

MSAS

Malian Society of Applied Sciences  
Société Malienne des Sciences Appliquées



# **12<sup>e</sup> SYMPOSIUM MALIEN SUR LES SCIENCES APPLIQUÉES**

**Cahier des présentations orales**

**MSAS 2021**

**Published June 2022**

# **PHYSIQUE ET SCIENCES APPLIQUEES**



**MSAS 2021**

**DOUZIÈME SYMPOSIUM MALIEN SUR LES SCIENCES APPLIQUÉES  
DU 01 AU 06 AOÛT 2021**

**Analyse des débits d'eau des stations hydrologiques dans le delta intérieur du Niger durant  
la période 1980-2017 au Mali.**

Mody SOW<sup>(1)</sup>, Cheick DIARRA<sup>(1)</sup>, Alima DIAWARA SOUMARÉ<sup>(2)</sup>

(1) Laboratoire d'Optique de Spectroscopie et de Sciences Atmosphériques (L.O.S.S.A),  
Département de Physique- Faculté des Sciences et Techniques (F.S.T) - Université des Sciences  
Techniques et des Technologies de Bamako (USTT-B)

(2) Cheffe de projet, INNOVIN-LLC alliée à NOAA, USA.

# Analyse des débits d'eau dans le delta intérieur du Niger durant la période 1980-2017 au Mali

Mody SOW<sup>1</sup>, Cheick DIARRA<sup>1</sup>, Alima DIAWARA SOUMARÉ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculté des Sciences et Techniques-Université des Sciences Techniques et des Technologies de Bamako

<sup>2</sup>INNOVIN-LLC, USA

**Résumé** : Cette étude est basée sur l'analyse des débits d'eaux de six stations hydrologiques dans le delta intérieur du Niger durant la période 1980-2017, qui sont Ké-Macina, Douna entrée du delta intérieur du Niger, Kara, Mopti, Akka et Diré la sortie du delta intérieur du Niger. Cette zone est située en zone sahélienne semi-aride. C'est une vaste zone inondable d'environ 40000 km<sup>2</sup> qui s'étire selon un axe sud-ouest et nord-est (de Ké-Macina à Tombouctou) sur plus de 350 km entre les parallèles 17° et 13° Nord et les méridiens 2°30 et 6°30 Ouest. La plus grande valeur du débit de crue annuel est observée au niveau de la station de Ké-Macina avec un débit de 1285,94m<sup>3</sup>/s et la plus petite valeur du débit de décrue est observée au niveau de la station de Douna avec 18,94m<sup>3</sup>/s. Sur l'ensemble des six stations d'études, les observations suivantes sont faites : la période 1982-1993 constitue la période sèche et la période 1994-2016 est la période humide. Du mois de janvier au mois de mai, on observe une décroissance du débit mensuel, au mois de mars avec une valeur de 1,21m<sup>3</sup>/s au niveau de la station de Kara. À partir du mois de juin, on a une croissance du débit mensuel pour atteindre le débit de crue pendant les mois de septembre pour les stations de Ké-Macina, Douna et Kara ; octobre pour la station de Mopti et novembre pour les stations d'Akka et Diré. Le débit de crue mensuel le plus élevé est observé au niveau de la station de Ké-Macina avec une valeur de 3090,82m<sup>3</sup>/s.

**Mots clés.** Débits d'eau, Delta intérieur, Niger.

# Plan de l'exposé

- **Résumé**
- **Introduction**
- **Présentation de la Zone d'étude**
- **Données et Méthodes**
- **Résultats et discussion**
- **Conclusion.**

# 1. Résumé

Cette étude est basée sur l'analyse des débits d'eaux de six stations hydrologiques dans le delta intérieur du Niger durant la période 1980-2017, qui sont Ké-Macina (Niger), Douna (Bani) entrée du delta intérieur du Niger, Kara, Mopti, Akka et Diré la sortie du delta intérieur du Niger.

C'est une vaste zone inondable d'environ 40000 km<sup>2</sup> qui s'étire selon un axe sud-ouest et nord-est sur plus de 350 km entre les parallèles 17° et 13° Nord et les méridiens 2°30 et 6°30 Ouest.

**Mots clés.** Débits d'eau, Delta intérieur, Niger.

## 2. Introduction

L'eau douce représente toutefois moins de 1% des ressources de la planète, le reste étant réparti entre l'eau salée des océans (97,5%), l'eau des glaciers et calottes polaires (1,8%) et la vapeur d'eau dans l'atmosphère (0,001%). Le delta intérieur du fleuve Niger est une des plus grandes zones d'inondation du monde.

Le bilan hydrologique dans le delta intérieur est établi par différence entre les débits entrant aux stations hydrologiques de Ké-Macina (Niger) et Douna (Bani principale affluent du Niger) et les débits sortant à la station de Diré.

Le régime hydrologique est largement dépendant des ressources en eau provenant des régions beaucoup plus arrosées de l'amont et donc des régimes hydroclimatiques des bassins supérieurs du Niger (3/4) et du Bani(1/4).

La dégradation de la situation climatologique qui remonte au début des années 1970 s'est traduite par des déficits pluviométriques pouvant atteindre 20 à 25% et des déficits de débit moyen annuel de 40 et 60% en période sèche.

# 3. Présentation de la Zone d'étude.

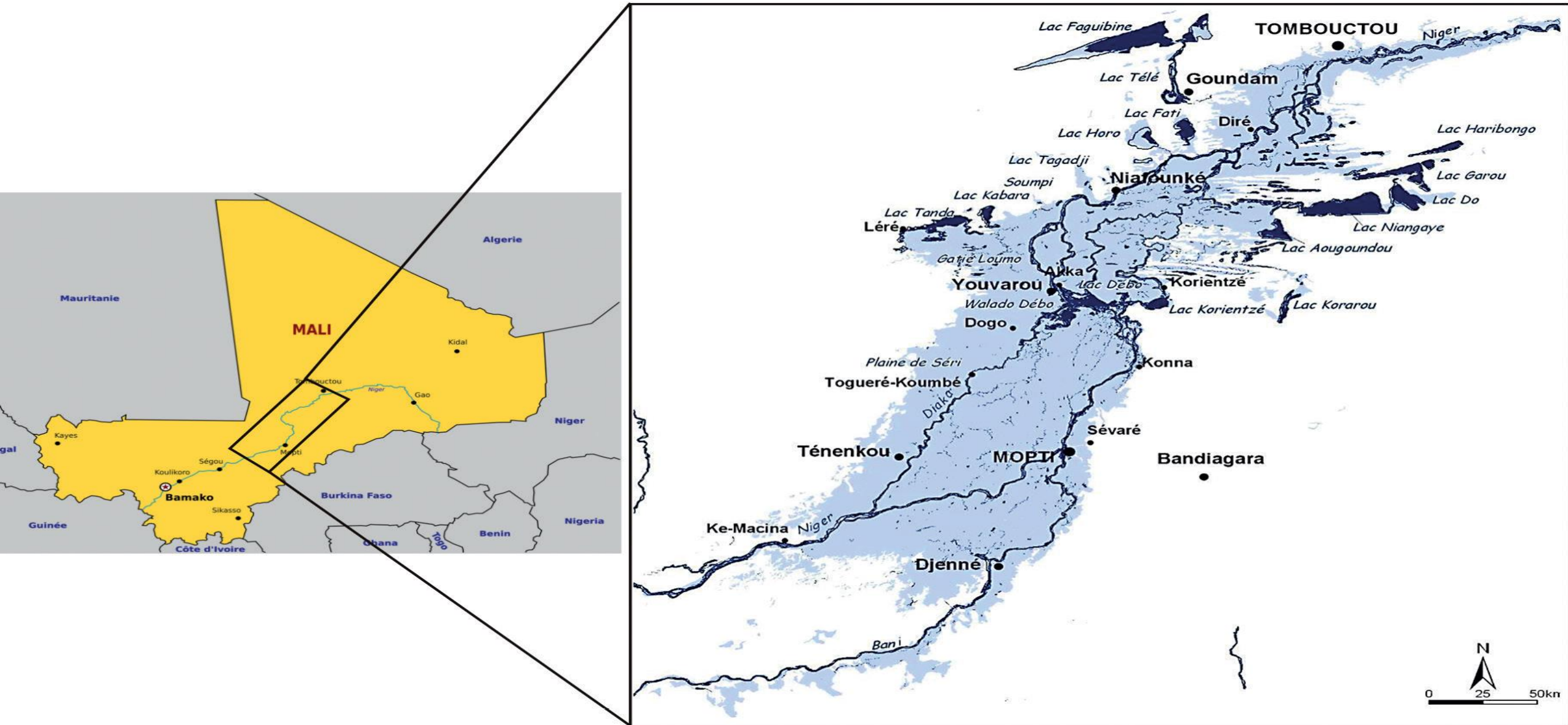


Figure 1 : Situation géographique du delta intérieur du Niger (Revue d'IRSTEA, Article hors-série, numéro 15, 2014).

# 4. Données et Méthodes.

**Tableau 1. Stations d'étude**

Stations	Noms des stations	Coordonnées géographiques		Chroniques
		Longitude	Latitude	
Hydrométriques	Ké-Macina	5°21'28,48''W	13°57'50,76''N	1980-2017
	Douna	Non disponible	Non disponible	1980-2017
	Diré	-10°58'0,01''W	12°16'59,99''N	1980-2017
	Mopti	14°29'3,48''W	4°10'58,66''N	1980-2017
	Kara	4°55'00''W	14°28'00''N	1980-2017
	Akka	41° 14' 08'' W	15° 24' 08'' N	1980-2017

Source: Direction Nationale de l'Hydrolique, 2020

## 4.1. Méthodologie.

La méthode utilisée est l'analyse statistique.

