top-down RSFQ logic design based on a binary decision diagram*" IEEE Trans. On Appl. Supercond. Vol. 11, p. 1098-1101, (2001).
- [6] Kerkhoff, H. G. Speek, H. "*The testing of high-speed Josephson junction circuits*", Proceeding of the ProRISK/IEEE workshop, p. 317-321, (2000).
- [7] Gaj, K. et al. "*Tools for the computer-aided design of multigigahertz superconducting digital circuits*", IEEE Trans. On Appl. Supercond. Vol. 9, p. 18-38, (1999).
- [8] "SCENET Roadmap for superconducting digital electronics", Version 1.4, March 2000.
- [9] D. Oberoi, J.L. Pinçon « A new design for a very low frequency spaceborne radio interferometer » Radio Science, AGU journal, July 2005.

Données préliminaires sur l'avifaune du barrage urbain de Koko (Korhogo, Côte d'Ivoire)

[Preliminary data of the avifauna of the urban dam of Koko (Korhogo, Côte d'Ivoire)]

NIAMIEN Coffi Jean Magloire¹, ODOUKPE Kadio Saint Guillaume², KOUE BI Tih Mathieu², YAKOKORE-BEIBRO Kouassi Hilaire², and N'GORAN Kouakou Eliézer²

¹Département de Biologie Animale,
UFR des Sciences Biologiques, Université Peleforo Gon Coulibaly,
Korhogo, Côte d'Ivoire

²Laboratoire de Zoologie et Biologie Animale,
UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny,
Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2019 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Birds community of the urban dam of Koko in Korhogo Commune (Côte d'Ivoire) was studied for the first time from February 2016 to January 2017. Direct observations using the method of line transects with a 15 minutes points were used to identify the qualitative composition of the bird's community and to test the influence of the site on the distribution of bird species. One species of birds, *Streptopelia decipiens* (Hartlaud Finsch, 1870) was observed for the first time in Côte d'Ivoire. The order of the Passeriformes and the family of Ardeidae were most represented. In terms of their biogeographical status, the resident bird species were majority (59 %). The distribution of bird species varied with site and season.

KEYWORDS: Wetland, birds, diversity, biogeography, Korhogo, Côte d'Ivoire.

RÉSUMÉ: La communauté d'oiseaux du barrage urbain de Koko et de ses environs dans la commune de Korhogo (Côte d'Ivoire) a été étudiée pour la première fois de février 2016 à janvier 2017. Des observations directes, utilisant la méthode des transects ponctuée d'arrêts d'environ 15 minutes, ont été effectuées en vue de connaître la composition qualitative de la communauté d'oiseaux et de tester l'influence du site sur la distribution des espèces d'oiseaux. Les résultats indiquent que cette communauté est constituée de 63 espèces d'oiseaux appartenant à 32 familles et regroupées en 14 ordres. La tourterelle pleureuse, *Streptopelia decipiens* (Hartlaud Finsch, 1870) a été observée pour la première fois en Côte d'Ivoire. L'ordre des Passériformes et la famille des Ardeidae ont été les mieux représentés. Du point de vue de leur statut biogéographique, les espèces d'oiseaux résidentes sont majoritaires (59 %). La distribution des oiseaux a varié avec le milieu et la saison.

MOTS-CLEFS: Zone humide, oiseaux, diversité, biogéographie, Korhogo, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

La gestion durable des écosystèmes passe par la prise en compte de la connaissance des communautés qui les composent, les spécificités d'habitats de la faune, les variations d'effectifs et les menaces [1].

En Côte d'Ivoire, la faune des vertébrés est de mieux en mieux connue. Les oiseaux en représentent une part importante avec environ près de 750 espèces. Les études portant sur l'avifaune se sont essentiellement déroulées en milieu forestier dans la partie sud du pays et accessoirement au centre dans les zones humides [2], [3], [4], [5], [6].

Les zones humides sont des étendues naturelles ou artificielles d'eau, qui fournissent divers services écosystémiques ainsi que de l'eau dont dépendent des organismes végétaux et animaux pour leur survie. L'homme en tire profit dans le cadre des activités agricoles [3]. Par ailleurs, ce sont des milieux de fortes disponibilités de ressources alimentaires, d'où la forte diversité mondiale observée dans ces environnements dans le cas particulier des oiseaux [7], [8]. En effet, ces zones humides sont des sites de nutrition, d'hivernage et de reproduction pour de nombreuses espèces d'oiseaux d'eau migratrices et résidentes dont certaines sont inscrites sur la liste rouge de l'Union Internationale de la Conservation de la Nature [9], [10], [11]. En outre, cette présence des oiseaux est utilisée comme indicateur pour mesurer respectivement l'état de santé des écosystèmes et le niveau de pollution [8], [12]. Dès lors, ces milieux devraient être considérés comme des sites stratégiques pour la conservation de la biodiversité. Cependant, ces écosystèmes à fort potentiel écologique et de conservation sont menacés de disparition du fait des activités anthropiques, qui sont à la base de la perte de la diversité biologique [8], [13], [14].

Les études ornithologiques relatives aux zones humides de Côte d'Ivoire sont peu nombreuses et se sont concentrées à Grand-Bassam, à Yamoussoukro et accessoirement à Abidjan [3], [4], [5], [6]. Le nord du pays abrite divers barrages à vocation agro-pastorale. Ces barrages n'ont pas été l'objet d'étude portant sur l'avifaune. Pour pallier ce manque d'information, cette étude a été initiée dans la commune de Korhogo. Elle vise spécifiquement à inventorier les oiseaux du barrage urbain de Koko afin d'en déterminer la composition qualitative de la communauté et sa distribution. Les résultats de cette étude devraient permettre une meilleure connaissance de la répartition et de la bio-écologie de l'avifaune afin de contribuer à une gestion rationnelle et durable.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 SITE D'ÉTUDE

Le département de Korhogo (9°34' de Latitude Nord et 5°37' de Longitude) fait partie du District des savanes et de la région du Poro (**Figure 1**).

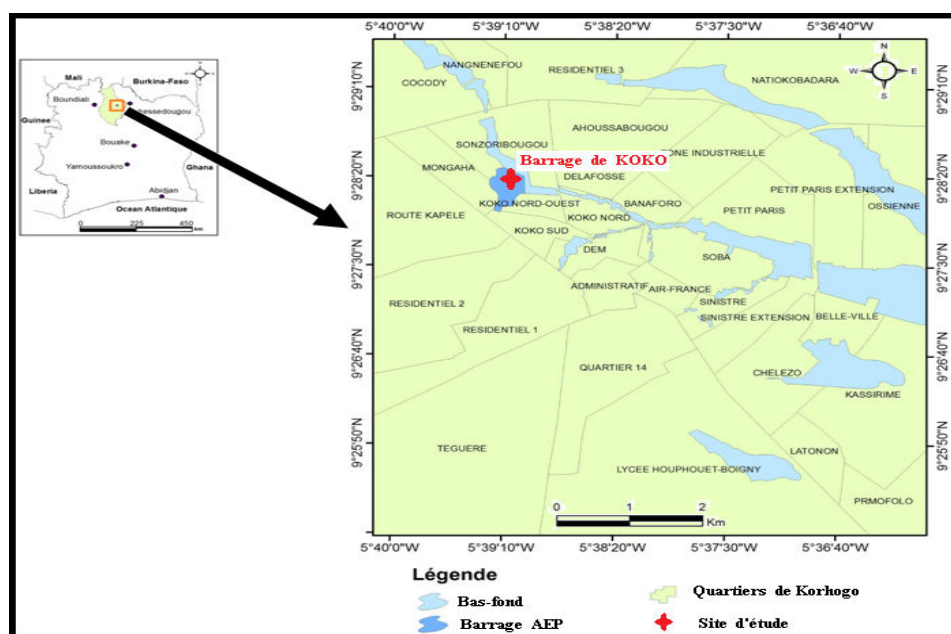


Fig. 1. Localisation de la Commune de Korhogo et du site d'étude

Le climat de la ville de Korhogo est de type soudanais, avec deux saisons: une saison sèche (de novembre à mars) et une saison des pluies (d'avril à octobre). Les crues se produisent d'août à octobre tandis que le tarissement a lieu de novembre à décembre [15].

La ville de Korhogo abrite plusieurs barrages à vocation agropastorale. Dans le quartier de Mongaha, le barrage de Koko (09°27'58.6" N / 005°38'37.7" W) (**Figure 1**) est utilisé comme source d'approvisionnement en eau par la Société de Distribution d'eau de Côte d'Ivoire. Par ailleurs, autour de ce barrage s'est développé des cultures maraichères. Dans le cadre de cette étude, quatre milieux ont été identifiés sur le site d'étude : l'eau (le barrage), la berge, la prairie / prairie inondée et la savane arborée. Ces milieux (berge, prairie / prairie inondée et savane arborée) sont disposés dans l'ordre en cercles concentriques autour de l'étendue d'eau.

2.2 MATERIEL TECHNIQUE

La réalisation de cette étude a nécessité l'usage d'une paire de jumelles pour les observations, d'un appareil photographique numérique pour des prises de vue, des guides d'identification [10], d'un dictaphone pour l'enregistrement des cris et chants des espèces d'oiseaux entendus, la discographie de Chappuis [16] pour l'identification des spécimens entendus et d'un GPS pour la détermination des coordonnées géographiques du site d'étude.

2.3 COLLECTE DES DONNÉES

La collecte des données relative à l'avifaune du barrage urbain de Koko a été réalisée sur un cycle annuel de février 2016 à janvier 2017. La méthode d'observations directes utilisant des transects ponctués par des arrêts d'environ 15 minutes a été utilisée [3], [5], [6], [17]. Pour ce faire, nous avons marché le long des contours du barrage afin d'identifier les espèces d'oiseaux dans les quatre différents milieux (eau, berge, prairie / prairie inondée et savane arborée). Les visites ont été effectuées par beau temps, deux fois par mois. Les inventaires d'oiseaux ont été réalisés de 07 h 00 à 10 h 00, tranche horaire, qui correspond à une période de forte activité [5], [6], [17], [18]. Tous les oiseaux vus, entendus, posés ou au vol ont été observés à la jumelle et identifiés à l'aide du guide d'identification des oiseaux de l'Afrique de l'Ouest [10]. Par ailleurs, les chants et cris d'espèces inconnues, ont été enregistrés avec un dictaphone et reconnus grâce au CD-Rom des chants et cris des oiseaux d'Afrique [16].

La séquence des ordres et des familles est conforme à la liste systématique [19]. La liste des espèces observées donne pour chacune d'elles, le statut biogéographique [19] ainsi que la fréquence d'occurrence [20], calculée sur la base de la présence mensuelle. L'expression de cette fréquence d'occurrence (F) est la suivante :

$$F = \frac{Si}{St} \times 100$$

Où : Si = nombre de relevés où l'espèce i a été présente,
St = nombre total de relevés.

Le pourcentage d'occurrence permet de distinguer les cinq classes suivantes : les espèces très fréquentes (de 80 à 100 %), les espèces fréquentes (de 60 à 79 %), les espèces assez fréquentes (de 40 à 59 %), les espèces accessoires (de 20 à 39 %) et les espèces accidentelles (moins de 20 %) [20].

2.4 ANALYSES STATISTIQUES

Avant toute analyse, la distribution normale des données a été testée en utilisant le test de normalité de Shapiro-Wilk. L'analyse factorielle de correspondances a servi à apprécier la contribution relative de chaque habitat sur la distribution qualitative des ordres et des familles d'oiseaux du barrage de Koko et de ses environs. Le Modèle Linéaire Généralisé (GLM), test non-paramétrique, a servi à tester l'effet des faciès du barrage de Koko sur la distribution qualitative des ordres et des familles d'oiseaux. Tous les tests statistiques ont été effectués avec le logiciel *Statistica* (Version 7.1).

3 RESULTATS

3.1 COMPOSITION QUALITATIVE GLOBALE

Les inventaires réalisés de février 2016 à janvier 2017 ont permis d'identifier 63 espèces d'oiseaux appartenant à 32 familles et regroupées en 14 ordres dans les différents faciès du barrage de Koko. Globalement, l'ordre des Passériformes est le plus important avec 12 familles (46,87 %) (**Tableau 1**).

La **figure 2** présente quelques photographies d'oiseaux observés au barrage de Koko.

S'agissant des familles, la famille des Ardeidae est la mieux représentée avec sept espèces (11,11 %), suivies des familles des Columbidae et des Ploceidae avec quatre espèces chacune (6,34%). Les autres familles sont moins importantes (trois à une espèce) (**Tableau 1**).

Les Non-Passériformes avec 37 espèces, 17 familles et 13 ordres représentent 58,73 % du peuplement. Dans ce groupe, l'ordre des Charadriiformes est le mieux représenté avec trois familles (17,65 %). La famille la mieux représentée est celle des Ardeidae (N= 7 espèces, soit 18,91 %) (**Tableau 1**).

Les Passériformes renferment 26 espèces soit 41,27 % de la communauté. La famille la plus représentative est celle des Ploceidae avec quatre espèces (15,38 %) tandis que chez les autres familles, le nombre d'espèce varie de trois à un (**Tableau 1**).

3.2 VARIATIONS MENSUELLES DE LA RICHESSE SPÉCIFIQUE

L'évolution mensuelle de la richesse spécifique de l'avifaune du barrage de Koko de février 2016 à janvier 2017, montre que le nombre d'espèce d'oiseaux a augmenté de février (N=24) à mars (N=35) (saison sèche) avant de chuter d'avril à décembre (N=17) et d'augmenter en janvier (N=25) (**Tableau 1**).

3.3 VARIATIONS SPATIALES DE LA RICHESSE SPÉCIFIQUE

La distribution de la richesse spécifique dans les différents faciès du barrage de Koko montre que la diversité a été la plus élevée dans la savane arborée (N=34 espèces), moyenne dans la prairie (N=27 espèces) et faible respectivement sur la berge (N=13 espèces) et dans l'eau (N=13 espèces) (**Tableau 1**).

3.4 DISTRIBUTION SPATIALE DES ORDRES ET DES FAMILLES D'OISEAUX

Les projections des proportions des ordres d'oiseaux réalisées à partir de l'analyse factorielle de correspondances (**Figure 3**), permet de distinguer deux grands groupes lorsqu'on considère l'axe 1 (54,22 % de contribution). En effet, à gauche de cet axe, les ordres des Suliformes, des Péléciformes, des Charadriiformes et des Apodiformes sont distribués en fonction des habitats eau et berge tandis qu'à droite de cet axe, les autres ordres se répartissent selon les milieux de prairie / prairie inondée et de savane arborée.

En considérant l'axe 2 (26,44% de contribution), une ségrégation s'opère dans cette distribution spatiale. Ainsi, les ordres des Siluriformes et des Péléciformes sont-ils présents dans l'eau alors que les ordres des Charadriiformes et des Apodiformes ont été observés sur la berge. Dans la savane arborée, les ordres les plus représentés sont les Falconiformes, les Musophagiformes, les Bucerotiformes, les Coraciiformes, les Cuculiformes et les Passeriformes. Le reste des ordres à savoir les Columbiformes, les Galliformes et les Gruiformes sont les mieux distribués dans la prairie / prairie inondée. Le modèle linéaire généralisé confirme cette observation en révélant que les faciès du barrage de Koko de Korhogo ont influencé la distribution des ordres d'oiseaux (GLM : ddl=3 ; W=236,47 p < 0,0001).