## 4.2 Outils utilisés:

### 4.2.1. Indice normalisé hydrologiques :

$$I_p = \frac{X_i - X_p}{\sigma}$$

## 4.2.2. Écart-type :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum((x_i - \bar{x}))^2 n_i}{\sum n_i}}$$

## 4.2.3. Variance :

Le coefficient de variation (V%) est donné par :  $V\% = \frac{\sigma}{\bar{X}} * 100$

# 5. Résultats et discussion :

**Tableau 2: Coefficient de variation des stations d'étude.**

<b>Stations d'étude</b>	<b>Station de Ké-Macina</b>	<b>Station de Douna</b>	<b>Station de Diré</b>
<b>Coefficient de variation</b>	23,06%	70,23%	19,74%
<b>Stations d'étude</b>	<b>Station de Kara</b>	<b>Station d'Akka</b>	<b>Station de Mopti</b>
<b>Coefficient de variation</b>	41,63%	32,36%	24,71%

# 5.1. Variation interannuelle du débit d'eau:

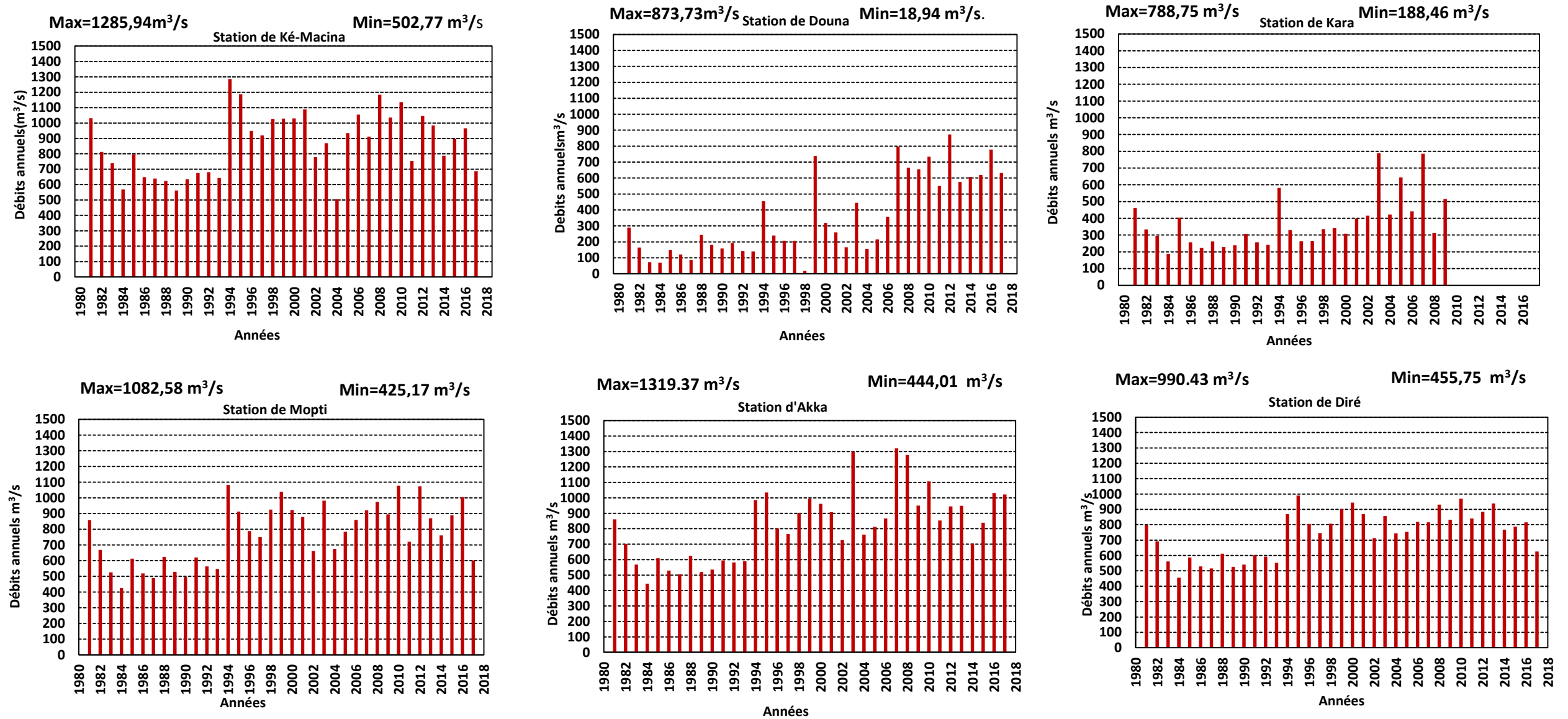


Figure2: Variation interannuelle du débit d'eau:

## 5.3. Variations mensuelles du débit d'eau:

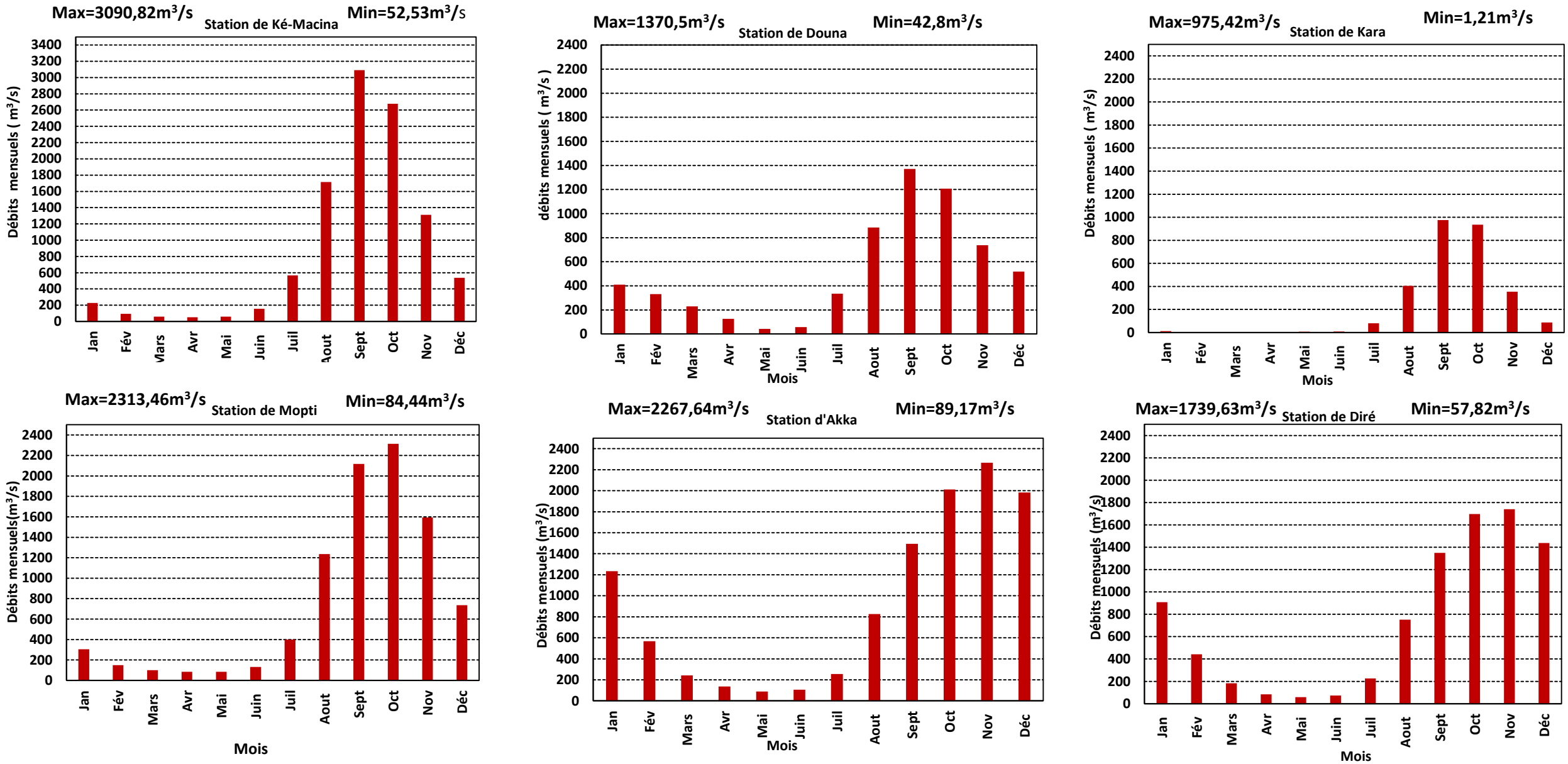


Figure 3: Variations mensuelles du débit d'eau:

## 5.2. Variation de l'indice hydrologique:

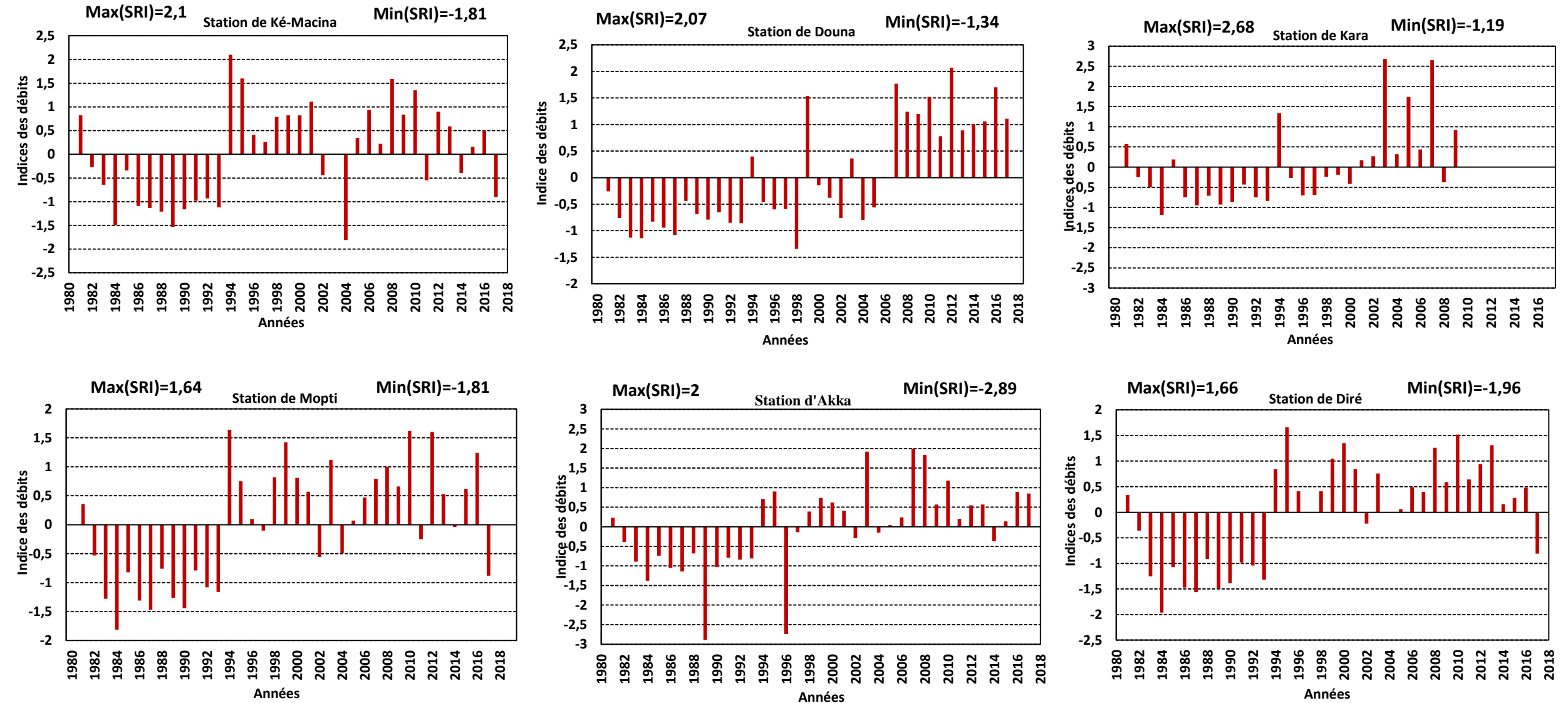


Figure 4: Variation de l'indice hydrologique de 1980-2017

## 7. Conclusion.

- Station de Ké-Macina (Niger): Le débit annuel oscille entre  $1285,94 \text{ m}^3/\text{s}$  et  $504,77 \text{ m}^3/\text{s}$ . L'indice hydrologique nous indique que : 1981-1993, 204-2010 sont des périodes sèches et au delà une alternance entre périodes sèches et humides.
- Station de Douna (Bani) : Le débit annuel varie entre  $873,73 \text{ m}^3/\text{s}$  et  $18,94 \text{ m}^3/\text{s}$  . L'indice hydrologique nous indique : 1981 à 2007 est une période déficitaire excepté les trois années 1994, 1998 et 2003 qui sont des années humides. De 2007 à 2017, on a une période humide.

➤ Station de Kara (sur le Diaka) : Le débit annuel varie entre 788,75 m<sup>3</sup>/s et 188,46 m<sup>3</sup>/s. L'indice hydrologique nous indique que : La période 1981-2000 est une période sèche et la période 2001-2009 est une période humide.

➤ Station de Mopti: On observe que le débit annuel varie entre 1082,58m<sup>3</sup>/s et 425,17 m<sup>3</sup>/s. L'indice hydrologique nous indique que : La période 1981-1993 est une période déficitaire et la période 1994- 2016 est une période humide.

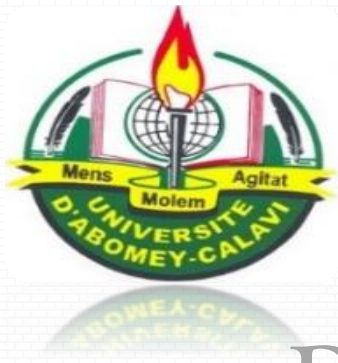
- Station d'Akka: Le débit annuel varie entre 1319,37 m<sup>3</sup>/s et 444,01 m<sup>3</sup>/s. L'indice hydrologique nous indique que: La période 1981-1997 est une période déficitaire et la période 1994 -2017 est une période humide excepté les années 1996, 2002 et 2014 qui sont des années sèches.
- Station de Diré: Le débit annuel varie entre 990,43 m<sup>3</sup>/s et 455,75 m<sup>3</sup>/s .L'indice hydrologique nous indique que : La période 1981-1993, excepté l'année 1981 qui est une année humide, on observe une période déficitaire tandis que la période 1994 à 2016 est une période humide excepté l'année 2002.

- Le débit d'étiage annuel le plus bas est observé au niveau de la station de Douna ( Bani) avec  $18,94\text{m}^3/\text{s}$  avec un indice hydrologique de  $-1,84$  et le débit de crue annuel le plus élevé au niveau de la station de Ké-Macina (Niger) avec comme valeur  $1285,94\text{m}^3 /\text{s}$  et un indice hydrologique de  $2,1$ .
- Pour le maximal des débits mensuel : le mois de septembre pour Ké-Macina ( $3090,82\text{m}^3/\text{s}$ ) , Douna ( $1370,5\text{m}^3/\text{s}$ ) et Kara ( $975,42\text{m}^3/\text{s}$ ), le mois d'octobre pour Mopti ( $2313,46\text{m}^3/\text{s}$ ), le mois de novembre pour Akka ( $2267,64\text{m}^3/\text{s}$ ) et Diré ( $1739,63\text{m}^3/\text{s}$ ). Ce décalage mensuel est dû à la distance parcourue par l'écoulement d'eau entre les localités.
- Sur l'ensemble des stations hydrologiques, on observe à partir du mois de juin une croissance du débit mensuel.

## Bibliographie.

1. Organisation Mondiale de la Santé: Rapport, Le droit à l'eau. Genève , Avril 2011. Numéro d'information N°35, Vol.69 pages.
2. LIENOU Gaston: Impacts de la variabilité climatique sur les ressources en eau et les transports de matières suspension de quelques bassins versants représentatifs au Cameroun. Yaoundé, thèse doctorale, 03 février 2007. Vol. 486 pages.
3. MAGAND Claire: Influence de la représentation des processus nivaux sur l'hydrologie de la durance et sa réponse au changement climatique, thèse doctorale. 6 juin 2014, Vol. 349 pages.
4. Coalition eau et le mouvement des ONG française engagées pour l'accès à l'eau et à l'assainissement pous tous : Rapport, eau et changement climatique, Montreuil, juillet 2014. Vol. 60 pages.
5. Eddy WYMENGA, Bakary KONE, Jan VAN DER KAMP & Leo ZWARTS: Rapport, Écologie et gestion durable des ressources naturelles du Delta intérieur du Niger, . [éd.] Ministère de L'Environnement (Mali) Wetlands International. Bamako, Février 2001, Vol. 133 pages.
6. Mariko A., Mahé G. et Servat E: Article, Les surfaces inondées dans le delta intérieur du Niger au Mali PAR NOAA/AVHRR, Bamako, Bulletin SFPT n° 172 ( 2003-2004), Vol. 8 pages.
7. Cécile Picouet: Géodynamique d'un hydrosystème tropical peu anthropysé, le bassin supérieur du Niger et son Delta Intérieur, thèse doctorale, Montpellier, 30 juin 1999. Vol. 470 pages.
8. G. MAHE, D. ORANGE, A. MARIKO & J. P. BRICQUET: Estimation of the flooded area of the Inner Delta of the River Niger in Mali by hydrological balance and satellite data, Melbourne, Australia, July 2011. Vol. 6 pages.
9. Institut de Recherche pour le Développement (IRD) et Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture (UNESCO): Le fleuve Niger, de la forêt tropicale guinéenne au désert saharien, les grands traits des régimes hydrologiques, Bamako, Afrik.m, Sokona Tounkara, mars 2012. Vol. 27 pages.
10. Aïda Zare: Variabilité climatique et gestion des ressources naturelles dans une zone humide tropicale: une approche intégrée appliquée au cas du delta intérieur du fleuve Niger (Mali), thèse doctorale. Montpellier, 8 juin 2016, Vol. 215 pages.

**Merci de votre attention**  
**Qu'ALLAH BENISSE LE MALI**



# Malian Society of Applied Sciences

MSAS 2021



## DOUZIEME SYMPOSIUM MALIEN SUR LES SCIENCES APPLIQUEES

### THEME

*Projet de recherche sur l'utilisation des batteries  
Lithium  $\text{LiFePO}_4$  pour le stockage stationnaire  
d'électricité: Etude du cas de l'Afrique tropicale*

Présenté par :

**GODONOU M. Oscar & PRODJINONTO Vincent**

Ecole Doctorale des Sciences de l'Ingénieur,  
Université d'Abomey-Calavi, Bénin

[oscar.godonou@yahoo.com](mailto:oscar.godonou@yahoo.com)

+229 66 77 65 27

Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi,  
Université d'Abomey-Calavi, Bénin

[prodjinontov@yahoo.fr](mailto:prodjinontov@yahoo.fr)

+229 67 90 42 06



# Utilisation des batteries Lithium LiFePO4 pour le stockage stationnaire d'électricité: Etude du cas de l'Afrique tropicale (Bénin)

Vincent PRODJINONTO<sup>1</sup>, Oscar GODONOU<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Appliquée, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Université d'Abomey-Calavi

<sup>2</sup>Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Appliquée, Ecole Doctorale des Sciences de l'Ingénieur, Université d'Abomey-Calavi

\*Courriel de l'auteur de correspondance : [oscar.godonou@yahoo.com](mailto:oscar.godonou@yahoo.com)

**RÉSUMÉ:** Les batteries Lithium Fer Phosphate (LiFePO<sub>4</sub>) sont issues d'une technologie plus ou moins récente et sont majoritairement fabriquées en Chine, en Corée du Sud et au Japon. Depuis plus d'une dizaine d'années, ces batteries LFP viennent remplacer les batteries au plomb qui ont connu un échec remarquable pour le stockage stationnaire d'électricité. Plusieurs études comparatives entre les différentes technologies de batteries utilisées pour le stockage stationnaire d'électricité, ont conduit à hisser la technologie des batteries LFP au meilleur rang. En effet, cette technologie est entièrement stable, sans risque d'incendie ou d'explosion et peu réaliser un très grand nombre de cycles. En Afrique, les batteries LFP alors sont de plus en plus utilisées et ceci sans une étude avancée permettant de valider puis d'améliorer le conditionnement et la durabilité de ces batteries LFP en considérant les réalités climatiques en Afrique. Le présent projet vient chercher des résultats statistiques concrets liés à l'utilisation des batteries LFP en région tropicale de même que les améliorations possibles pour améliorer leur durabilité.