L'étude de la distribution des familles d'oiseaux par habitat à partir de l'analyse factorielle de correspondances (**Figure 4**), permet de distinguer deux ensembles en prenant en compte le premier axe (46,90 % de contribution). A gauche de cet axe, les familles d'oiseaux sont des spécialistes de l'eau et de la berge. Il s'agit des familles des Scolopacidae, des Phalacrocoracidae, des Scopidae, des Jacanidae, des Accipitridae et des Apodidae. Les autres familles se répartissent respectivement en spécialistes de la prairie et de la savane arborée.

La considération de l'axe 2 (28,81% de contribution) permet de séparer distinctement les familles d'oiseaux en fonction des milieux. Ainsi, les familles spécialistes de la savane arborée sont-elles les Cuculidae, les Musophagidae, les Falconidae, les Fringillidae, les Cuculidae, les Laniidae, les Pycnonotidae et les Muscicapidae. Les familles des Cisticolidae, des Columbidae, des Alcedinidae, des Estrildidae, des Ploceidae, des Phasianidae, des Motacillidae, des Sylviidae, des Turdidae et des Rallidae sont des spécialistes de la prairie. En conséquence, un effet du faciès est mis en exergue dans la distribution des familles d'oiseaux du barrage de Koko à Korhogo (GLM : ddl=3 ; W=626,33 p < 0,001).

Tableau 1. Bilan mensuel des espèces observées au barrage urbain de Koko à Korhogo et ses environs de février 2016 à janvier 2017 (- : absent, + : présent, SB : Statut biogéographique ; E : eau, B : berge, P : prairie, SA : savane arborée ; R : Résident ; P : Migrateur du Paléarctique ; M : Migrateur intra-africain ; O : Occasionnel)

Ordres /Familles /Espèces	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	SB	Milieux				Classification en fonction de la fréquence d'occurrence (%)
														E	B	P	SA	
SULIFORMES																		
Phalacrocoracidae																		
<i>Microcarbo africanus</i> (Gmelin, 1789)	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	R	+	+	-	-	Espèce assez fréquente (41,66%)
PELECANIFORMES																		
Scopidae																		
<i>Scopus umbretta</i> Gmelin, 1789	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	R	+	+	-	-	Espèce accessoire (25%)
Ardeidae																		
<i>Ixobrychus minutus</i> (Linné, 1766)	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	R/P/O	-	-	+	-	Espèce accidentelle (16,66%)
<i>Ardeola ralloides</i> (Scopoli, 1769)	+	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	R/P/O	+	-	+	+	Espèce assez fréquente (41,66%)
<i>Bubulcus ibis</i> (Linné, 1758)	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	R/M	-	+	+	-	Espèce assez fréquente (58,33%)
<i>Butorides striata</i> (Linné, 1758)	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+	-	R	+	+	+	-	Espèce fréquente (66,66%)
<i>Egretta garzetta</i> (Linné, 1766)	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	R/M/P	+	-	+	-	Espèce très fréquente (83,33%)
<i>Ardea purpurea</i> Linné, 1766	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	R/P/O	+	-	+	-	Espèce accidentelle (16,66%)
<i>Ardea cinerea</i> Linné, 1758	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	R/P	+	-	-	-	Espèce accidentelle (16,66%)
ACCIPITRIFORMES																		
Accipitridae																		
<i>Elanus caeruleus</i> (Desfontaines, 1789)	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	R	-	-	-	+	Espèce accidentelle (16,66%)
<i>Milvus migrans</i> (Boddaert, 1783)	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	M/P/R	+	+	-	+	Espèce très fréquente (83,33%)
<i>Accipiter tachiro</i> (Daudin, 1800)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	R	-	-	-	+	Espèce accidentelle (8,33%)

Ordres /Familles /Espèces	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	SB	Milieux				Classification en fonction de la fréquence d'occurrence (%)
														E	B	P	SA	
FALCONIFORMES																		
Falconidae																		
<i>Falco cuvierii</i> A. Smith, 1830	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R	-	-	-	+	Espèce accidentelle (8,33%)
GALLIFORMES																		
Phasianidae																		
<i>Francolinus bicalcaratus</i> (Linné, 1766)	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	R	-	-	+	-	Espèce accidentelle (8,33%)
GRUIFORMES																		
Rallidae																		
<i>Porphyrio alleni</i> Thomson, 1842	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	M/R	-	-	+	-	Espèce accidentelle (8,33%)
CHARADRIIFORMES																		
Jacanidae																		
<i>Actophilornis africanus</i> (Gmelin, 1789)	+	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	+	R	+	-	-	-	Espèce assez fréquente (50%)
<i>Microparra capensis</i> (A. Smith, 1839)	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R/M	-	+	-	-	Espèce accidentelle (8,33%)
Charadriidae																		
<i>Vanellus senegallus</i> (Linné, 1766)	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	R/M	-	+	-	-	Espèce accidentelle (16,66%)
<i>Vanellus spinosus</i> (Linné, 1758)	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	P/O	-	+	+	-	Espèce fréquente (66,66%)
Scolopacidae																		
<i>Tringa ochropus</i> Linné, 1758	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	P	-	+	-	-	Espèce accidentelle (16,66%)
<i>Tringa glareola</i> Linné, 1758	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	P	-	+	-	-	Espèce accidentelle (16,66%)
<i>Actitis hypoleucos</i> (Linné, 1758)	-	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+	P	+	+	-	-	Espèce accessoire (33,33%)

Ordres /Familles /Espèces	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	SB	Milieux				Classification en fonction de la fréquence d'occurrence (%)
														E	B	P	SA	
COLUMBIFORMES																		
Columbidae																		
<i>Columba guinea</i> Linné, 1758	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	R	-	+	+	+	Espèce très fréquente (91,66%)
<i>Streptopelia decipiens</i> (Hartlaud Finsch, 1870)	-	-	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	R/M	-	-	-	+	Espèce assez fréquente (41,66%)
<i>Streptopelia semitorquata</i> (Ruppell, 1837)	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	R	-	-	+	+	Espèce très fréquente (83,33%)
<i>Streptopelia senegalensis</i> (Linné, 1766)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	R	-	-	+	+	Espèce très fréquente (100%)
MUSOPHAGIFORMES																		
Musophagidae																		
<i>Crinifer piscator</i> (Boddaert, 1783)	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	R	-	-	-	+	Espèce accidentelle (8,33%)
CUCULIFORMES																		
Cuculidae																		
<i>Chrysococcyx klaas</i> (Stephens, 1815)	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	M/R	-	-	-	+	Espèce accidentelle (8,33%)
<i>Chrysococcyx caprius</i> (Boddaert, 1783)	-	-	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	M/R	-	-	-	+	Espèce accessoire (25%)
<i>Centropus senegalensis</i> (Linné, 1766)	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-	-	+	R	-	-	+	+	Espèce assez fréquente (58,33%)
APODIFORMES																		
Apodidae																		
<i>Cypsiurus parvus</i> (Lichtenstein, 1823)	-	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	R	+	-	-	-	Espèce accessoire (33,33%)
<i>Apus affinis</i> (J. E. Gray, 1830)	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	R	+	-	-	-	Espèce très fréquente (83,33%)

Ordres /Familles /Espèces	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	SB	Milieux				Classification en fonction de la fréquence d'occurrence (%)
														E	B	P	SA	
CORACIIFORMES																		
Alcedinidae																		
<i>Alcedo cristata</i> Pallas, 1764	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	R/M	-	-	+	+	Espèce très fréquente (83,33%)
<i>Halcyon senegalensis</i> (Linné, 1766)	-	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	-	M/R	-	-	-	+	Espèce accessoire (33,33%)
Coraciidae																		
<i>Coracias naevius</i> Daudin, 1800	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	R/M	-	-	-	+	Espèce accidentelle (8,33%)
BUCEROTIFORMES																		
Bucerotidae																		
<i>Tockus fasciatus</i> (Shaw, 1811)	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	R	-	-	-	+	Espèce accessoire (25%)
<i>Tockus nasutus</i> (Linné, 1766)	-	+	-	+	-	+	-	-	+	+	+	-	M/R	-	-	-	+	Espèce assez fréquente (50%)
PASSERIFORMES																		
Hirundinidae																		
<i>Hirundo lucida</i> Hartlaub, 1858	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	+	R/M	+	-	+	-	Espèce fréquente (75%)
Motacillidae																		
<i>Anthus leucophrys</i> Vieillot, 1818	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	R	-	-	+	-	Espèce accessoire (25%)
<i>Motacilla flava</i> Linné, 1758	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	P	-	-	+	-	Espèce accidentelle (16,66%)
Pycnonotidae																		
<i>Pycnonotus barbatus</i> (Desfontaines, 1789)	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	R	-	-	-	+	Espèce fréquente (75%)
<i>Atimastillas flavicollis</i> (Swainson, 1837)	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R	-	-	-	+	Espèce accidentelle (8,33%)
<i>Theskelochicha leucopleura</i> (Cassin, 1855)	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R	-	-	-	+	Espèce accidentelle (8,33%)

Ordres /Familles /Espèces	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	SB	Milieux				Classification en fonction de la fréquence d'occurrence (%)
														E	B	P	SA	
Turdidae																		
<i>Turdus pelios</i> Bonaparte, 1850	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	R	-	-	+	-	Espèce accessoire (25%)
Muscicapidae																		
<i>Cossypha albicapillus</i> (Vieillot, 1818)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	R	-	-	-	+	Espèce accidentelle (8,33%)
Sylviidae																		
<i>Sylvia communis</i> Latham, 1787	+	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	P	-	-	+	-	Espèce assez fréquente (50%)
Cisticolidae																		
<i>Hypergerus atriceps</i> (Lesson, 1831)	-	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	R	-	-	-	+	Espèce accessoire (25%)
<i>Cisticola galactotes</i> (Temminck, 1821)	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	-	+	R	-	-	+	-	Espèce assez fréquente (50%)
Nectariniidae																		
<i>Chalcomitra senegalensis</i> (Linné, 1766)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	R/M	-	-	-	+	Espèce accidentelle (8,33%)
Laniidae																		
<i>Corvinella corvina</i> (Shaw, 1809)	+	+	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	R	-	-	-	+	Espèce assez fréquente (41,66%)
Malaconotidae																		
<i>Laniarius barbarus</i> (Linné, 1766)	-	+	+	-	+	+	+	+	-	-	-	+	R	-	-	-	+	Espèce assez fréquente (58,33%)
<i>Tchagra senegalus</i> (Linné, 1766)	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	R	-	-	-	+	Espèce accidentelle (16,66%)
Corvidae																		
<i>Ptilostomus afer</i> (Linné, 1766)	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	R	-	-	+	+	Espèce assez fréquente (41,66%)
<i>Corvus albus</i> Müller, 1776	-	+	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-	R	-	+	+	-	Espèce assez fréquente (41,66%)

Ordres /Familles /Espèces	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	SB	Milieux				Classification en fonction de la fréquence d'occurrence (%)
														E	B	P	SA	
Passeridae																		
<i>Passer griseus</i> (Vieillot, 1817)	+	-	-	-	+	+	-	+	+	+	+	-	R	-	-	-	+	Espèce assez fréquente (58,33%)
Ploceidae																		
<i>Ploceus cucullatus</i> (Müller, 1776)	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	R	-	-	+	+	Espèce très fréquente (91,66%)
<i>Malimbus scutatus</i> (Cassin, 1849)	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	R	-	-	-	+	Espèce accidentelle (8,33%)
<i>Euplectes franciscanus</i> (Isert, 1789)	+	-	-	-	+	+	+	+	+	-	+	-	M	-	-	+	-	Espèce assez fréquente (58,33%)
<i>Euplectes afer</i> (J. F. Gmelin, 1789)	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	R	-	-	+	-	Espèce assez fréquente (41,66%)
Estrildidae																		
<i>Uraeginthus bengalus</i> (Linné, 1766)	-	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	-	R	-	-	-	+	Espèce fréquente (66,66%)
<i>Lagonosticta senegala</i> (Linnaeus, 1766)	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	+	R	-	-	+	-	Espèce accessoire (25%)
<i>Lonchura cucullata</i> (Swainson, 1837)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	R	-	-	+	+	Espèce très fréquente (100%)
Fringillidae																		
<i>Crithagra mozambica</i> (Statius Muller, 1776)	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	R	-	-	-	+	Espèce accidentelle (8,33%)
Total	24	35	24	23	24	27	29	25	24	20	17	25		13	13	27	34	



Fig. 2. Photographies de quelques oiseaux du barrage urbain de Koko de Korhogo

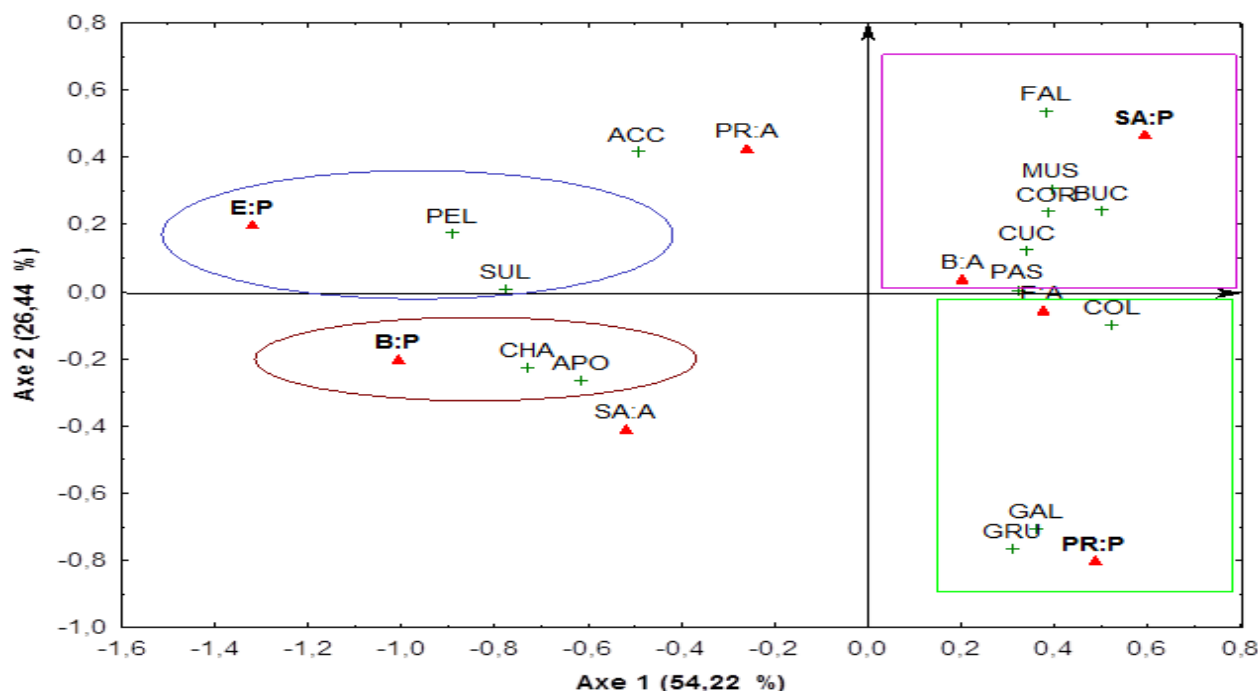


Fig. 3. Distribution spatiale des ordres d'oiseaux dans les différents fasciés du barrage de Koko de février 2016 à janvier 2017 dans la Commune de Korhogo (ACC : Accipitriformes; APO : Apodiformes; BUC : Bucerotiformes; CHA : Charadriiformes; COL : Columbiformes; COR : Coraciiformes; CUC : Cuculiformes; GAL : Galliformes; GRU : Gruiformes; FAL : Falconiformes; MUS : Musophagiformes; PAS : Passeriformes; PEL : Pelicaniformes; SUL : Siluriformes; E : Eau; B : Berge; PR : Prairie; SA : Savane arborée; A : Absent; P : Présent)