**Mots-clés :** stockage stationnaire, batterie LiFePO<sub>4</sub>, Afrique tropicale

# PLAN

1. INTRODUCTION
2. ETAT DE L'ART SUR LES BATTERIES  $\text{LiFePO}_4$
3. MÉTHODOLOGIE DE MISE EN PLACE D'UNE BASE DE DONNÉES STATISTIQUES
4. CONCLUSION

## Contexte de l'étude (1/2)

Dans les dernières décennies l'importance du stockage d'énergie est devenue primordiale :

- \* la production et distribution de l'énergie électrique (application stationnaire),
- \* les outils et dispositifs portatifs (application embarquée),
- \* les véhicules électriques et hybrides électriques (VEH) (application de traction)

([Eduardo](#) , 2017)

Au cours de cette dernière décennie, les sources d'énergies renouvelables en Afrique ont été largement utilisées pour l'électrification

([Agence Internationale des Energies Renouvelables](#); 2018)

La consommation d'électricité en Afrique de l'Ouest pourrait quadrupler d'ici à 2030 atteignant alors 219 TWh par an, contre seulement 52,5 TWh en 2015

([Agence Internationale des Energies Renouvelables](#); 2018)

## Contexte de l'étude (2/2)

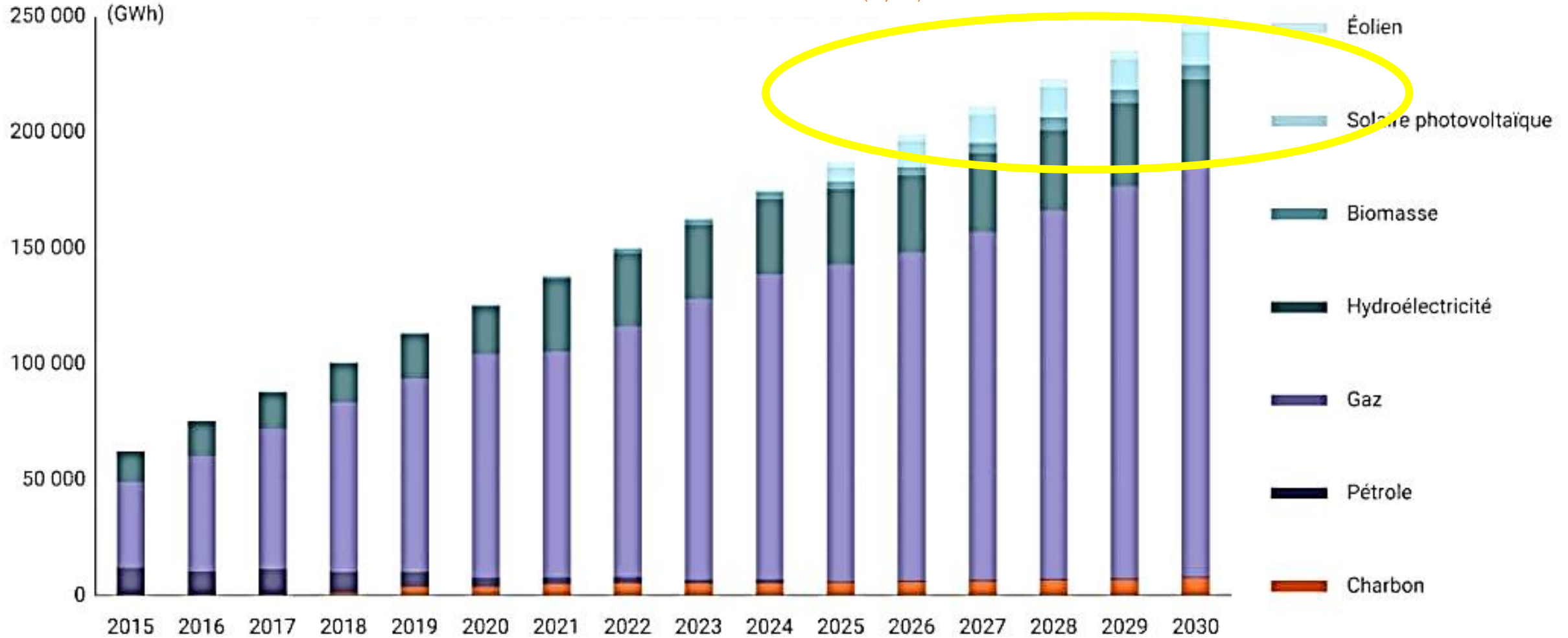
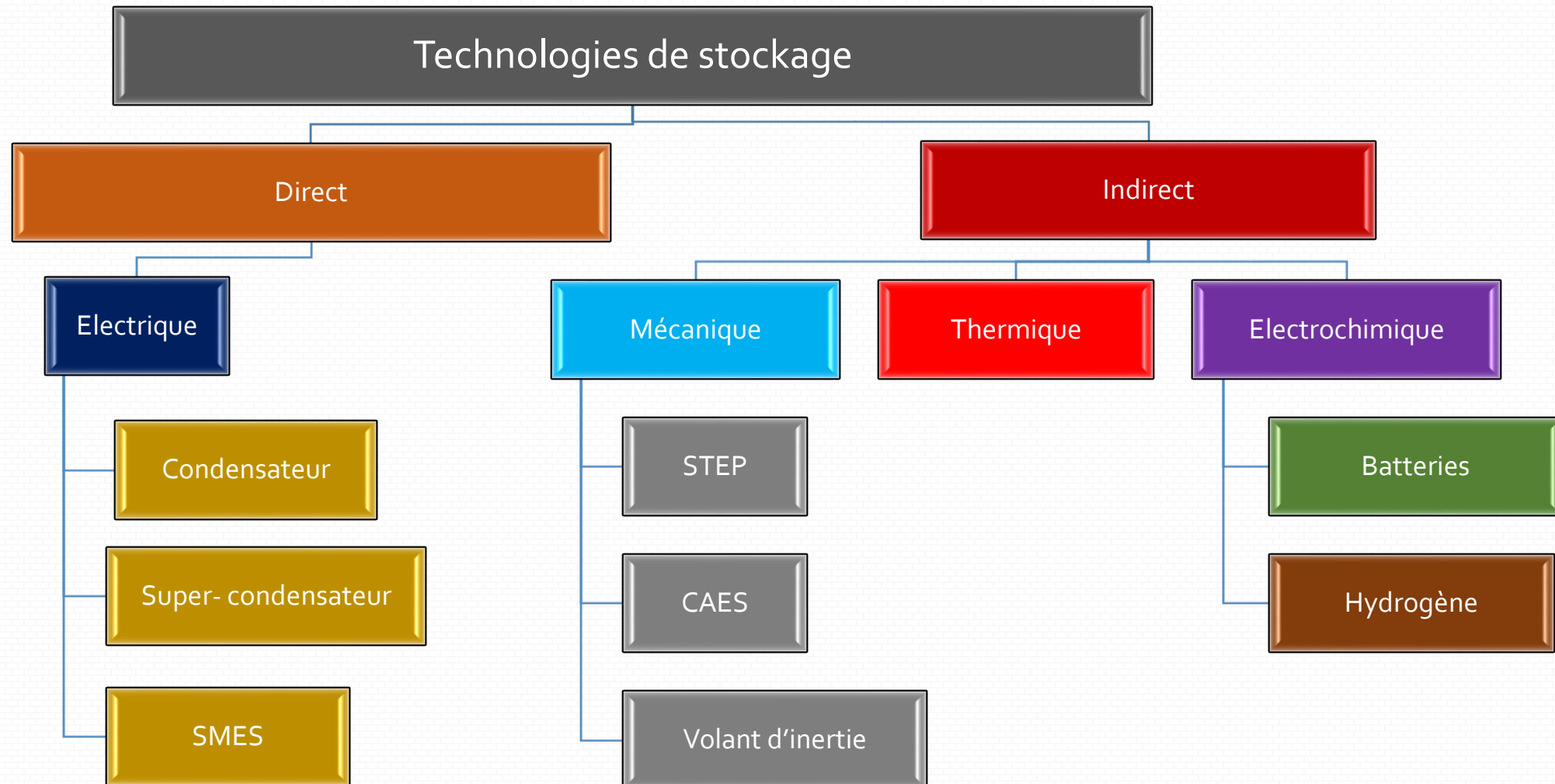


Figure 1: Evolution la production électrique de l'Afrique de l'Ouest (IRENA, 2018)

## Différentes technologies de stockage d'énergie électrique (1/1)



## Comparaison entre les différentes technologies de batteries (1/1)

Tableau 1: Récapitulatif des caractéristiques des différents types de batteries (Tarascon et Armand, 2001)

Batterie	Alcaline rechargeable	Plomb	Nickel cadmium	Nickel-métal hydrure	Lithium polymère	Lithium-ion
Energie spécifique (Wh/kg)	80	30-50	45-80	60-120	100-130	150-250
Cycles de vie	50	200-300	1500	300-600	300-600	500-2000
Voltage par cellules (V)	1.5	2	1.3	1.3	3.6	3.6
Température de fonctionnement (°C)	0 à 65	- 20 à 60	- 40 à 60	- 20 à 60	0 à 60	-20 à 60

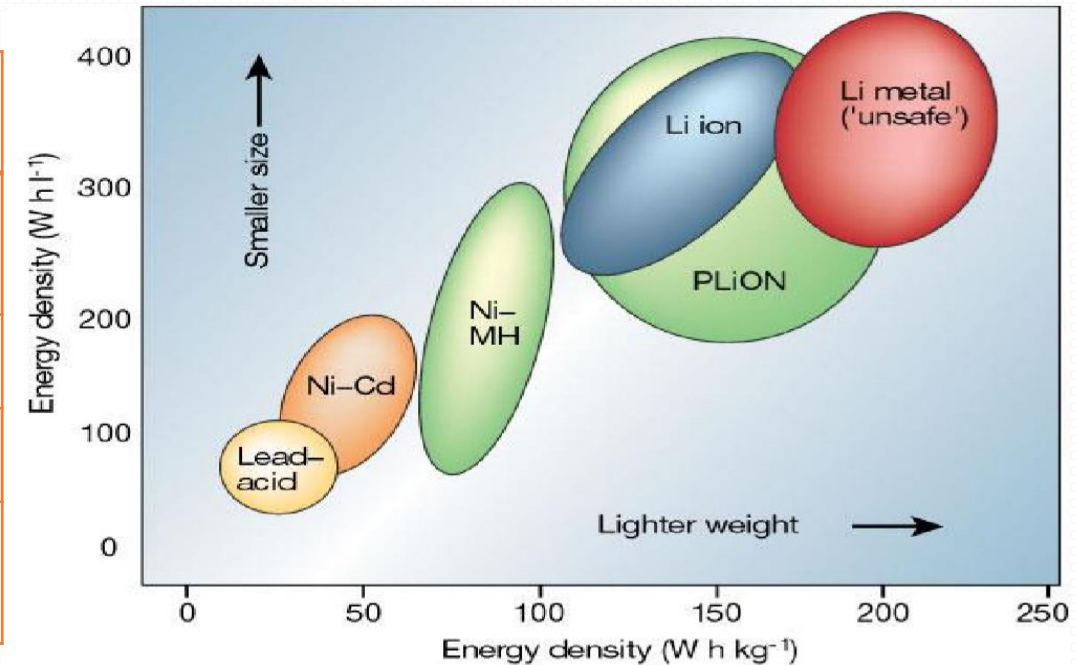


Figure 2: Diagramme des densités d'énergie massiques et volumiques (Tarascon et Armand, 2001)

- Métal Lithium (Li) : Le plus faible poids atomique (6,94), la plus faible densité (0,534 g/cm<sup>3</sup>, 20°C), le plus petit équivalent électrochimique (0,26 g/Ah), le plus faible potentiel d'électrode (Li/Li<sup>+</sup>) (-3,045 V).
- Taux d'autodécharge plus faible que celui d'autres piles rechargeables telles que les formes nickel-cadmium (Ni-Cad) et nickel-metal hydride (NiMH).
- Tension produite par chaque pile au lithium-ion est d'environ 3,6 V contre 2V pour les batteries au plomb ouvert
- Pas besoin d'entretien pour assurer leur performance.

## Objectif de l'étude (1/1)

Rendre plus fiable le stockage stationnaire d'électricité  
à partir des batterie LFP en Afrique tropicale

Faire l'état de l'art sur l'évolution des batteries  $\text{LiFePO}_4$  utilisées  
en Afrique tropicale pour le stockage stationnaire

Modéliser l'état de santé, le vieillissement et le potentiel de régénération  
des batteries  $\text{LiFePO}_4$  dans les conditions propres à l'Afrique tropicale

Proposer une batterie  $\text{LiFePO}_4$  améliorée et adaptée aux conditions ambiantes des  
climats tropicaux



Tableau 2: Matériaux d'insertion à la cathode

Groupe ou structure cristalline	Matériau d'insertion de l'électrode positive
en couche 2D	$LiTiS_2$ (LTS)
	$LiCoO_2$ (LCO)
	$LiNiO_2$ (LNO)
	$LiMnO_2$ (LMO)
	$LiNi_{0.33}Mn_{0.33}Co_{0.33}O_2$ (NMC)
	$LiNi_{0.8}Co_{0.15}Al_{0.05}O_2$ (NCA)
	$Li_2MnO_3$
en spinelle 3D : oxydes sous forme $LiM_2O_4$ (M : métal)	$LiMn_2O_4$ (LMO)
	$LiCo_2O_4$
olivines de structure 3D sous forme $LiMPO_4$ (M : métal)	$LiFePO_4$ (LFP)
	$LiMnPO_4$ (LMP)
	$LiCoPO_4$ (LCP)
	$LiNiPO_4$ (LCP)
structure favorite	$LiFeSO_4F$
	$LiVPO_4F$

Fonctionnement des batteries Lithium-ion (1/1)

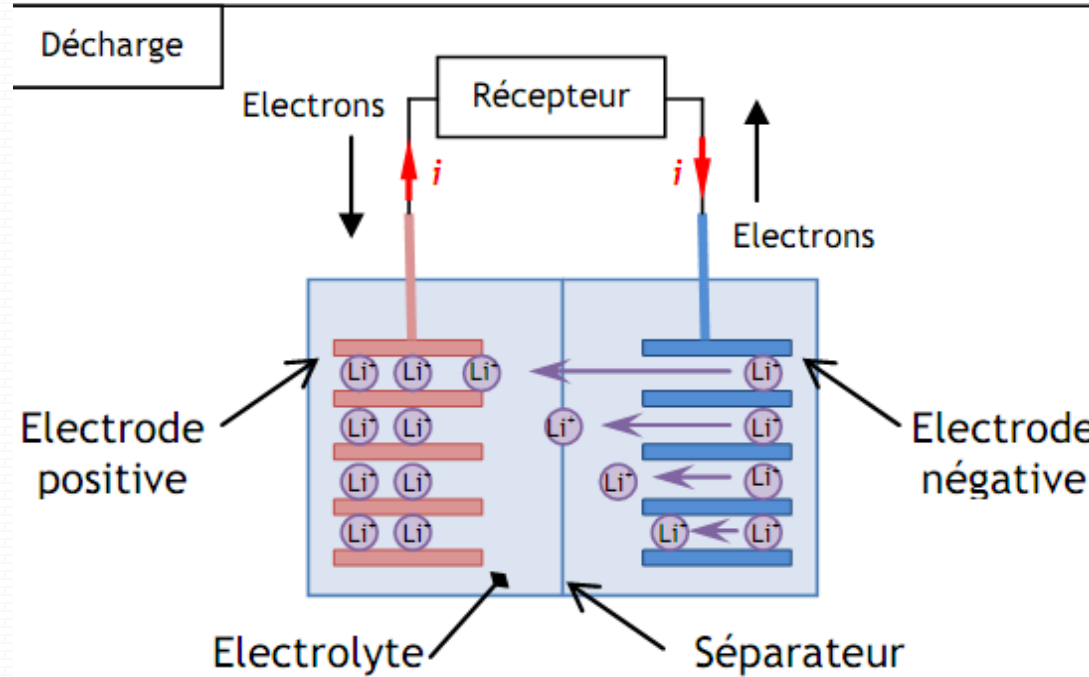
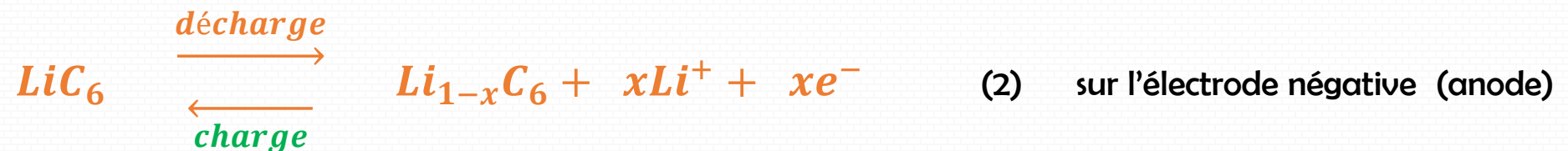
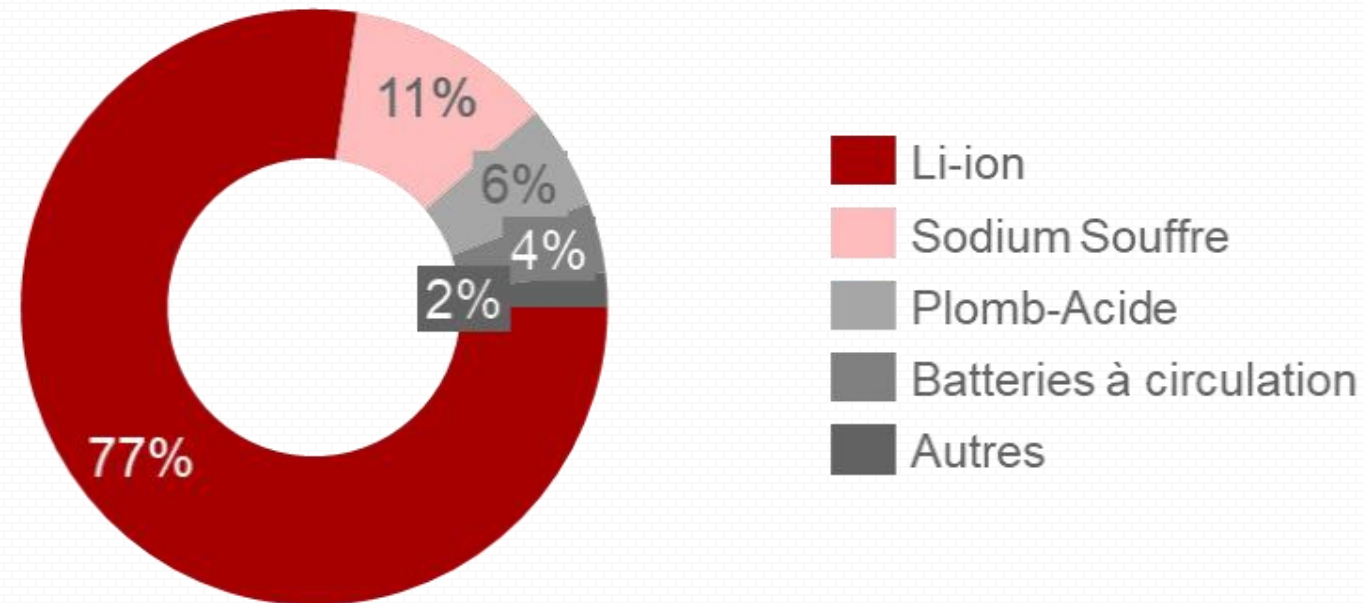