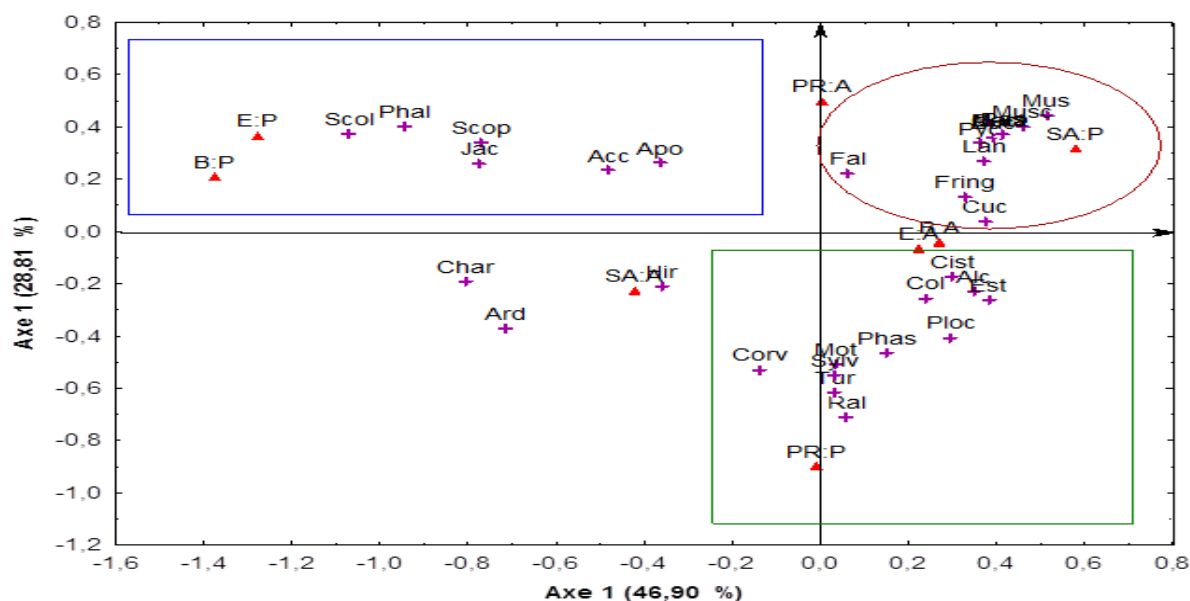


Fig. 4. Distribution spatiale des familles d'oiseaux dans les différents fasciés du barrage de Koko de février 2016 à janvier 2017 dans la Commune de Korhogo (Acc : Accipitridae; Apo : Apodidae; Alc : Alcedinidae; Ard : Ardeidae; Buc : Bucerotidae; Cha : Charadriidae; Cist : Cisticolidae; Col : Columbidae; Cor : Coraciidae; Corv : Corvidae; Cuc : Cuculidae; Est : Estrildidae; Fal : Falconidae; Fring : Fringillidae; Hir : Hirundinidae; Jac : Jacanidae; Lan : Laniidae; Mal : Malaconotidae; Mot : Motacillidae; Mus : Musophagidae; Musc : Muscicapidae; Nect : Nectariniidae; Pass : Passeridae; Phal : Phalacrocoracidae; Phas : Phasianidae; Ploc : Ploceidae; Pyc : Pycnonotidae; Ral : Rallidae; Scol : Scolopacidae; Scop : Scopidae; Sylv : Sylviidae; Tur : Turdidae; E : Eau; B : Berge; PR : Prairie; SA : Savane arborée; A : Absent; P : Présent)

3.5 CARACTÉRISATION QUALITATIVE DU PEUPLEMENT

3.5.1 STATUT BIOGEOGRAPHIQUE

Le peuplement est dominé par les espèces résidentes avec 37 espèces (59 %). Les espèces migratrices du paléarctique et intra-africaine représentent 9 % avec un effectif de six espèces. Vingt espèces ont un statut mixte (résidente-migratrice-occasionnelle) et représentent 32 % du peuplement (**Tableau 1**).

3.5.2 FRÉQUENCE D'OCCURRENCE

La caractérisation des espèces d'oiseaux sur la base de la fréquence d'occurrence révèle que les espèces accidentelles avec 23 espèces sont dominantes dans le peuplement (36,51 %). Les espèces assez fréquentes, accessoires et très fréquentes (N=9-16) sont moyennement représentées (14,28%-25,4%) alors que les espèces fréquentes (N=5) sont faiblement présentes (7,94%) (**Figure 5**).

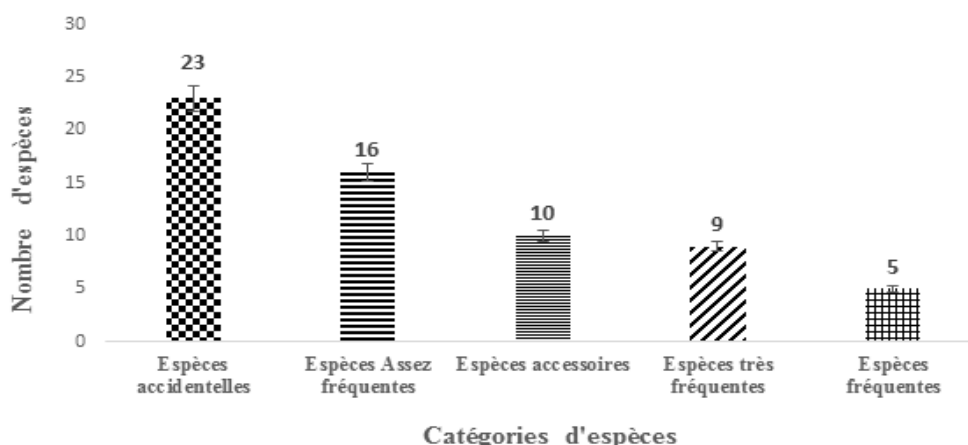


Fig. 5. Caractérisation du peuplement avien du barrage de Koko sur la base de la fréquence d'occurrence de février 2016 à janvier 2017 dans la Commune de Korhogo

4 DISCUSSION

Les inventaires de la composition qualitative de l'avifaune du barrage urbain de Koko de Korhogo ont permis d'identifier 63 espèces d'oiseaux. Ce nombre est inférieur aux 138 espèces, 218 espèces et 165 espèces inventoriées dans la zone humide de Grand-Bassam [3], [6], [11], ainsi qu'aux 122 espèces observées sur les lacs urbain de Yamoussoukro [4]. Nos résultats sont proches des 73 espèces d'oiseaux déterminées dans la zone marécageuse de la Djibi à Abidjan [5] mais sont supérieurs aux 29 espèces identifiées dans la zone humide du Kashmir en Inde [8]. Ces différences pourraient être liées à l'étendue des zones d'études pour les travaux menés en Côte d'Ivoire d'une part, à la diversité et à l'abondance des ressources alimentaires ainsi qu'à l'hétérogénéité des habitats offerts par les écosystèmes d'autre part [5], [6], [7]. Les écarts observés avec ceux du Kashmir se rattacheraient à la période d'étude relativement brève, qui a été de six mois. Comparé aux données obtenues en Côte d'Ivoire [2], [3], [4], [5], [6], une nouvelle espèce d'oiseau est observée pour la première fois, la tourterelle pleureuse, *Streptopelia decipiens*, identifiée par la reconnaissance de son chant. La présence de cette espèce confinée dans les zones sahéliennes [10], serait due au fait que les études avifauniques menées ont été ponctuelles ou absentes du nord de la Côte d'Ivoire.

Les résultats ont relevé que l'ordre des Passériformes est le mieux représenté à l'instar des études effectuées sur les lacs urbain de la ville de Yamoussoukro [4] et de la zone marécageuse de la Djibi à Abidjan [5]. Cependant, des études ont montré que les non-passériformes ont constitué le groupe le plus important dans la zone humide de Grand-Bassam en Côte d'Ivoire [3], [6], [21], et dans la zone humide du Kashmir en Inde [8].

La famille des Ardeidae a été la plus riche en espèces. Nos résultats sont similaires aux travaux menés en Côte d'Ivoire dans la zone humide de Grand-Bassam, dans la zone marécageuse de la Djibi à Abidjan et sur les lacs urbains de la ville de Yamoussoukro [4], [6], [11]. En outre, les familles des Accipitridae et des Scolopacidae ont été identifiées [3] tandis qu'en Inde, dans la zone humide du Kashmir, la famille des Alcedinidae a été déterminée [8].

La plus grande richesse spécifique des oiseaux a été observée au cours de la saison sèche (mois de mars). Nos résultats sont similaires aux travaux réalisés sur les lacs urbain de la ville de Yamoussoukro [4]. Ce fait serait lié à la diversité d'habitats à cette période de l'année, donc de niches écologiques et de ressources alimentaires variées, qui attireraient un grand nombre d'espèces d'oiseaux [4], [5], [6], [7], [22], [23].

La variation spatiale de la richesse spécifique dans les différents faciès du barrage de Koko a relevé que la savane arborée a abrité le plus grand nombre d'espèces. Ce fait pourrait s'expliquer par la disponibilité de ressources alimentaire liée à cette niche écologique. En outre, ces arbres ou arbustes serviraient de perchoir, de dortoir et de protection contre d'éventuels prédateurs d'autre part. Enfin, cet environnement serait utilisé comme refuge en cas de dérangement [24], [25].

Les distributions spatiales qualitatives des oiseaux ont relevé que les ordres et les familles d'oiseaux sont repartis selon des milieux particuliers. Ce fait pourrait s'expliquer par leur spécialisation en relation avec leurs différentes activités bioécologiques et leur sécurité (habitat spécifique, nutrition ou lieu de reproduction, refuge) [24], [25].

Du point de vue de leur statut biogéographique, la structure du peuplement observé, dominée par les espèces régulières est semblable à celles des études réalisées dans la zone marécageuse de la Djibi [5], dans une zone de riziculture dans la zone humide de Grand-Bassam [3] et dans la zone humide d'importance internationale de Grand-Bassam [6], [21].

La fréquence d'occurrence a relevé que neuf espèces sont très fréquentes dans la zone du barrage urbain de Koko à Korhogo. Parmi elle, le capucin nonnette *Lonchura cucullata* et la tourterelle maillée, *Streptopelia senegalensis* ont été les espèces les plus présentes avec une fréquence de 100 %. Ces deux espèces sont aussi présentes toute l'année à Yamoussoukro. Cependant, 22 espèces sont présentes toute l'année à Yamoussoukro. Cette différence serait liée à l'étendue de la zone d'étude qui a couvert 18 lacs urbains [26].

5 CONCLUSION

L'étude de l'avifaune du barrage urbain de Koko à Korhogo a permis d'inventorier 63 espèces. Parmi elles, une espèce a été observée pour la première fois en Côte d'Ivoire : *Streptopelia decipiens*. Les espèces inventoriées se répartissent en 32 familles et 14 ordres. L'ordre des Passériformes et la famille des Ardeidae ont été les mieux représentés. La plus grande richesse spécifique a été observée en saison sèche (mois de mars). La savane arborée a abrité la plus grande diversité d'oiseaux. Le peuplement est dominé par les espèces résidentes et les espèces accidentelles ont été les plus fréquentes. L'habitat a influencé la distribution des ordres et des familles d'oiseaux. Ce site urbain est soumis à diverses pressions anthropiques liées à la pratique de l'agriculture (maraîchers) en amont, autour du barrage. Cette activité présenterait des risques pour la survie de cette communauté d'oiseaux du fait de l'utilisation d'engrais et de pesticides, qui sont entraînés par les eaux de pluies dans le barrage, avec pour répercussion la pollution et l'intoxication, qui constitueraient d'éventuelles menaces pour la reproduction des espèces d'oiseaux d'eau.

RÉFÉRENCES

- [1] Conservation International, De la forêt à la mer : Les liens de la biodiversité de la Guinée au Togo, Conservation International, 2001.
- [2] K. P. Kouadio, K. H. Yaokokoré-Béibro, K. S. G. Odoukpé, E. M. Konan et K. P. Kouassi, "Diversité Avifaunique du Parc National du Banco, Sud-Est Côte d'Ivoire," *European Journal of Scientific Research*, vol. 125, no. 2, pp. 384-398, 2014.
- [3] K. S. G. Odoukpé, H. K. Yaokokoré-Béibro, P. K. Kouadio et M. E. Konan, "Dynamique du peuplement des Oiseaux d'une riziculture et ses environs dans la zone humide d'importance internationale de Grand-Bassam," *Journal of Applied Biosciences*, vol. 79, pp. 6909-6925, 2014.
- [4] E. M. Konan, K. H. Yaokokoré-Béibro et K. S. G. Odoukpé, "Richesse spécifique et abondance des oiseaux des dix Lacs Urbains de la ville de Yamoussoukro, dans le centre de la Côte d'Ivoire," *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol. 10, no. 1, pp. 217-225, 2015.
- [5] K. H. Yaokokoré-Béibro, Y. S. Koné, K. S. G. Odoukpé, "Avifaune d'un milieu marécageux urbain dans la commune de Cocody," *International Journal of Innovation and Scientific Research*, vol. 18, no. 1, pp. 99-108, 2015 a.
- [6] K. H. Yaokokoré-Béibro, M. F. Gueye, Y. S. Koné et K. S. G. Odoukpé, "Biodiversité urbaine des Oiseaux dans la Zone humide d'Importance Internationale de Grand-Bassam (Sud-Est de la Côte d'Ivoire)," *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol. 11, no. 2, pp. 339-349, 2015 b.
- [7] V. M. Patole, S. G. Yeragi and S. S. Yeragi, "Biodiversity of microbenthic fauna at Mochamad estuary of Vengurla, South Konkan, Maharashtra," *Proceeding of the national level conference on impact of urbanization on lake ecosystem*, pp.131-137, 2009.
- [8] M. A. Ahmad and I. A. Bhat, "Bird abundance of a flood plain wetland of Kashmir Himalayas," *International Journal of Zoology Studies* vol. 2, no. 1, pp.10-13, 2017.
- [9] M. A. El Agbani et M. Dakki, "Importance ornithologique du complexe des zones humides de la région de Smir," *Travaux de l'Institut des Sciences*, vol. 4, pp. 61-64, 2005.
- [10] N. Borrow and R. Demey, Guide des Oiseaux d'Afrique de l'Ouest, Delachaux et Niestlé, 2008.
- [11] K. H. Yaokokoré-Béibro, "Oiseaux du Parc National des Iles Ehotilé, sud-est Côte d'Ivoire," *Malimbus*, vol. 32, pp. 89-102, 2010.
- [12] S. A. Bryce, R. M. Hughes and P. R. Kaufmann, "Development of a bird integrity index: using bird assemblages as indicators of riparian condition," *Environmental Management*, vol. 30, pp. 294-310, 2002.
- [13] M. Williams, Wetlands: A threatened landscape, Blackwell Publishers, 1993.

- [14] T. Brooks, L. Andriamaro, R. Gereau, F. Hawkins, P. P. Howell II, Q. Luke, P. Matiku, M. W. McKnight, C. Msuya, R. Mugo, H. Rabarison, Z. L. Rakotobe, H. Randrianasolo, "Objectifs et priorités pour la conservation des Oiseaux et de la biodiversité d'Afrique," *Ostrich*, vol. 78, no. 2, pp.115-234, 2007.
- [15] T. Coulibaly, Diversité et dégât des termites dans les vergers de manguier de la région de Korhogo (Côte d'Ivoire) et essai de lutte par utilisation d'extrait aqueux de trois plantes locale, Université Felix Houphouët-Boigny, 2014.
- [16] C. Chappuis, African Bird Sounds: Birds of North, West and Central Africa, *Société d'Études Ornithologiques de France*, 2000.
- [17] K. H. Yaokokoré-Béibro, Avifaune des forêts classées de l'Est de la Côte d'Ivoire : données sur l'écologie des espèces et effet de la déforestation sur les peuplements. Cas des forêts classées de la Béki et de la Bossématié (Abengourou), Université de Cocody, 2001.
- [18] C. J. Bibby, N. D. Burgess and D. A. Hill, Birds census techniques, Academic Press, 1992.
- [19] N. Borrow and R. Demey, Birds of Western Africa. Identification guides, 2001.
- [20] R. Djakou et S.Y. Thanon, Ecologie Afrique intertropicale, Edition Bordas, 1988.
- [21] H. K. Yaokokoré-Béibro, M. A. N'guessan, K. S. G. Odoukpé, E. J. Zouzou, V. N'douba et P. K. Kouassi, "Premières données sur les oiseaux de la zone humide d'importance internationale de Grand-Bassam (Côte d'Ivoire)," *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 4, no. 6, pp. 2169-2180, 2010.
- [22] T. O. Loughbegnon, J. C. Codjia et R. M. Libois, "Distribution de l'avifaune des milieux forestiers de substitution (plantation et jachères) au Sud du Bénin en relation avec les facteurs de l'habitat," *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 4, no. 4, pp. 1191-1216, 2010.
- [23] M. Khaffou, A. Chalaoui et M. Samih, "Les habitats utilisés par le Tadorne casarca (*Tadorna ferruginea*) dans la zone humide d'Aguelmam Sidi Ali – Site Ramsar – Moyen Atlas-Maroc," *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 7, no. 2, pp. 598-606, 2013.
- [24] S. Subramanya, "Non-random foraging in certain bird pests of field crops," *Journal of Biosciences*, vol. 19, pp. 369-380, 1994.
- [25] R. P. Nasasagare, E. D. Ndayisaba et R. Libois, "La déprédation non aléatoire chez les oiseaux granivores du marais de Kagogo-Gisumo au Burundi," *Bulletin scientifique sur l'environnement et la biodiversité*, vol. 2, pp.1-8, 2017.
- [26] E. M. Konan et K. H. Yaokokoré-Béibro, "Variation temporelle du peuplement aviaire des écosystèmes lacustres de la ville de Yamoussoukro, centre de la Côte d'Ivoire," *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 9, no. 6, pp. 2566-2581, 2015.

Promoting Growth of Small and Medium-sized Enterprises through Innovation of Talents' Ideological Education and Ability Cultivation

Chunying Zhang¹ and Leilei Zhao²

¹Human Resources Department,
Binzhou PSL Pencil Co., Ltd.,
Binzhou, Shandong, China

²School of Transportation and Vehicle Engineering,
Shandong University of Technology,
Zibo, Shandong, China

Copyright © 2019 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In the new era, China's economy is in the key period of changing its development mode and driving force of growth. With the continuous improvement of China's market economy system, small and medium-sized enterprises (SMEs) are facing development opportunities and challenges. Under the background of deepening the reform and opening up in an all-round way, how to enhance the comprehensive ability of enterprises has become a key issue to promote the high-quality development of SMEs. In order to effectively promote the high-quality development and growth of SMEs in China, this paper first analyzed the current situation of employees' ideas and abilities. Based on this, some innovation management strategies and methods were put forward. The proposed management strategies and methods can also provide some references for the development and management of related enterprises in other countries and regions under the background of the new era.

KEYWORDS: Ideological education, ability training, innovation, employee, enterprise, development.

1 INTRODUCTION

Economic globalization provides strong impetus for world economic development [1-2]. Since the reform and opening up 40 years ago, China's economy has gradually moved towards high-quality development [3]. China's constant opening up has not only developed itself, but also benefited the world. In the new era, China's economy is in the key period of changing its development mode and driving force of growth [4]. In the new era, in order to improve the quality and efficiency of development and better meet the growing needs of the people for a better life, we must adhere to high-quality development, which is also a concentrated reflection of the new development concept. In the general trend of reform and opening up, the development of enterprises is facing opportunities and challenges [5]. For small and medium-sized enterprises, their own comprehensive management level is relatively low, although the development opportunities are obvious, but competition and risk coexist [6]. Small and medium-sized enterprises (SMEs) play an important role in the rapid growth of the national economy and the absorption of labor and employment [7]. They are an important force in promoting the economic and social development of China [8]. Therefore, promoting the development of SMEs is an important issue related to the national economy and people's livelihood.

In the new era, promoting the high-quality development of enterprises is an inevitable requirement to maintain the healthy development of enterprises, and also an inevitable requirement to follow the law of enterprise development [9-10]. If SMEs have strong comprehensive business capability, they can cope with various risks from inside and outside and achieve high-quality development. On the contrary, if SMEs have low comprehensive business capability, the development of enterprises may be difficult or even bankrupt. Therefore, under the background of deepening the reform and opening up in an all-round

way, how to enhance the comprehensive ability of enterprises has become a key issue to promote the high-quality development of SMEs.

In order to promote the high-quality development of small and medium-sized enterprises in China, this paper first analyzed the current situation of employees' ideas and abilities. Based on this, some innovation management strategies and methods were put forward.

2 CURRENT SITUATION ANALYSIS OF EMPLOYEES' IDEOLOGICAL EDUCATION AND ABILITY TRAINING IN SMEs

With the continuous improvement of China's market economy system, small and medium-sized enterprises are facing development opportunities, but also challenges. In the new era, the level of management and development of small and medium-sized enterprises is uneven, and various problems of their own have not yet been solved [11-12]. Their development has met certain bottlenecks and entered a dilemma. There is a gap between the overall quality of employees and the scale and the speed of enterprises development. Overall, the overall management of SMEs is extensive. To be specific, employees' ideologies and abilities are as follows:

- Some employees are lack of enthusiasm, inefficiency and carelessness.
- Businessmen have low working ability.
- Research and design personnel's ability is not strong.
- Most employees have little awareness of product quality.
- Salesmen lack strong tracking abilities of customers.
- Many employees lack a sense of social responsibility.
- Weak environmental awareness still exists.
- Employees' information-based decision-making ability needs to be improved.

The above factors that restrict the high-quality development of enterprises can be summarized as Figure 1.

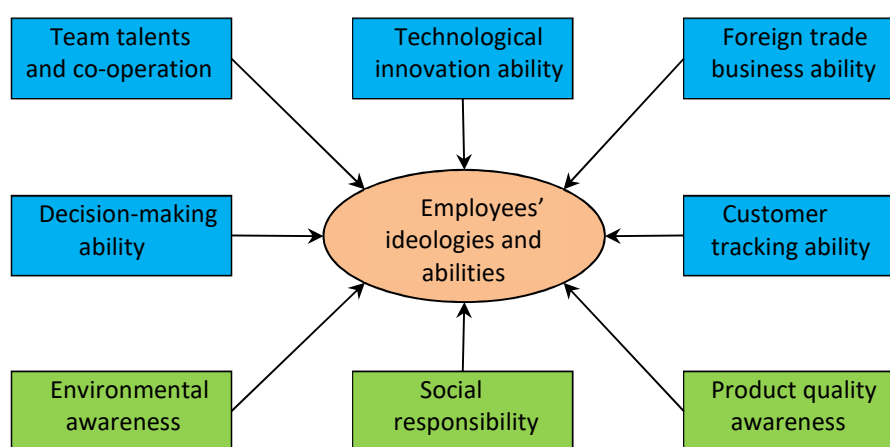


Fig. 1. *International Journal of Innovation and Applied Studies*

3 INNOVATION OF EMPLOYEES' IDEOLOGICAL EDUCATION AND ABILITY TRAINING

3.1 IMPROVING THE QUALITY OF ENTERPRISE TALENTS

Excellent talent team is the basis of product quality assurance. Experienced management team and high-quality staff team are the guarantee for the high-quality development of enterprises. For small and medium-sized enterprises, the quality of talents is uneven. In order to promote the high-quality development of enterprises, it is necessary to face the direction of high-quality development of enterprises and take various measures:

- By strengthening enterprise management training, developing professional and technical training and organizing vocational skills competitions, enterprises can build a high-quality workforce.

- Enterprises should carry out staff training seminars, party members' activities and other activities to enhance the comprehensive management ability of middle-level employees and enhance their ideological awareness.
- Enterprises should pay attention to the introduction of knowledgeable and highly skilled talents, so as to inject fresh blood into the high-quality development of enterprises.
- For newly introduced College students, the system of rotation practice should be implemented.
- Promote the management of core values of dedication, gratitude, unity of knowledge and practice, unity and struggle, and pursuit of excellence.
- Pursue the concept of "morality first, cultural identity, talent selection and utilization, fair competition, solidarity and cooperation, and common growth".

3.2 ENHANCING THE LEVEL OF FOREIGN TRADE BUSINESS

Promoting the comprehensive level of foreign trade business is the key to expand the marketing of enterprises' products. Since the reform and opening up, China's foreign trade has grown rapidly, which has greatly promoted the development of the national economy. Small and medium-sized enterprises should actively respond to the government's foreign trade support policy, enhance the comprehensive level of foreign trade business, open up overseas markets, improve export earning capacity, and promote high-quality development of enterprises. In order to effectively enhance the ability of foreign trade business, corresponding measures should be taken:

- It is necessary to train salesmen's knowledge and skills, including regular training of foreign trade correspondence and telecommunications, trade terminology and related product professional vocabulary.
- Implement on-site simulation negotiation training for salesmen.
- Be able to make corresponding effect maps according to customer's requirements, so as to facilitate customer's in-depth understanding of products.
- According to the salesman's personal characteristics, learn from each other's strengths to complement each other's weaknesses.
- Establish a performance appraisal and incentive system for foreign trade salesmen to fully mobilize their enthusiasm for exploring overseas markets.
- Establish mutual support and progress system to promote the overall business capability.
- Everyone carefully studies a specific foreign trade process every month and exchanges his or her experience.
- Combining with the actual order, the shortcomings in production and improvement plan should be put forward.

3.3 IMPROVING ENTERPRISE'S SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL INNOVATION ABILITY

To be strong and revitalized, a country must vigorously develop science and technology and strive to become the world's major scientific center and innovation highland. In today's world, whoever seizes technological innovation will be able to take the lead and gain advantages. Under the background of deepening the reform of science and technology system in an all-round way, it is helpful for enterprises to realize high-quality development to fully understand that innovation is the first driving force, to provide high-quality science and technology supply, and to strive to improve their ability of science and technology innovation. In order to effectively improve the technological innovation ability of enterprises, they must take many measures at the same time:

- Integrate Enterprise Resources, then establish and perfect Technology Development Center.
- Actively declare utility model, invention and appearance patents in order to strengthen the protection of knowledge products.
- Perfect the assessment mechanism of scientific and technological innovation, fully embody the value of scientific and technological research and development personnel.
- Promote the construction of scientific and technological innovation system in industry, university and research institutes, and actively declare national scientific and technological innovation and key scientific and technological projects in light of enterprise advantages and national strategic needs.

3.4 ENHANCING CUSTOMER DEVELOPMENT AND TRACKING ABILITY

The important sources of continuous improvement of product quality include: focusing on customers, communicating with target customers and potential customers with honest and pragmatic service concept, and paying attention to every suggestion

and complaint of customers. Improving salesman's customer development and tracking ability is an important link. Salesman should strengthen the following abilities:

- Implement one-to-one and point-to-point services based on the successful experience of existing ancillary services.
- Develop detailed customer development and tracking plan, and refine customer classification.
- Serve existing orders well, cooperate with delivery date, control quality of new products.
- Inquiry products, do a good job of tracking.
- Promote the company's new products to customers actively and timely, and inform them of upgrading process, cost reduction and quality improvement.
- Pay attention to enterprise image marketing, update factory management in time.
- Pay attention to business gift exchanges, prepare small gifts with characteristics, and send them to customers before major festivals.
- Actively participate in various exhibitions, such as Canton Fair, Frankfurt Fair, etc., take the initiative to engage customers for talks and ask for target prices.

3.5 IMPROVING EMPLOYEES' QUALITY AWARENESS

In today's fierce competitive environment, for enterprises, neglecting quality issues is tantamount to suicide. There is no doubt that product quality is the life and soul of an enterprise. Product quality has become a fundamental and development guarantee for an enterprise in the market. Therefore, enterprises must strive to improve product quality and pursue the quality concept of "first is quality, second is quality, third is quality". Employees must recognize the following three points:

- Reliable quality assurance system is the premise of the product quality assurance.

Quality system is the basis for the effective management of a wider range of quality activities within enterprises. The introduction of quality management system certification, such as ISO 9001, ISO 14001, ISO/TS16949, can effectively enhance the quality assurance awareness of enterprises. For small and medium-sized enterprises, quality management can be carried out based on the quality system to improve work efficiency and product qualification rate, and to improve the economic and social benefits of enterprises.

- High-precision testing equipment is the eye of the product quality assurance

Advanced testing equipment ensures the progress and quality of new product development. High precision testing and testing equipment is the eye of product quality assurance. It is difficult to ensure that products meet the requirements of high quality and high standards without high precision testing equipment before they leave the factory. Using the test data of high precision testing equipment, it can quickly and accurately judge whether the product quality meets the design requirements. Therefore, enterprises need to increase investment in equipment to achieve intelligent product quality detection, and promote sustainable and high-quality development.

- Advanced processing equipment and technology are the strong guarantee of the product quality.

New product development is the continuation of enterprise life, however, new product development can not be separated from advanced processing equipment and technology. Advanced processing equipment and technology are the strong guarantee of product quality. Advanced processing equipment and technology provide necessary conditions for enterprises to develop high-quality products, help enterprises to improve production efficiency and market competitiveness, and help to improve product recognition. If the enterprise does not have the ability to be recognized by the market and customers, it will not be able to talk about the high-quality development of the enterprise. Therefore, small and medium-sized enterprises should introduce advanced processing equipment and technology within their capabilities, give full play to the advantages of science and technology, promote product renewal and upgrading, and promote high-quality development of enterprises.

3.6 ENHANCING THE SENSE OF SOCIAL RESPONSIBILITY OF ENTERPRISES AND EMPLOYEES

Social responsibility is the basis for the survival and development of enterprises. Only by benefiting the society, can an enterprise achieve sustainable development. If an enterprise loses its sense of social responsibility, it will be difficult to stand firm in the fierce market competition. Only by putting social benefits above their own profits, can enterprises achieve sustainable and high-quality development in a good social environment. If enterprises can achieve good economic benefits on the basis of abiding by policies and regulations, enterprises and society can achieve a win-win situation. Therefore, for the

development of small and medium-sized enterprises, they must improve their sense of social responsibility. They should not forget to repay the society, participate in the financing of regional poverty alleviation and development funds, contribute to poverty alleviation work, absorb the surplus rural labor around, and drive farmers to become rich and get out of poverty.