Tableau 3: Matériaux d'insertion à l'anode

Li métallique
$LiC_6$ (graphite)
$Li_{0.05}C_6$ (coke)
Li-Al
$Li_4Ti_5O_{12}$ (LTO)
$LiWO_2$
$LiMoO_2$
$LiTiS_2$



## Quelques données statistiques (1/1)



**Total : 1,8 GW**

Figure 3. Répartition de la capacité de batteries stationnaires installées par type de technologie dans le monde en 2017

**PAS DE DONNEES DISPONIBLES A L' ECHELLE NATIONALE A CE JOUR**

Tableau 4: Application des batteries LFP

Application des batteries LFP		Description de l'application / la valeur du stockage	Utilisateurs de cette application des batteries LFP	Exemples de systèmes	Etat actuel de cette application au Benin
Domaine de l'application	Sous-domaine de l'application				
Optimisation de la production et de la consommation d'énergie électrique	Optimisation du profil de production des énergies renouvelables	Lisser la production des énergies renouvelables intermittentes (solaires, éolien) et améliorer l'intégration de celles-ci au système électrique	<ul style="list-style-type: none"> <li>développeurs énergies renouvelables</li> <li>autoconsommateurs résidentiels, tertiaires et industriels</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>centrales solaires</li> <li>systèmes solaires domestiques</li> <li>kits solaires</li> </ul>	déjà utilisé et en pleine expansion
	Optimisation du profil de consommation à la maille du consommateur	Optimiser le profil de consommation en lissant la consommation (éviter les pics) afin de diminuer la facture électrique	consommateurs résidentiels, tertiaires et industriels	alimentations sans interruption	déjà utilisé et en pleine expansion
Sécurité, continuité d'approvisionnement, Systèmes d'UPS et back-up		Source d'électricité de secours en cas de coupure de courant, de discontinuité de l'alimentation du réseau ou en remplacement des groupes électrogènes	consommateurs résidentiels, tertiaires et industriels	alimentations sans interruption : Systèmes d'UPS et back-up	déjà utilisé et en pleine expansion
Arbitrage temporel sur les marchés		Equilibrer l'offre et la demande à l'échelle du système électrique en valorisant lors de périodes de prix élevés (forte demande) la production stockée et lors de périodes de prix faibles (correspondant aux périodes de faible consommation)	Acteurs de marché d'énergie électrique : producteurs, fournisseurs, distributeurs, agrégateurs, etc.	Convertisseurs AC/DC et DC/AC	pas encore utilisé
Valorisation du stockage au niveau des gestionnaires de réseaux électriques		<ul style="list-style-type: none"> <li>Equilibrage à court terme : utilisation des batteries LFP pour gérer les déséquilibres court-terme sur le réseau électrique ;</li> <li>Report d'investissement dans le réseau : utilisation des batteries LFP pour éviter ou repousser les investissements dans de nouvelles lignes en lissant la demande locale</li> </ul>	Gestionnaires de réseaux électriques	Centrales électriques	pas encore utilisé

Collecte des données

- [Plateforme en ligne depuis le 13/04/2021](#)
- une enquête in-situ auprès des consommateurs résidentiels (ménages) , tertiaires et industriels, des acteurs de marché d'énergie électrique (producteurs, fournisseurs , distributeurs, agrégateurs, etc.).

Traitement des données

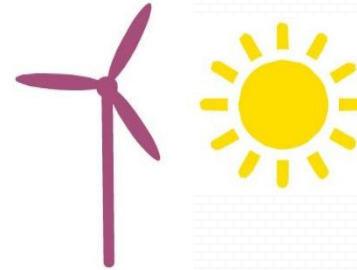
- Etude et modélisation des scénarios d'évolution
- Modéliser l'état de santé, le vieillissement et le potentiel de régénération des batteries LiFePO<sub>4</sub> pour une application solaire PV en Afrique tropicale

Proposer une batterie LiFePO<sub>4</sub> améliorée et adaptée aux conditions ambiantes des climats tropicaux





défis de disponibilité, de prix et des impacts environnementaux : sources d'énergies renouvelables



intermittence de ces sources d'énergie : défi d'approvisionnement continu (quantité + qualité) en énergie

STOCKAGE STATIONNAIRE DE L'ÉNERGIE : UTILISATION DES BATTERIES  $\text{LiFePO}_4$



- Jusqu'à ce jour, pas de donnée statistique n'est disponible à l'échelle nationale sur l'utilisation des batteries LFP au Bénin.
- Mise en place d'une stratégie de collecte de données

### REMERCIEMENTS

- Comité d'organisation du MSAS 2021
- Agence Béninoise d'Électrification Rurale et de Maîtrise d'Énergie (ABERME, BENIN)
- Direction Générale des Ressources Énergétiques (DGRE, Bénin)

## REFERENCES

- [1] AIEA; Planification et perspectives pour les énergies renouvelables: Afrique de l'Ouest, ISBN :978-92-9260-082-2, November 2018
- [2] R.M. Dell, D.A.J. Rand, Energy storage a key technology for global energy sustainability, *Journal of Power Sources*. 100 (2001) 2–  
doi:10.1016/S0378-7753(01)00894-1.
- [3] N. Belmonte, V. Girgenti, P. Florian, C. Peano, C. Luetto, P. Rizzi, M. Baricco, A comparison of energy storage from renewable sources through batteries and fuel cells: A case study in Turin, Italy, *International Journal of Hydrogen Energy*. 41(2016)21427–21438. doi:10.1016/j.ijhyd.2016.07.260.
- [4] J. M. Tarascon & M. Armand, "Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries.", *Nature*, vol. 414, no. 6861, pp. 359–67, Nov. 2001
- [5] Scrosati, K. M. Abraham, Schalkwijk, Walter A. van, J. Hassoun: *Lithium Batteries: Advanced Technologies and Applications*, John Wiley & Sons (2013)
- [6] L. Chancelier, A. O. Diallo, C. C. Santini, G. Marlair, T. Gutel, S. Mailley, C. Len, Targeting adequate thermal stability and fire safety in selected ionic liquid-based electrolytes for energy storage, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 16 (2014) 1967–1976
- [7] V. Etacheri, R. Marom, R. Elazari, G. Salitra, D. Aurbach, Challenges in the development of advanced Li-ion batteries: a review, *Energy Environ. Sci.* 4 (2011) 3243–3262.
- [8] B. Xu, D. Qian, Z. Wang, Y. S. Meng, Recent progress in cathode materials research for advanced lithium ion batteries, *Materials Science Engineering: R: Reports* 73 (2012) 51–65.
- [9] Gaines Linda, Cuenca Roy: *Cost of lithium-ion batteries for vehicle* (2000).
- [10] W. Xu, J. Wang, F. Ding, X. Chen, E. Nasybulin, Y. Zhang, J.-G. Zhang, Lithium metal anodes for rechargeable batteries, *Energy Environ. Sci.* (2014) 513–537

- [11] J. Robert & J. Alzieu, "Accumulateurs - Accumulateurs au lithium", Tech. l'Ingénieur, Trait. Convert. Mach. électriques, pp. 1–15, 2004.
- [12] F. Badin: Hybrid Vehicles: From Components to System, Editions Technip, Paris, France (2013)
- [13] N. Nitta, F. Wu, J.T. Lee, G. Yushin, Li-ion battery materials: present and future, Mater. Today. 18 (2015) 252–264. doi:10.1016/j.mattod.2014.10.040.
- [14] K. Zaghib, M. Dontigny, P. Perret, A. Guerfi, M. Ramanathan, J. Prakash, A. Mauger, C. M. Julien, Electrochemical and thermal characterization of lithium titanate spinel anode in C–LiFePO<sub>4</sub>//C–Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub> cells at sub-zero temperatures, J. Power Sources 248 (2014) 1050–1057.
- [15] J. Alzieu, J. Robert, Accumulateurs- Accumulateurs au lithium, Ed. Techniques de l'Ingénieur, 2005.
- [16] L. Chancelier, A. O. Diallo, C. C. Santini, G. Marlair, T. Gutel, S. Mailley, C. Len, Targeting adequate thermal stability and fire safety in selecting ionic liquid-based electrolytes for energy storage, Phys. Chem. Chem. Phys. 16 (2014) 1967–1976
- [17] A.-O. Diallo, A. B. Morgan, C. Len, G. Marlair, An innovative experimental approach aiming to understand and quantify the actual fire hazards of ionic liquids, Energy Environ. Sci. 6 (2013) 699–710
- [18] D. Doughty, E. P. Roth, A general discussion of li ion battery safety, The Electrochemical Society Interface 2 (2012).
- [19] J. Jeevarajan: Safety of commercial lithium-ion cells and batteries: Lithium-Ion Batteries. Elsevier (2014) 387–407.
- [20] D. W. Murphy, P. A. Christian, Solid state electrodes for high energy batteries, Science (New York, N.Y.) 205 (1979) 651–656
- [21] P. T. Coman, S. Rayman, R. E. White, A lumped model of venting during thermal runaway in a cylindrical Lithium Cobalt Oxide lithium-ion cell, J. Power Sources 307 (2016) 56–62
- [22] H. S. Hamut, I. Dincer, G. F. Naterer, Performance assessment of thermal management systems for electric and hybrid electric vehicles, International Journal of Energy Research 37 (2013) 1–12.

[23] Agence Internationale de l'Energie, « Energy Perspectives 2017 »,Analyses E-CUBE Strategy Consultant

[24] M.-S. Park, J.-G. Kim, Y.-J. Kim, N.-S. Choi, J.-S. Kim, Recent Advances in Rechargeable Magnesium Battery Technology: A Review of the Field's Current Status and Prospects, *Isr. J. Chem.* 55 (2015) 570–585. doi:10.1002/ijch.201400174.