3.7 ENHANCE EMPLOYEES' AWARENESS OF ENVIRONMENTAL PROTECTION

For small and medium-sized enterprises, the pressure of enterprise development is great. In the process of enterprise development, the destruction of the ecological environment was more or less caused. Constructing ecological civilization is a long-term plan concerning people's welfare and the future of the nation. Small and medium-sized enterprises must focus on strengthening the protection of the ecological environment, deal with the relationship between the development of enterprises and environmental protection, and achieve sustainable and high-quality development of enterprises. Enterprises should actively introduce ISO14001 environmental management system certification, improve environmental and environmental awareness, do well in environmental testing of factory boundaries according to system requirements, and jointly do well in maintenance of dust collector and waste gas treatment equipment with equipment authorities. In addition, enterprises should also earnestly do a good job in signing hazardous waste contracts and filing of five joint declarations. Enterprises also need to pay attention to the management and control of domestic wastewater and production wastewater, as well as the maintenance record of wastewater treatment and the purchase of medicines.

3.8 IMPROVING THE INFORMATION DECISION-MAKING ABILITY AND AWARENESS OF ENTERPRISES AND EMPLOYEES

It is very important to improve the information-based decision-making ability of enterprises and employees. The development of social informatization creates new economic life form, social management mode and new life style, and promotes social progress. High-quality development of small and medium-sized enterprises can not be separated from information technology. The informatization construction of enterprises can provide the basis for decision-making of informatization investment for enterprises, help to realize the synchronous growth of informatization investment and business value, and truly make decision oriented to the benefit. Information construction of enterprises is also conducive to enterprises to choose a scientific information model to meet the requirements of the network economy, to avoid the investment risks of enterprises, and to enhance their core competitiveness and international competitiveness. Therefore, enterprises should actively improve the level of information management, build an information network system, and improve the enterprise's information decision-making ability. Enterprises should ensure the smooth flow of information in sales, procurement, production, finance and other departments, establish a platform for data exchange, and promote the process of enterprise informatization. Enterprises should ensure timely access to the international market situation and the national policy guidance.

4 CONCLUSION

Under the background of deepening the reform and opening up in China, how to enhance the comprehensive ability of enterprises has become a key issue to promote the high-quality development of SMEs. For small and medium-sized enterprises, their own comprehensive management level is relatively low, although the development opportunities are obvious, but competition and risk coexist. Firstly, this paper analyzed the current situation of employees' ideas and abilities. Moreover, the above factors that restrict the high-quality development of enterprises can be summarized. Then, some innovative management strategies and methods were put forward. This research can also provide some references for the development and management of related enterprises in other countries and regions.

ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by Talents Introduction and Vocational Education Project in Binzhou PSL Pencil Co.,Ltd. (2018-b562).

REFERENCES

- [1] Y. Wu, Q. Zhu and B. Zhu, "Decoupling Analysis of World Economic Growth and CO2 Emissions: A Study Comparing Developed and Developing Countries," *Journal of Cleaner Production*, vol. 190, pp. 94-103, 2018.
- [2] S. Colenbrander, A. Gouldson, and A. H. Sudmant, "The economic case for low-carbon development in rapidly growing developing world cities: A case study of Palembang, Indonesia," *Energy Policy*, vol. 80, pp. 24-35, 2015.

- [3] Y. Ma, K. Rong, "Value Co-creation for sustainable consumption and production in the sharing economy in China," *Journal of Cleaner Production*, vol. 208, pp. 1148-1158, 2019.
- [4] W. Pan, W. L. Pan, and H. Cheng, "Assessing the green economy in China: An improved framework," *Journal of Cleaner Production*, vol. 209, pp. 680-691, 2019.
- [5] Z. Wang, S. Shu, and C. Can, "Industry relocation or emission relocation? Visualizing and decomposing the dislocation between China's economy and carbon emissions," *Journal of Cleaner Production*, vol. 208, pp. 1109-1119, 2019.
- [6] X. Ma, Y. Li, and C. Wang, "Ecological efficiency in the development of circular economy of China under hard constraints based on an optimal super efficiency SBM-Malmquist-Tobit model," *China Environmental Science*, vol. 38, no. 9, pp. 3584-3593, 2018.
- [7] X. Wang, H. Ding, and Y. Hu, "The evaluation of financing efficiency for China's small and medium-sized enterprises based on DEA model," *System Engineering Theory and Practice*, vol. 37, no. 4, pp. 865-874, 2017.
- [8] J. Su, K. Yu, and T. Yang, "Sustainable development mode for small and medium-sized manufacturing enterprises under the new situation in China," *Paper Asia*, vol. 2018, COMPENDIUM 5, pp. 48-54, 2018.
- [9] L. Feng, J. Ma, and Y. Wang, "Comparison study on development path for small and medium-sized enterprises E-commerce using complex fuzzy sets," *International Journal of Computational Intelligence Systems*, vol. 11, no. 1, pp. 716-724, 2018.
- [10] J. Su, K. Yu, and T. Yang, "Sustainable development mode for small and medium-sized manufacturing enterprises under the new situation in China," *Paper Asia*, vol. 1, Compendium5, pp. 48-54, 2018.
- [11] J. Su, K. Yu, and T. Yang, "Empirical analysis of influence of technological innovation on the growth of small and medium-sized enterprises," *Agro Food Industry Hi-Tech*, vol. 28, no. 3, pp. 2420-2424, 2017.
- [12] C. Zhang, "Research on risks of small and medium-sized enterprises online confirming storage based on evolutionary game theory and subjective Bayesian method," *Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)*, vol. 21, no. 2, pp. 225-233, 2016.

Impact de la faille des lagunes sur la genèse des grès bitumineux du Sud-Est de la Côte d'Ivoire : Aspect lithologique et environnemental

[The Lagoons' Fault impact on the genesis of bituminous sandstones of south-east of the Ivory Coast: Lithological and environmental aspect]

ASSALE Fori Yao Paul¹, ANO Nyamekai François d'Assise¹, KESSE Touvalé Marcel², KPLOHI Yaba Hervé³, KOUAO Assié François¹, TAHE Thierry³, and COULIBALY Aoua¹

¹Université Félix Houphouët Boigny, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Abidjan, Côte d'Ivoire

²Institut National Polytechnique Houphouët Boigny, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

³PETROCI, Centre d'Analyses et de Recherche (CAR), Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2019 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The trace of the Lagoons' Fault permitted to understand the distribution of bitumen in the onshore sedimentary basin in South-east of Ivory Coast. The bituminous formations met are made up mainly of bituminous sandstone which are sometimes associated with other bituminous formations (microconglomerats, sands, kaolins, glaucony, marly limestones and fossiliferous rocks). The bituminous sandstones are quartz wackes resulting from the consolidation of old quartzose sands by the bitumen. There are nano-vacuums between the grains quartz and the bitumen of these sandstones. This bitumen comes from the hydrocarbons which were formed in South of the Lagoons' Fault in the surroundings of Eboïnda. They were spread by diffusion through paleo-beaches and communicating paleo-channels before reaching the layout of the Lagoons' Fault and its satellite faults. It is thanks to these faults and to other communicating paleo-channels that the bitumen could migrate to North of the Lagoons' Fault between Samo and Grand-Bassam even beyond on a distance of at least 75 km. The bitumen is trapped in the form of lenses in fluvial paleo-channels and paleo-beaches located between Eboïnda and Grand-Bassam. The migration was done from East to West. The bituminous sandstones are in outcrop, subsurfaces and in the sublagoonal; that involves a contamination of soils, phreatic water table and lagoons surrounding.

KEYWORDS: Sandstone, bitumen, lenses, Lagoons' Fault, Ivory Coast.

RESUME: Le tracé de la Faille des Lagunes a permis de comprendre la distribution du bitume dans le bassin sédimentaire onshore au Sud-Est de la Côte d'Ivoire. Les formations bitumineuses rencontrées sont constituées principalement de grès bitumineux auxquels sont parfois associées d'autres formations bitumineuses (microconglomérats, sables, kaolins, glauconie, calcaires marneux et roches fossilifères). Les grès bitumineux sont des quartz wackes issus de la consolidation d'anciens sables quartzeux par le bitume. Il existe des nano-vides entre les grains de quartz et le bitume de ces grès. Ce bitume provient des hydrocarbures qui ont été formés au Sud de la Faille des Lagunes dans les environs d'Éboïnda. Ils se sont répandus par diffusion à travers des paléo-plages et des paléo-chenaux communicants avant d'atteindre le tracé de la Faille des Lagunes et ses failles satellites. C'est grâce à ces failles et à d'autres paléo-chenaux communicants que le bitume a pu migrer au Nord de la Faille des Lagunes entre Samo et Grand-Bassam voire au-delà sur une distance de 75 km au moins. Le bitume est piégé sous forme de lentilles dans des paléo-chenaux fluviaux et paléo-plages situés entre Éboïnda et Grand-Bassam. Les grès bitumineux sont en affleurement, en sub-surfaces et dans des sous-sols lagunaires ; ce qui entraîne une contamination des sols, des nappes phréatiques et des lagunes environnantes.

MOTS-CLEFS: Grès, Bitume, lentille, faille des lagunes, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

La dismigration aussi appelée migration tertiaire est une migration des hydrocarbures provenant des roches mères ou des roches réservoirs vers la surface. Ces hydrocarbures s'oxydent pour former un composé lourd appelé bitume qui va imprégner les formations sédimentaires environnantes ; on parle de formations bitumineuses (sables, argile, carbonates). Ce sont des indices de surfaces qui se rencontrent dans plusieurs régions du monde dont les plus grandes réserves se trouvent en Alberta (Canada). C'est grâce à ces indices, découverts dans la région d'Éboïnda, que l'idée de la recherche pétrolière en Côte d'Ivoire a vu le jour dans les années 1900. Les indices de surfaces sont très répandus au Sud-Est de la Côte d'Ivoire et sont constitués principalement de sables bitumineux, de grès bitumineux et d'argilites bitumineuses [1]. Ces formations sédimentaires sont des paléo-dépôts de sables fluviaux ou de sables de plages qui ont été imprégnés de bitume [1]. Le bitume sert de liant le plus souvent aux sables pour donner des grès bitumineux. C'est pour comprendre le caractère environnemental que ce présent travail vise à déterminer l'impact de la Faille des lagunes sur la formation des grès bitumineux. Les objectifs spécifiques assignés sont :

- établir une coupe lithologie des formations ;
- faire l'étude pétrographique des grès bitumineux ;
- déterminer le chemin migratoire du bitume ainsi que son extension.

Pour atteindre les objectifs, un certain nombre d'échantillons a été prélevé dans des sondages au Sud-Est de la Côte d'Ivoire. Ces sondages ont été effectués dans le bassin sédimentaire Onshore dont les coordonnées sont circonscrites dans un périmètre (Figure 1).

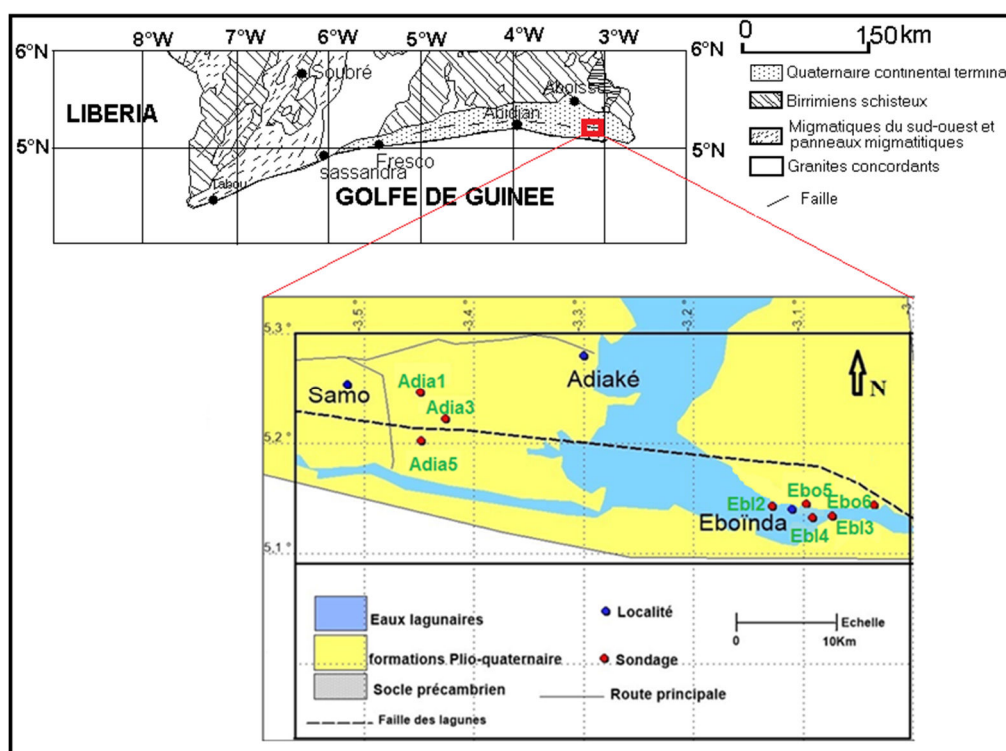


Fig. 1. Localisation des différents sondages

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIEL

Le matériel principal à étudier est constitué d'échantillons de sondage dont trois sondages à Adiaké (Adia 1, Adia 3 et Adia 5) et cinq sondages à Éboïnda (Ebo 5, Ebo 6, Ebl 2, Ebl 3 et Ebl 4). Les appareils principaux utilisés pour l'analyse des échantillons sont constitués de : loupe binoculaire et microscope électronique à balayage.

2.2 MÉTHODES

Les méthodes adoptées sont : la description lithologique et la pétrographie. La description lithologique se fera macroscopiquement et à la loupe binoculaire. Elle permet de déterminer les caractéristiques texturales et compositionnelles des roches [2]. Il s'agit donc de définir les caractères suivant : minéralogie, taille des grains, induration, taux de bitume, liant, couleur (code munsell) et test à l'HCl à 10%.

La pétrographie des grès bitumineux se fera au microscope électronique à balayage. Cette pétrographie, encore appelée rétrodiffusée, permet de connaître les différentes phases présentes dans les grès bitumineux. Pour cette étude au MEB, un échantillon de grès sera monté sur une lame non couverte.

3 RÉSULTATS

3.1 LITHOSTRATIGRAPHIE DES SONDAGES D'ADIAKE

Parmi les sondages d'Adiaké, deux (Adia 1 et Adia 3) sont situés au Nord de la faille des lagunes et un au Sud (Adia 5).

3.1.1 SONDAGE ADIA 1

Le sondage Adia 1 a une profondeur de 58 m. Les formations bitumineuses sont localisées entre les cotes 42 m et 34 m (Figure 2) et sont constituées de grès bitumineux. Ces formations sont moyennement imprégnées de bitume. On peut distinguer deux types de grès bitumineux qui sont séparés par un banc d'un mètre de kaolins secondaires situé dans l'intervalle 39-38 m. Le premier type de grès bitumineux est souple de couleur brun-noir. Ces grès sont constitués principalement de grains de quartz grossiers à très grossiers avec parfois des granules de quartz. Ils se rencontrent dans l'intervalle 42-39 m.

Le deuxième type présente des grès bitumineux très souples à souples, constitués principalement de grains de quartz. La coloration est brun-noir. Ils se localisent dans l'intervalle 38-34 m. La taille des grains varie de grossière à très grossière avec des granules de quartz à 38 m pour devenir moyenne à grossière à 35 m.