[25] Y. Wang, R. Chen, T. Chen, H. Lv, G. Zhu, L. Ma, C. Wang, Z. Jin, J. Liu, Emerging non-lithium ion batteries, *Energy Storage Mater.* 4 (2016) 103–129. doi:10.1016/j.ensm.2016.04.001

[26] X. Xiang, K. Zhang, J. Chen, Recent Advances and Prospects of Cathode Materials for Sodium-Ion Batteries, *Adv. Mater.* 27 (2015) 5343–5364. doi:10.1002/adma.201501527.

[27] P. Saha, M.K. Datta, O.I. Velikokhatnyi, A. Manivannan, D. Alman, P.N. Kumta, Rechargeable magnesium battery: Current status and key challenges for the future, *Prog. Mater. Sci.* 66 (2014) 1–86. doi:10.1016/j.pmatsci.2014.04.001.



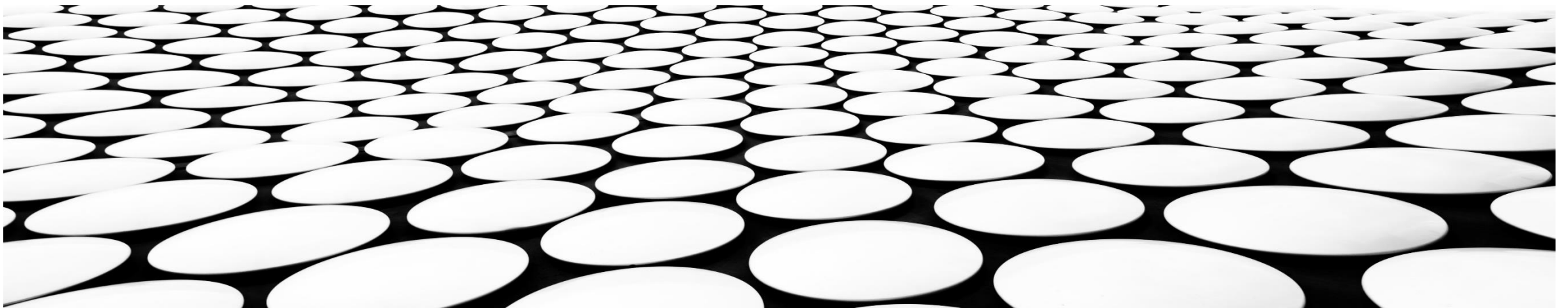
**MERCI POUR VOTRE  
AIMABLE ATTENTION**

Pour participer au questionnaire en ligne, cliquer ici...

---

# ANALYSE DE LA VARIATION DES PARAMÈTRES MÉTÉOROLOGIQUES ET DE SES INFLUENCES SUR LES RÉGIMES DE VENT DANS L'EST DU NIGER : CAS DE N'GUIGMI

PRÉSENTÉ PAR: MOUMOUNI GUERO MOHAMED



# **Analyse de la variation des paramètres météorologiques et de ses influences sur les régimes de vent dans l'est du Niger : cas de N'Guigmi**

Moumouni Guero Mohamed<sup>1-2-3\*</sup>, Prodjinonto Vincent<sup>1-2</sup>

<sup>1</sup>Département de Génie Mécanique et Energétique, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, République du Bénin

<sup>2</sup>Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Appliquée, Université d'Abomey Calavi, République du Benin

<sup>3</sup>Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi, République du Niger

\*Adresse électronique de l'auteur : elhmehd@gmail.com

**RÉSUMÉ** : La variabilité des paramètres météorologiques en Afrique de l'Ouest en général et au Niger en particulier, est très observée. Cependant, des variables afférentes aux régimes de vent telles que les vitesses et les directions, ont été généralement très peu étudiées. Cette étude a pour objectif de rechercher l'influence de la manifestation climatique sur les régimes de vent saisonniers dans la zone Est du Niger. Il s'agit d'une part de caractériser la manifestation des paramètres météorologiques à partir de l'analyse de la température de l'air, l'humidité relative de l'air, la variation de la pression atmosphérique et l'ensoleillement. D'autre part, il a été question de comparer les relevés éoliens mensuels sur la période 2010-2019 afin de dégager leur comportement saisonnier dans le contexte de changement climatique. Une analyse en composantes principales a permis l'étude de l'impact des paramètres météorologiques sur les régimes éoliens saisonniers. Cette étude basée sur six (06) paramètres, a permis d'établir l'impact de leur fluctuation sur les régimes éoliens saisonniers. La première composante principale ( $F_1$ ) est associée aux facteurs déterminant les conditions atmosphériques. La deuxième composante principale ( $F_2$ ) est liée aux variables d'état du site. Pour ce qui est des paramètres qui agissent sur la variation temporelle des régimes de vent, on trouve une importante corrélation de la température de l'air et que l'humidité relative de l'air. On déduit donc que la température et l'humidité relative de l'air sont des paramètres du changement des régimes de vent dans la bande Est du Niger.

**Mots-clés** : Etude corrélative, analyse en composantes principales, régimes éoliens, variabilité climatique, logiciel XLSTAT

# CONTENU DE L'ARTICLE

Contexte et travaux connexes

Analyse en Composantes  
Principales

Premiere Partie

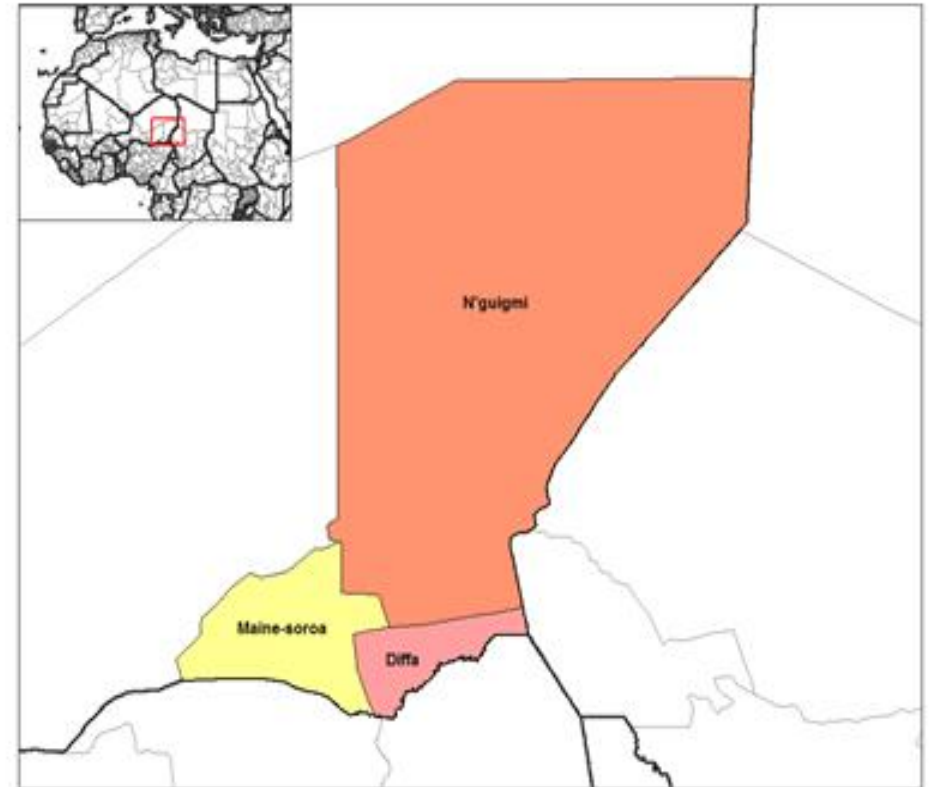
Deuxieme Partie

Troisieme Partie

Etude de la variation des  
paramètres météorologiques

# ZONES DE L'ÉTUDE

- Situation: Le secteur d'étude est N'Guigmi, située à  $14^{\circ}15'10''$  nord et  $13^{\circ}06'39''$  est, à environ 140 km au nord-est de Diffa et 1493 km à l'est de Niamey, capitale du Niger.
- Particularité: climat désertique chaud (classification de Köppen BWhw, Micha Beldà et al, 2014)



# DONNÉES ET PARAMÈTRES D'ÉTUDE

- Paramètres météorologiques d'étude: la vitesse du vent, les températures maximales et minimales de l'air, l'humidité relative maximales et minimales de l'air, la pression atmosphérique et l'insolation.
- Collecte des données: collectées auprès de la direction nationale de la météorologie (DNM) du Niger. Ces données couvrent une période de dix (10) ans, notamment de 2010 à 2019 et sont mesurées à 10 mètres d'altitude.

# ORIGINALITÉ ET JUSTIFICATION DE L'ÉTUDE

- Comprendre l'influence de certains paramètres météorologiques sur la fluctuation temporelle du vent dans la zone de N'Guigmi (Est du Niger).
- Les grandeurs qui influencent la variation des régimes saisonniers éoliens étant très variés, leurs études nécessitent donc l'application des méthodes multivariées.
- La plus-value de notre étude est qu'elle prend en compte beaucoup plus de paramètres météorologiques et surtout une quantité de données assez conséquentes réparties sur dix (10) ans avec un pas de trois (3) heures de collecte.
- Méthode choisie basée sur l'utilisation des techniques d'analyses statistiques multivariées à savoir l'Analyse en Composantes Principales (ACP).