Les kaolins secondaires sont friables et gris-orange-violacé. Le bitume imprègne partiellement ces roches.

3.1.2 SONDAGE ADIA 3

Le sondage Adia 3 a une profondeur de 99 m (Figure 2). Dans ce sondage, les grès bitumineux se trouvent dans l'intervalle 70-54 m. Ces grès sont limités par des sables silto-argileux de couleur gris-sombre à la base (71-70 m) et par des shales sub-fissiles de couleur gris-olive à gris-sombre au sommet. L'intervalle 70-54 m est constitué de trois bancs de grès bitumineux. Le premier banc est pris entre des sables silto-argileux gris-sombre. Les formations bitumineuses de ce banc sont comprises entre les cotes 70 et 68 m. Elles débutent par des microconglomérats bitumineux noirs à noir-brunâtre. Ces microconglomérats sont souples et se rencontrent entre 70 à 69 m de profondeur. Au-dessus de ces microconglomérats, se sédimentent des grès bitumineux souples de couleur noire à noir-brunâtre. Ces grès ont une granulométrie moyenne à grossière et se situent entre les profondeurs 69-68 m.

Le deuxième banc est localisé entre la cote 65 m et la cote 58 m. Ce banc est constitué de grès bitumineux moyens à grossiers et souples. Il est limité à sa base et à son sommet par des shales sub-fissiles, gris-olive à gris-sombre et partiellement imprégnés de bitume.

Le troisième banc de grès bitumineux est également limité à sa base et à son sommet par des shales sub-fissiles, gris-olive à gris-sombre et partiellement imprégnés de bitume. Les grès bitumineux sont présents entre les cotes 57 m et 54 m. Ces grès sont souples, noirs à noir-brunâtre et moyens à grossiers.

Les microconglomérats et grès bitumineux sont fortement imprégnés de bitume dans le sondage Adia 3. Ils sont constitués principalement de grains de quartz.

3.1.3 SONDAGE ADIA 5

Le sondage Adia 5 est profond de 70 m. Dans ce sondage, on rencontre un banc d'un mètre d'épaisseur de grès bitumineux (Figure 2). Ces grès sont moyens et se localisent dans l'intervalle 62-61 m. Ils ne comprennent que des grains de quartz. Ils sont souples, moyennement imprégnés de bitume et de couleur brun-noir. Les grès bitumineux sont limités à la base par des sables quartzueux et au sommet par la glauconie.

Les formations bitumineuses des sondages d'Adiaké sont dépourvues de carbonates.

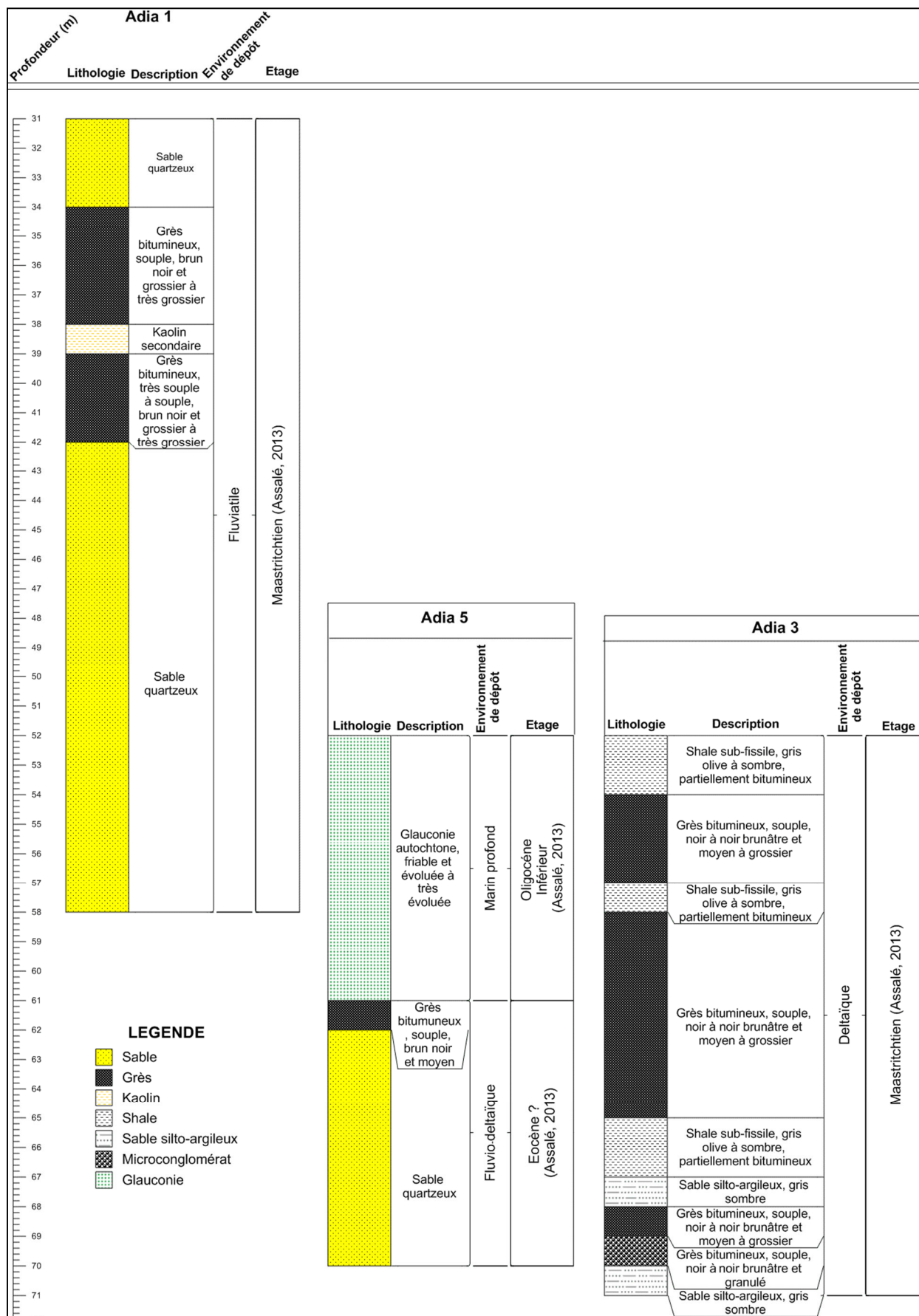


Fig. 2. Logs lithologiques des sondages Adia 1, Adia 3 et Adia 5 d'Adiaké

3.2 LITHOSTRATIGRAPHIE DES SONDAGES D'ÉBOÏNDA

Les sondages d'Éboïnda sont situés au Sud de la faille des lagunes dont deux à proximité de la lagune Tendo (Ebo 5 et Ebo 6) et trois dans cette lagune (Ebl 2, Ebl 3 et Ebl 4).

3.2.1 SONDAGE EBO 5

Le sondage Ebo 5 est profond de 56 m et comprend comme formations bitumineuses des grès, des sables, des shales et des glauconies (Figure 3). Les formations bitumineuses sont comprises entre des sables fluviaux à la base et des glauconies au sommet.

Les grès bitumineux sont situés entre les cotes 42-37 m et les cotes 25-22 m. Ils sont constitués principalement de quartz. Les grès de l'intervalle 42-37 m présentent un granoclassement positif dans le sens de la sédimentation. Ce sont des grès grossiers à très grossiers (42-40 m) et moyens (40-37 m). Les grès bitumineux grossiers à très grossiers sont souples à ductiles de couleur noire à gris-brunâtre. Les grès bitumineux moyens sont noir-olive et friables.

Les grès de l'intervalle 25-22 m montrent des grains moyens. Ils sont friables, de couleur noir-olive et séparés des autres grès par des sables quartziteux bitumineux et des sables quartziteux.

Les sables quartziteux bitumineux se rencontrent entre les profondeurs 37-31 m. Ce sont des sables quartziteux moyens à grossiers tachetés de bitume à passés de kaolins secondaires entre la cote 33 m et la cote 32 m. La couche de bitume présente sur les grains de quartz est très fine et est mélangée à de l'argile plus abondante, donnant une coloration gris-jaunâtre.

Sur ces formations, se sédimentent des glauconies (nodules de glauconites pris dans une matrice kaolinique) et de shales sub-fissiles à fissiles. Les glauconies et les shales sont tachetés de bitumes.

3.2.2 SONDAGE EBO 6

Les formations du sondage Ebo 6 sont constituées de grès, de sables et de glauconies. La profondeur du sondage est de 54 m (Figure 3).

Les grès bitumineux sont moyens, souples à ductiles, de couleur noire à noir-brunâtre et se rencontrent dans l'intervalle 36-34 m. Les sables quartziteux partiellement bitumineux sont présents entre 34 et 23 m de profondeur au-dessus des grès bitumineux. La couche de bitume qui très fine est mélangée dans de l'argile qui est plus abondante. Ces sables comprennent les sables moyens à grossiers (34-29 m) et les sables fins à moyens (29-23 m). Ces sables présentent un granoclassement normal dont la coloration varie dans le sens de la sédimentation du gris-foncé au gris-jaunâtre en passant par le gris-olive-clair. Les glauconies sont tachetées de bitume. Elles sont constituées de nodules de glauconite pris dans une matrice argilo-silteuse bitumineuse. La couche de bitume sur les nodules de glauconites est fine.

Les glauconies des sondages Ebo 5 et Ebo 6 sont des glauconies para-autochtones évoluées à très évoluées [1].

3.2.3 SONDAGE EBL 2

Le sondage Ebl 2 est profond de 75 m (Figure 3). Les formations bitumineuses sont comprises dans l'intervalle 75-6 m. Cet intervalle présente des alternances de niveaux bitumineux, non bitumineux ou partiellement bitumineux dont on peut différencier trois sous-intervalles.

- Sous-intervalle 75-62 m : il renferme des sédiments partiellement bitumineux (sables quartziteux et des granules quartziteux) et des sédiments extrêmement bitumineux donnant des grès bitumineux et des microconglomérats bitumineux. La couleur des sédiments est gris-jaunâtre surtout noir-brunâtre pour les grains tachetés de bitume. Les sables quartziteux partiellement bitumineux sont présents dans les sections suivantes : 75-72 m, 71-69 m et 67-65 m. Ces sections montrent respectivement des sables grossiers à très grossiers, des sables moyens à grossiers et des sables très grossiers à granulés. Les granules quartziteux partiellement bitumineux se rencontrent entre les profondeurs 69 et 67 m. Ils sont intercalés entre les sables quartziteux moyens à grossiers partiellement bitumineux et les sables quartziteux très grossiers à granulés partiellement bitumineux. Les grès à ciment bitumineux se trouvent entre les sables partiellement bitumineux dans la section 72-71 m et au-dessus des sables très grossiers à granulés partiellement bitumineux dans la section 65-62 m. Ces grès bitumineux sont souples et de couleur brun-noirâtre à noire. Dans la section 72-71 m, les grès bitumineux sont moyens à grossiers et dans la section 65-62 m, la taille des grès évoluent de moyens à grossiers vers des grès très grossiers à granulés.

- Sous-intervalle 60-58 m : il contient des grès fortement bitumineux, souples de couleur brun-noirâtre à noire à la base (60-59 m) et des sables quartzeux moyens à grossiers partiellement bitumineux (59-58 m). Ces formations sont séparées des formations bitumineuses sous-jacentes par une intercalation de kaolins secondaires blancs et friables (62-60 m).
- Sous-intervalle 58-8 m : il montre des grès et microconglomérats fortement bitumineux qui alternent et présentent des granoclasses normal et inverse. Ces formations sont souples et de couleur noir-brunâtre à noire. Les tailles granulométriques rencontrées dans les grès bitumineux sont : moyennes à grossières, grossières à très grossières et très grossières à granulées. Sur ce sous-intervalle, se sédimentent des sables quartzeux (8-6 m) sans aucune trace de bitume sur les grains et des « muddy sandstones » (6-0 m).

3.2.4 SONDAGE EBL 3

Le sondage Ebl 3 a une profondeur de 63 m (Figure 4) et ne comprend que des grès bitumineux. Ils sont de deux types en fonction de leur disposition. Le premier type est situé dans l'intervalle 47-38 m intercalé entre des sables quartzeux brun-modéré à gris-jaunâtre à la base et des sables silto-argileux gris-olive au sommet. Il est composé de grès quartzeux et micacés à ciment bitumineux dont les grains sont très fins. Le deuxième type est séparé du premier par les sables silto-argileux gris-olive et par des mudrocks micacés gris-olive (38-34 m). Il est constitué également de grès quartzeux et micacés à ciment bitumineux dont les grains sont très fins et se rencontre entre les cotes 34-31 m. Ces grès sont surmontés par de l'argilite gonflante de type montmorillonite de couleur gris-olive-clair (31-30 m). Les grès bitumineux de ce sondage sont souples, de couleur noir-brunâtre à noire et fortement bitumineux.

3.2.5 SONDAGE EBL 4

Dans le sondage Ebl 4, les grès bitumineux se rencontrent depuis la base du sondage (38 m) jusqu'à la cote 28 m (Figure 4). On distingue en fonction de la granulométrie, les grès bitumineux moyens et les grès bitumineux grossiers. Les grès bitumineux moyens sont présents dans l'intervalle 38-29 m. Les couleurs de ces grès varient du noir-brunâtre à brun-clair au brun-modéré à brun-sombre. Ces grès sont soit ductiles, moyennement bitumineux et friables (37-35 m), soit souples et fortement bitumineux dans les niveaux (38-37 m) et (35-29 m). Les grès bitumineux grossiers sont localisés dans l'intervalle 29-28 m. Ils sont de couleur noir-brunâtre à brun-clair. Ils sont souples à ductiles et fortement imprégnés de bitume.

Les grès bitumineux du sondage Ebl 4 sont surmontés par des roches fossilifères partiellement bitumineuses qui correspondent à des coquilles de bivalves silicifiées (28-24 m) qui sont suivies par des siltites argilo-sableuses. L'attaque à l'HCl s'est également avérée négative. Dans ce sondage, on rencontre également des calcaires marneux qui sont en partie imprégnés de bitume. Les calcaires marneux sont situés dans la section 20-19 m.

Les formations bitumineuses des sondages d'Éboïnda sont toutes dépourvues de carbonates à l'exception des calcaires marneux du sondage Ebl 4.

Les kaolins secondaires, les glauconies et les shales jouent le rôle de roches couvertures et empêchent la migration du bitume sous-jacent vers la surface. Néanmoins, on retrouve dans un même sondage, des grès bitumineux qui sont séparés par des couches d'argiles et parfois par des sables quartzeux. Cela montre une dispersion diffuse du bitume lors de la migration qui s'est effectuée grossièrement de l'Est vers l'Ouest. Tous les sondages situés en amont des sondages d'Éboïnda sont dépourvus de formations bitumineuses [1]. On pense que la migration du bitume s'est d'abord effectuée à travers des paléoplages et des paléo-chenaux communicants (Figure 5) avant d'atteindre le tracé de la Faille des Lagunes et ses failles satellites. Grâce à ces failles et à d'autres paléo-chenaux communicants, le bitume a pu se répandre au Nord de la Faille des Lagunes dans les zones de Samo jusqu'à Grand-Bassam voire même au-delà (Figure 6). Le bitume a pu parcourir une distance de 75 km au moins suivant le tracé de la Faille des Lagunes. Pendant la migration, le bitume a été piégé sous forme de lentille dans des paléo-chenaux fluviaux.

Le pétrole qui a produit ces bitumes s'est formé au Sud de la Faille des Lagunes dans la partie orientale du bassin et la migration serait toujours en cours.

Les grès bitumineux du Sud-Est de la Côte d'Ivoire sont des anciens sables quartzeux fluviaux ou de plage qui ont été imprégnés de bitume (Assalé, 2013).

La distribution du bitume dans les différents sondages est présentée sur les figures 7 et 8. Quelques échantillons de grès bitumineux sont représentés sur la figure 9.

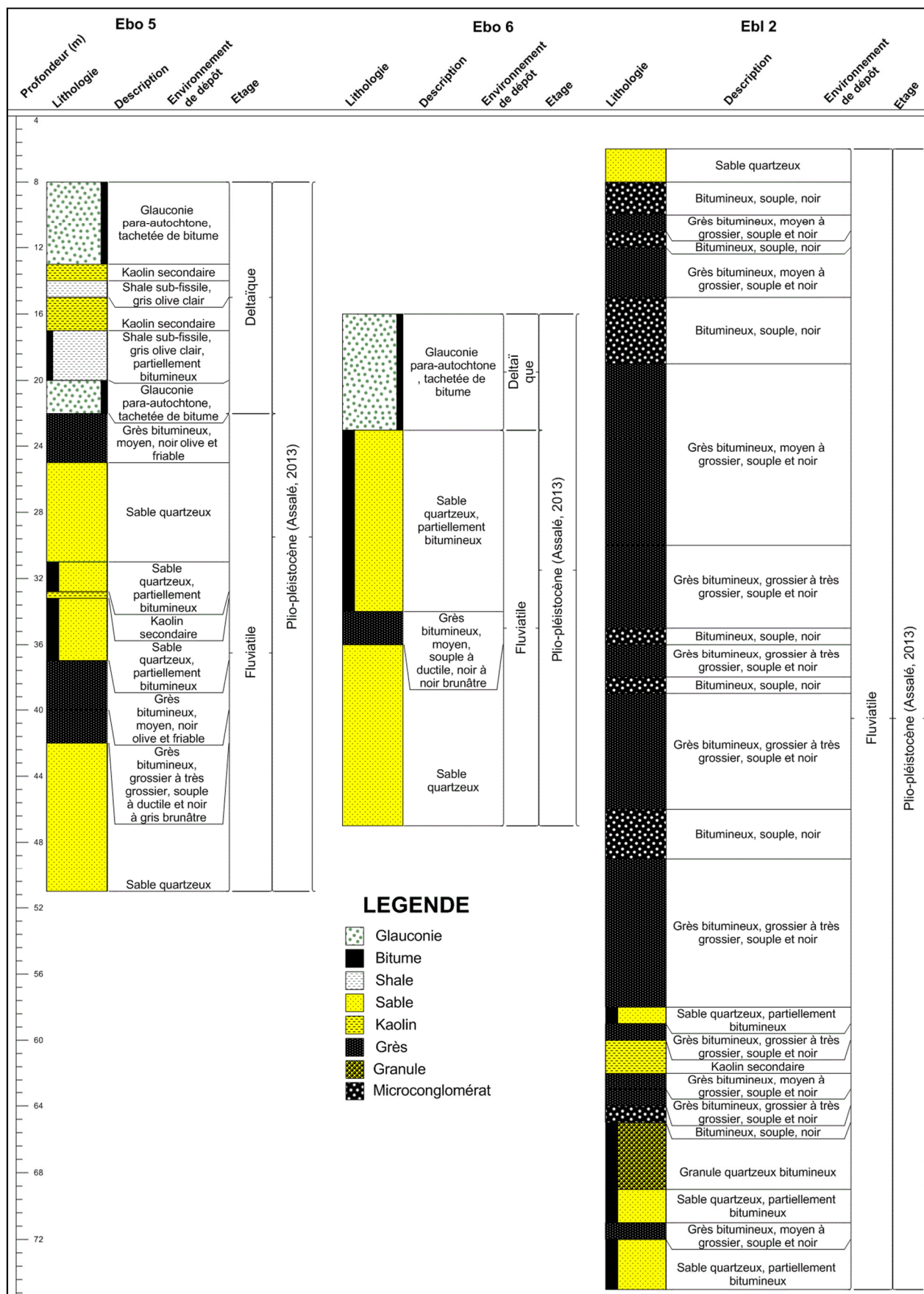


Fig. 3. Logs lithologiques des sondages Ebo 5, Ebo 6 et Ebl 2 d'Éboïnda

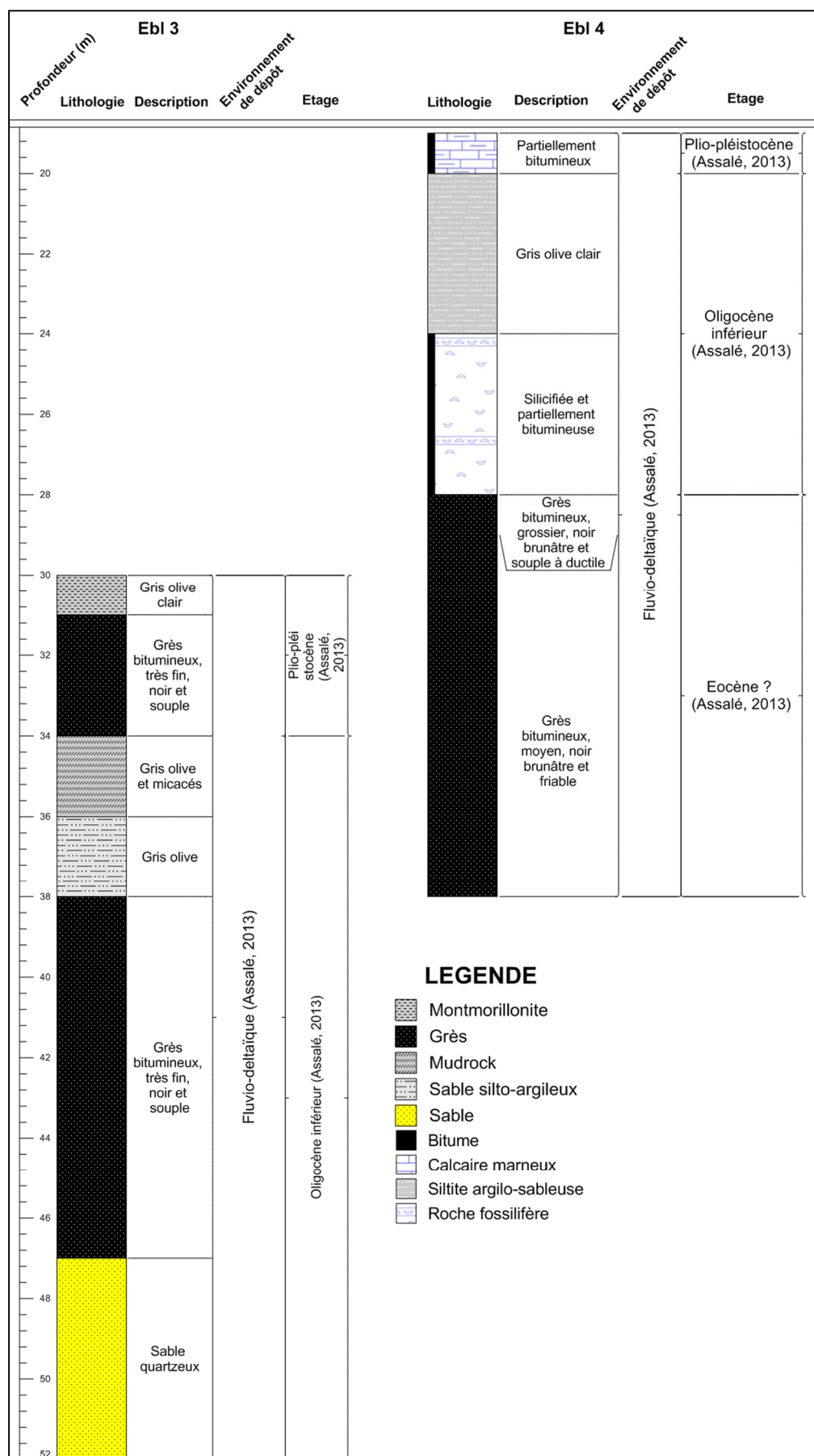


Fig. 4. Logs lithologiques des sondages Ebl 3 et Ebl 4 d'Éboinda

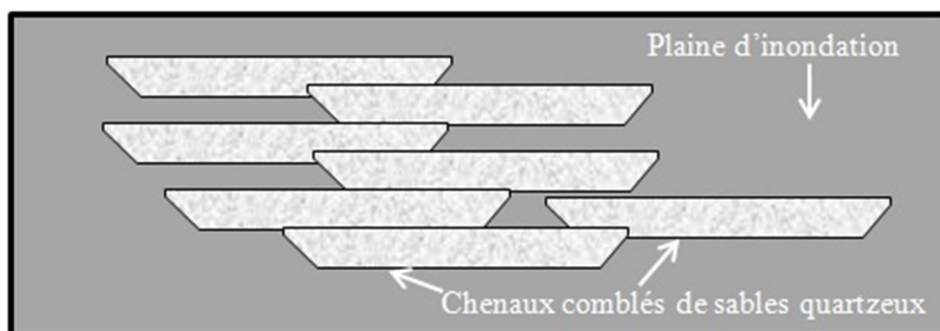


Fig. 5. Structure de chenaux communicants

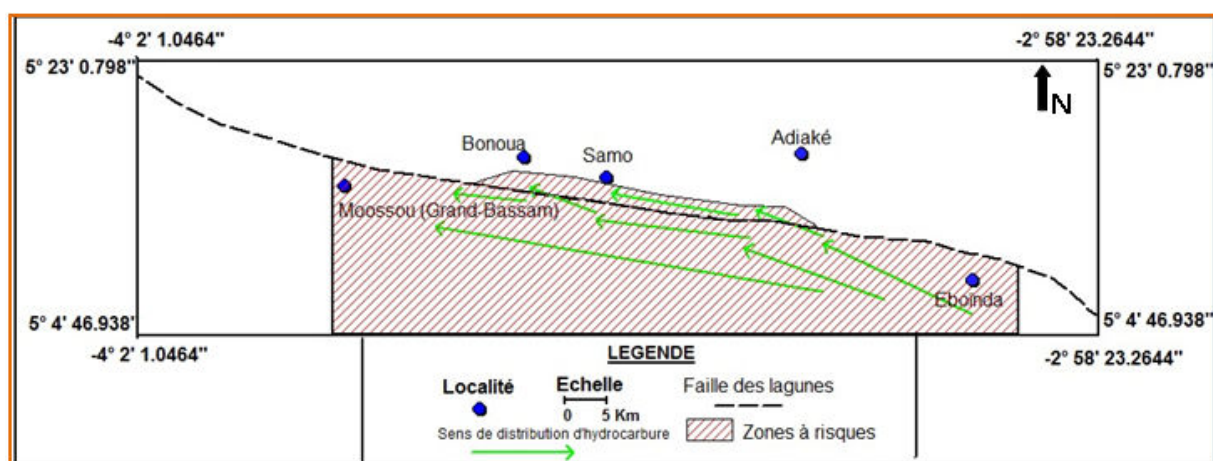


Fig. 6. Migration du bitume

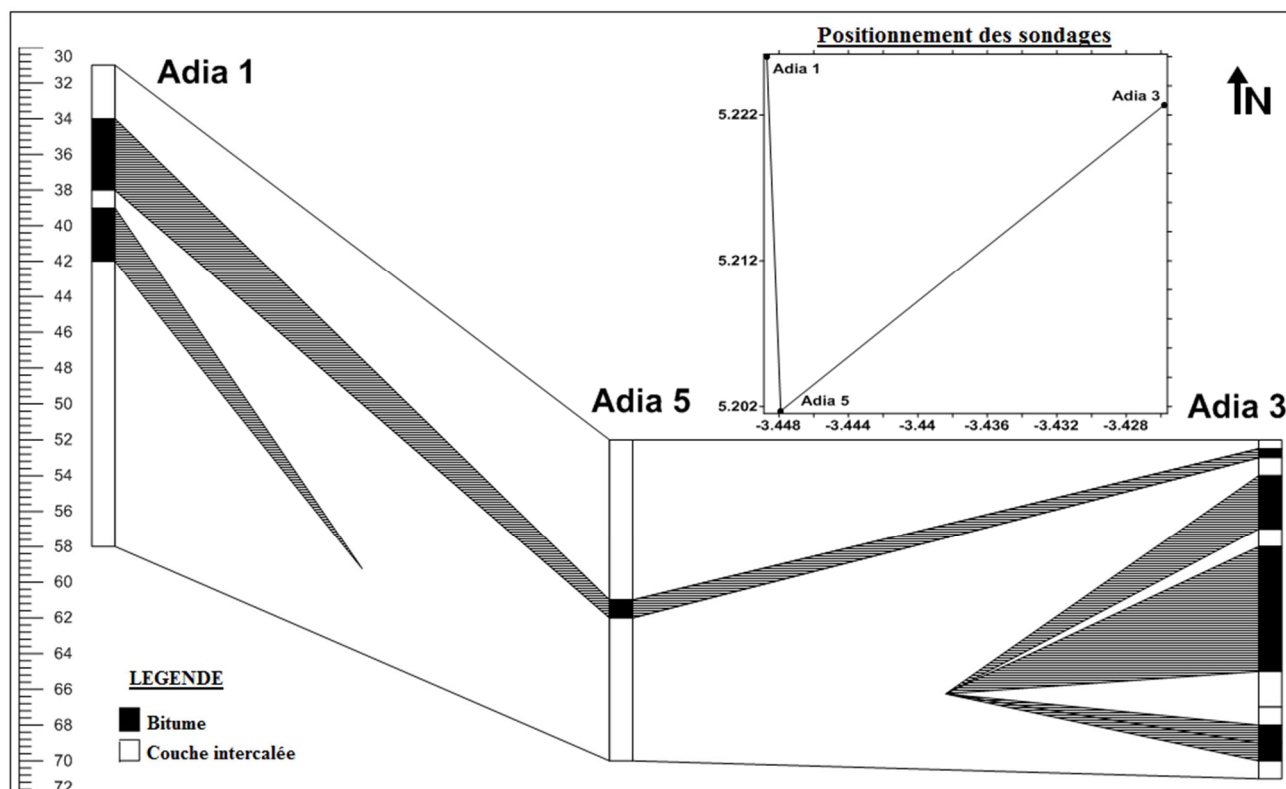


Fig. 7. Répartition du bitume dans les chenaux des sondages d'Adiaké

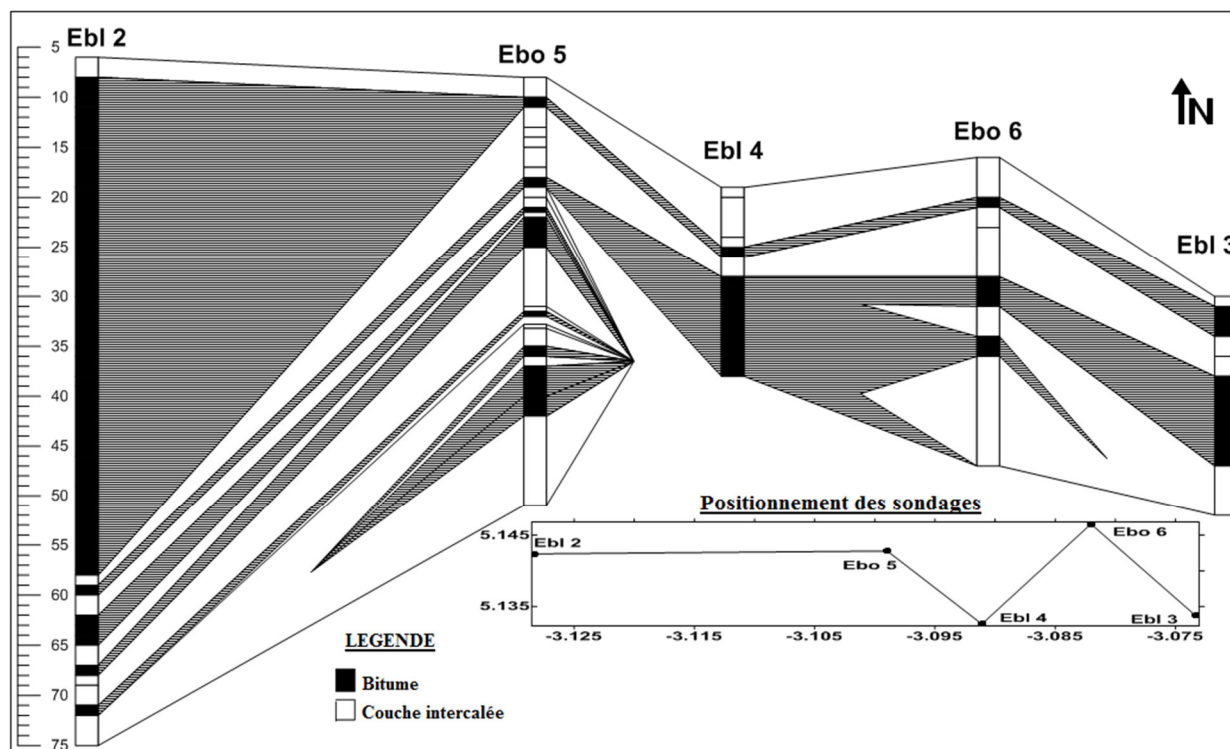


Fig. 8. Répartition du bitume dans les chenaux des sondages d'Éboïnda

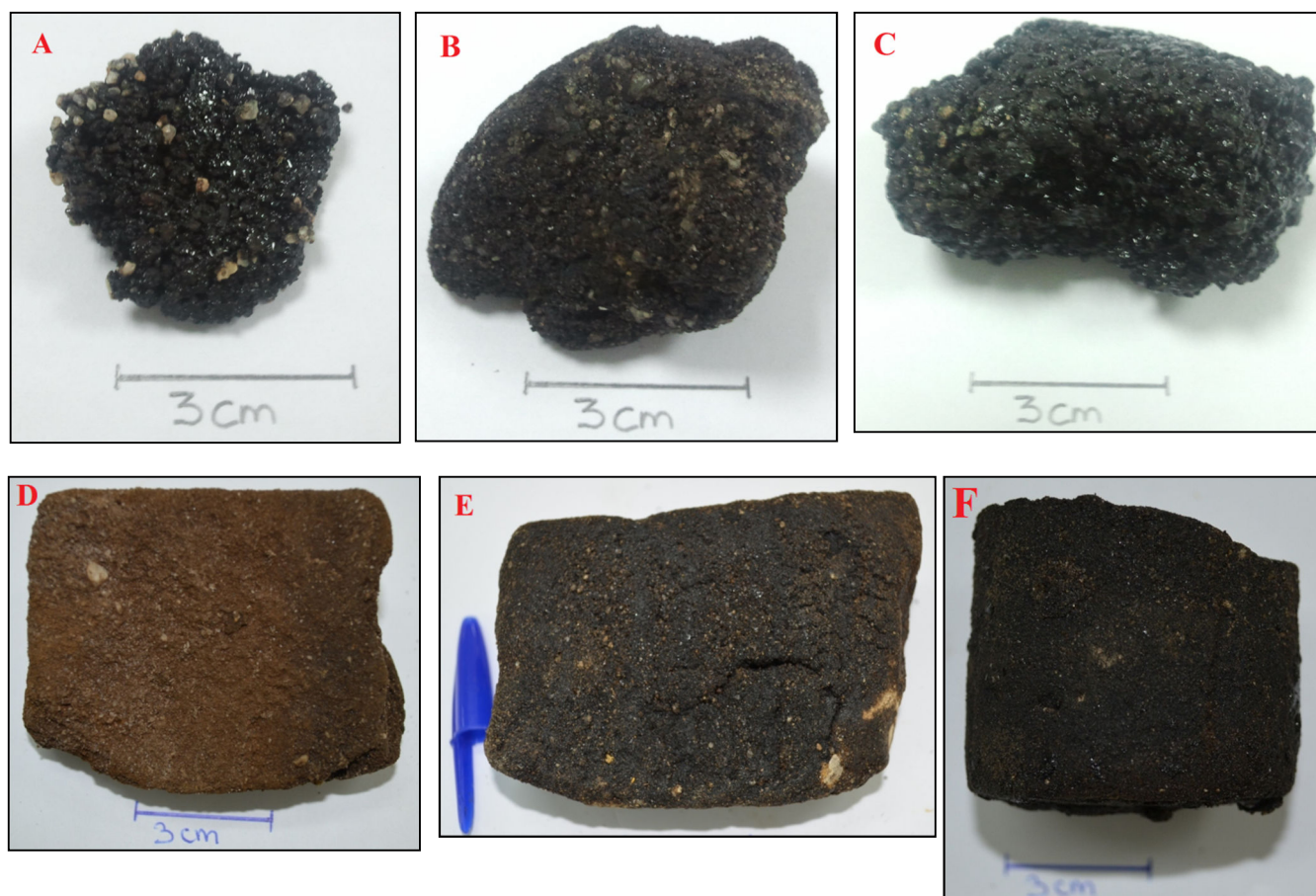


Fig. 9. Présentation de quelques grès bitumineux. A- Microconglomérat quartzeux bitumineux ; B- Grès quartzeux bitumineux très grossier à granulé ; C- Grès quartzeux bitumineux très grossier ; D- Grès quartzeux bitumineux grossier ; E- Grès quartzeux bitumineux moyen ; F- Grès quartzeux bitumineux fin à moyen.

3.3 ETUDE PÉTROGRAPHIQUE DES GRÈS BITUMINEUX AU M.E.B

La pétrographie au M.E.B des grès bitumineux montre principalement deux phases : une phase grise et une phase noire. La phase grise est représentée par les grains de quartz et la phase noire correspond au ciment bitumineux et aux nano-vides. Ces vides existent entre les grains et le ciment bitumineux et se manifestent par une ligne autour des grains de quartz (Figure 10). Les nano-vides sont des espaces laissés par une enveloppe ou pellicule d'eau autour des grains de quartz ([3] in [4]). Ces vides faciliteront la récupération du bitume.

La pétrographie au M.E.B montre des porosités de type intergranulaire et intragranulaire de taille et de forme variables. Les pores intergranulaires sont remplis par le bitume. Ces pores communiquent entre eux d'où une bonne perméabilité. On remarque une dispersion des grains de quartz dans le bitume. Les pores intragranulaires correspondent aux craquelures présentes sur les grains de quartz. Le ciment bitumineux remplit les pores intragranulaires.

Les grès sont principalement composés de grains de quartz ; ce qui traduit des grès stables. En se basant sur la classification de Pettijohn [5], les grès à ciment bitumineux du Sud-Est de la Côte d'Ivoire sont des quartz wackes à ciment bitumineux.

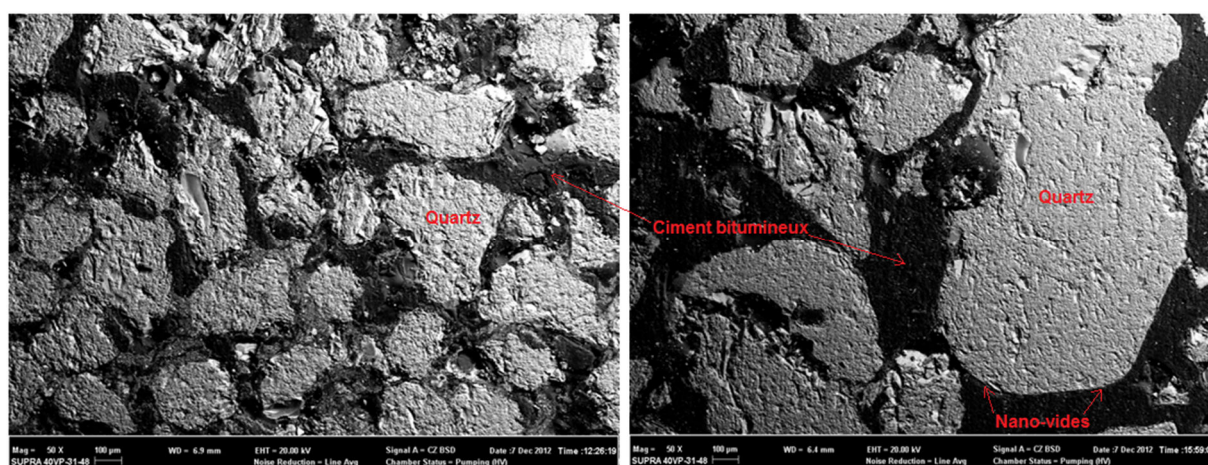


Fig. 10. Grès bitumineux au microscope électronique à balayage

3.4 IMPACT ENVIRONNEMENTAL

La présence de bitume dans ces zones cause un problème environnemental. Le bitume est lessivé verticalement et horizontalement par les eaux pluviales et souterraines. Ceci entraîne la contamination des nappes phréatiques situées au Sud des zones à bitume : cas du village des pêcheurs à Grand-Bassam dont des traces d'hydrocarbure se ressentent dans un puits d'homme à Mossou situé au Sud de la lagune de Mossou. A Samo, le bitume affleure à travers des kaolins bitumineux qui constituent le chenal emprunté par les eaux pluviales ; ce qui pourrait contaminer les sols environnants après chaque pluie (Figure 11). Des végétaux se développent également sur les formations bitumineuses de Samo, d'où une concentration probable de métaux lourds dans ces végétaux. Le bitume suinte également à la surface de la lagune Tendo à Éboïnda [6].

De part cette étude, toutes les zones connexes à la Faille des Lagunes, depuis Éboïnda jusqu'à Grand-Bassam, sont des zones à risque élevé de pollution des eaux lagunaires et des nappes phréatiques par le bitume (Figure 6).

4 DISCUSSION

Les grès à ciment bitumineux sont présents à l'Est du bassin onshore à des profondeurs n'excédant pas 80 m. Ils se trouvent en affleurement et en subsurface sous forme de lentilles dans des paléo-chenaux et des paléo-plages ; ce qui entraîne une biodégradation très avancée. Au Canada, la profondeur des sables bitumineux n'excède pas 1 000 m et se rencontrent dans les milieux marginaux et continentaux ([7] et [8]). Les formations bitumineuses ivoiriennes sont donc plus accessibles que celles du Canada. Les sables bitumineux du Canada sont principalement du Crétacé alors que ceux de la Côte d'Ivoire sont du Tertiaire principalement du Plio-pléistocène [1]. Les grès à ciment bitumineux de Côte d'Ivoire sont issus de la consolidation d'anciens sables quartziteux comme ceux d'Alberta au Canada [9].



Fig. 11. A- Image montrant le chenal principal d'écoulement creusé dans les kaolins bitumineux ; B- Kaolin piégeant du bitume à sa base ; C- Sondage d'un mètre dans le kaolin bitumineux effectué dans le chenal d'écoulement montrant des suintements.

5 CONCLUSION

Les grès bitumineux du Sud-Est de la Côte d'Ivoire sont des quartz wackes issus de la consolidation d'anciens sables quartzeux par le bitume. Ces grains comportent des nano-vides intercalés entre les grains de quartz et le bitume. La taille des grains de quartz varie de fine à très grossière voire granulée. A ces grès sont souvent associés des microconglomérats bitumineux, des sables quartzeux bitumineux, des formations argileuses bitumineuses (kaolin, glauconie et shale), des calcaires marneux bitumineux et des roches fossilifères bitumineuses.

Formés au Sud d'Éboïnda dans la partie orientale du bassin, les hydrocarbures se sont répandus par diffusion dans les formations géologiques suivant les paléo-plages, la Faille des Lagunes et ses satellites pour se retrouver sous forme de lentilles de bitume dans les paléo-chenaux fluviaux qui sont pour la plupart communicants. La migration s'est faite de manière générale d'Est en Ouest. Le tracé des différentes failles a favorisé l'expansion du bitume dans les formations géologiques situées entre Éboïnda et Grand-Bassam voire même au-delà sur une distance d'au moins 75 km. Les formations argileuses empêchent par endroit la migration du bitume vers la surface.

La zone du Sud-Est de la Côte d'Ivoire est une zone intéressante pour l'exploitation de bitume qui doit se faire dans le respect de l'environnement car les grès les plus bitumineux se rencontrent dans le sous-sol de la lagune Tendo et son exploitation pourrait entraîner un bouleversement de l'écosystème lagunaire.

REMERCIEMENTS

Que le Directeur du Centre d'Analyses et de Recherche Monsieur KOFFI Théodore veuille trouver ici l'expression de ma haute considération. Il a été une aide primordiale dans l'élaboration de ce travail.

REFERENCES

- [1] Assalé F. Y. P., Caractérisation sédimentologique, palynologique, géochimique et paléoenvironnementale des formations connexes à la faille des lagunes (Est du bassin onshore de Côte d'Ivoire). Thèse Doctorat uniq. Univ. F.H.B, Côte d'Ivoire, 361p, 2013.
- [2] Alva K., Jasmine A. P. & John MC. K., General Dictionary of Geology. Edition Environmental Geographic Student Association, Yogyakarta, Indonesia. 60p, 2009.
- [3] Wightman M. D., Oil sands, In Encyclopedia of Earth Sciences Series: Encyclopedia of sediments and sedimentary rocks. Gerard V. M. Edition Springer, Canada, pp. 499-502, 2003.
- [4] GERARD V. M., Encyclopedia of Earth Sciences Series: Encyclopedia of sediments and sedimentary rocks. Edition Springer, Canada, 821p, 2003.
- [5] Pettijohn F. J., Potter P. E. & Siever R., Sand and Sandstone. In: Sedimentology and stratigraphy. Second edition. Gary N. S. Wiley-Blackwell : A John Wiley & Sons, Ltd., Publication 111 River Street, Hoboken, USA, pp. 5-86, 1987.
- [6] Ano N. F. D., Caractérisation pétrosédimentaire des niveaux bitumineux de la lagune Tendo (Sud de la faille des lagunes). Mém. Master Univ. F.H.B, Côte d'Ivoire 66p, 2014.
- [7] Phizackerley P. H., & Scott L. O., Major tar-sand deposits of the world. In Encyclopedia of Earth Sciences Series: Encyclopedia of sediments and sedimentary rocks. GERARD V. M., Edition Springer, Canada, pp. 499-502, 1978.
- [8] Roadifer R.E., Size distributions of the world's largest known oil and tar accumulations. In Encyclopedia of Earth Sciences Series: Encyclopedia of sediments and sedimentary rocks. GERARD V. M., Edition Springer, Canada, pp. 499-502, 1987.
- [9] AEUB (Alberta Energy and Utilities Board), Crude Bitumen Reserves Atlas. Statistical Series, pp. 96-38, 1996.