# RECHERCHES CONNEXES

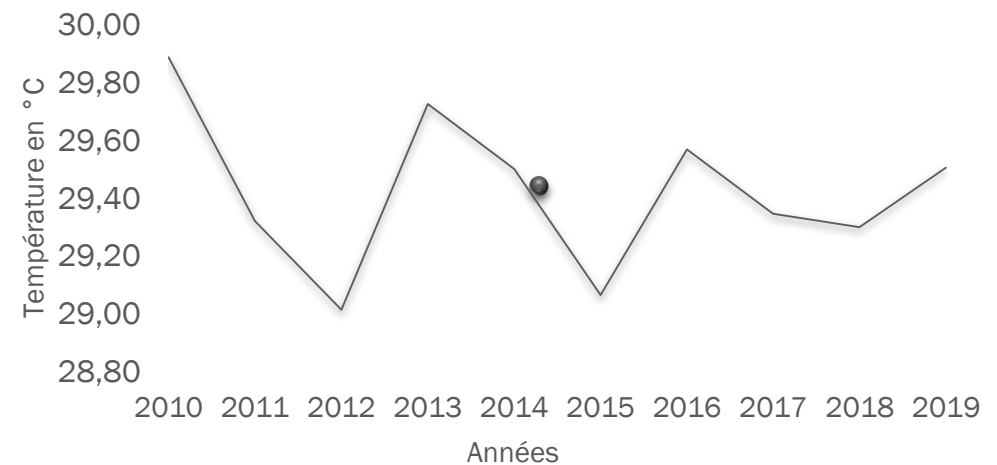
- Saïdou Madougou.2010 : La variabilité de la production énergétique des éoliennes en fonction des variations des vitesses du vent.
- Amani M. Kouassi et al.2010; G. SORO et al.2019 : permettre de comprendre l'influence de la variabilité climatique sur les régimes pluviométriques en Afrique de l'Ouest et l'étude hydrochimique des eaux souterraines de la région des lacs
- A.A. Koukpedji et al.2015; S.M. El Moustapha, M.L. et al.2014; E. Guerber et al.2008: ont étudié l'influence de la température, de la pression et de l'humidité relative de l'air sur le potentiel éolien et aussi sur son transport et sa distribution

# ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS

- Variations de la température de l'air

Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin
21.69	25.64	29.66	33.09	34.60	34.39
Juil	Aout	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
32.07	29.94	31.46	31.12	27.19	22.23

Températures mensuelles moyennes



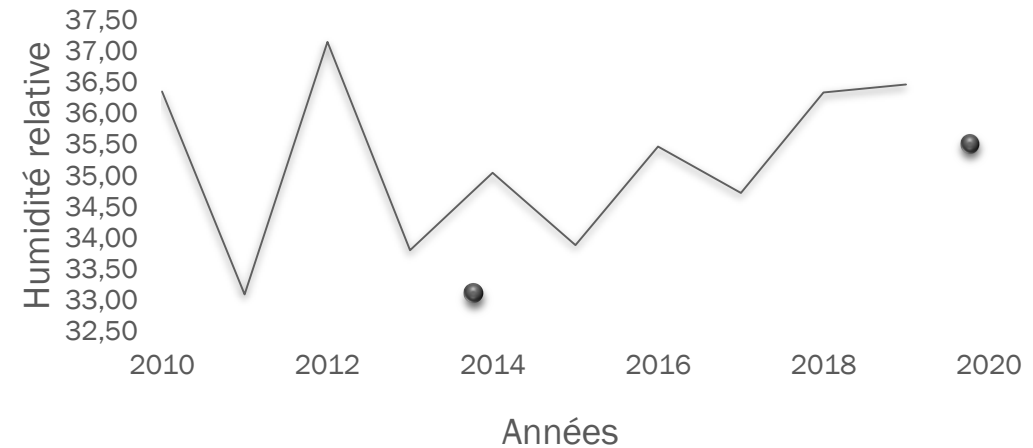
Variation interannuelle de la température

# ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS

- Variations de l'humidité relative de l'air

Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin
24.41	19.84	18.37	19.89	30.31	42.96
Juil	Aout	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
55.84	66.76	56.02	34.69	25.69	27.99

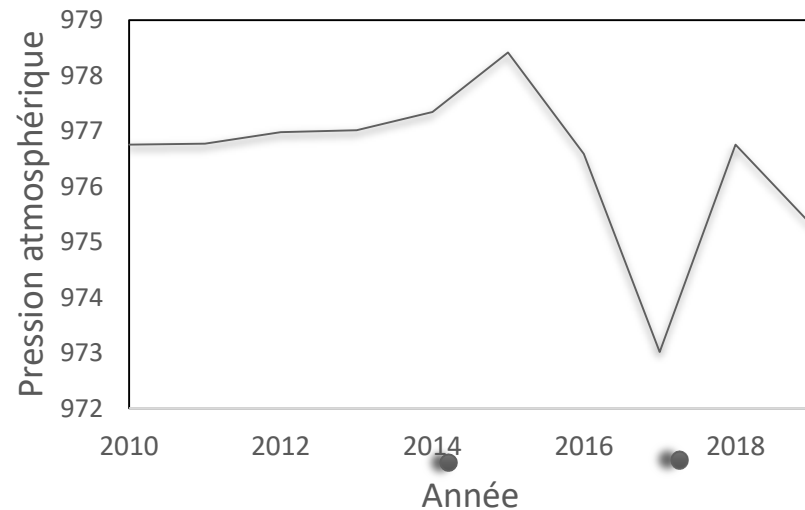
Humidités relatives mensuelles moyennes



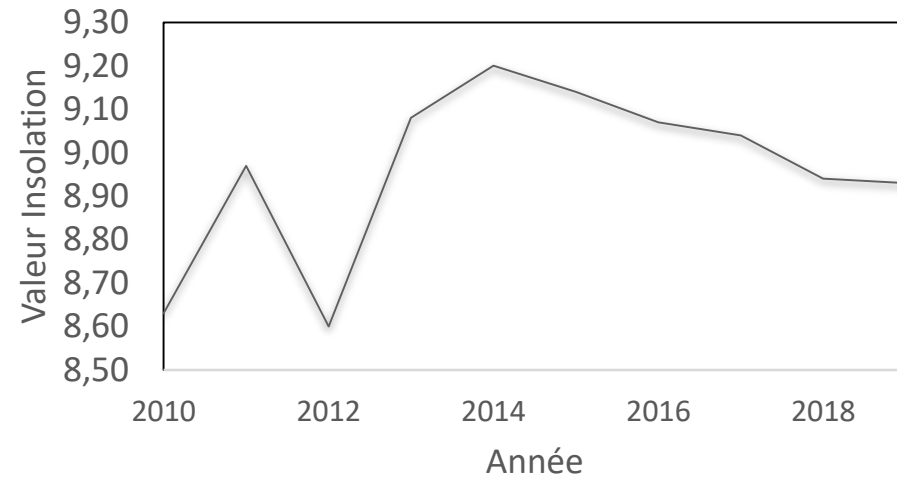
Variation interannuelle de l'humidité

# ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS

- Variation de la pression atmosphérique et de l'insolation



Variation interannuelle de la pression atmosphérique



Variation interannuelle de l'insolation

# ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS

- STATISTIQUES DESCRIPTIVES DES VARIABLES RETENUES

Le tableau suivant présente les statistiques descriptives (moyennes, écart-types, coefficient de variation) des variables utilisées dans l'ACP. Les différents coefficients de variation restent en général inférieurs à 25 % (près de 79 %). Les séries constituées sont donc homogènes dans l'ensemble.

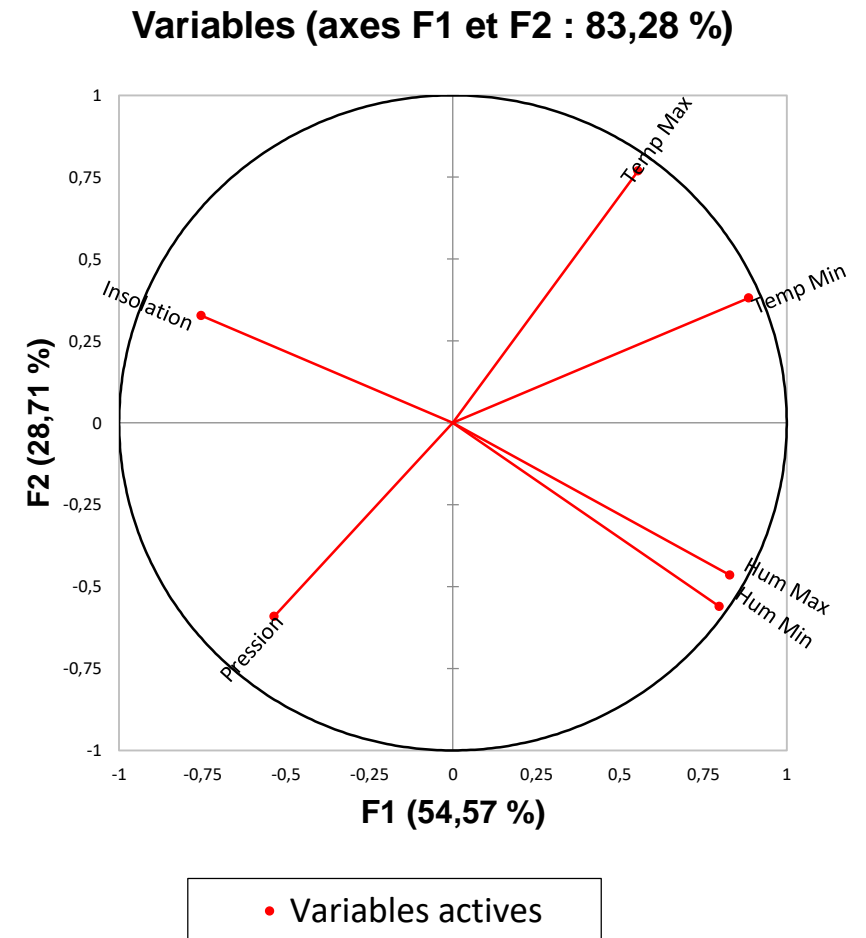
Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Pression	958.547	986.248	976.494	4.414
Insolation	6.358	10.527	8.961	0.903
Temp Max	26.713	44.545	37.552	4.215
Temp Min	11.668	27.507	21.294	4.764
Hum Max	23.194	92.032	51.075	20.918
Hum Min	5.774	49.290	19.386	11.690

# ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS

## ■ Analyse des corrélations

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Valeur propre	3.274	1.723	0.519	0.427	0.039	0.017
Variabilité (%)	54.575	28.709	8.653	7.124	0.658	0.282
% cumulé	54.575	83.284	91.936	99.060	99.718	100.000

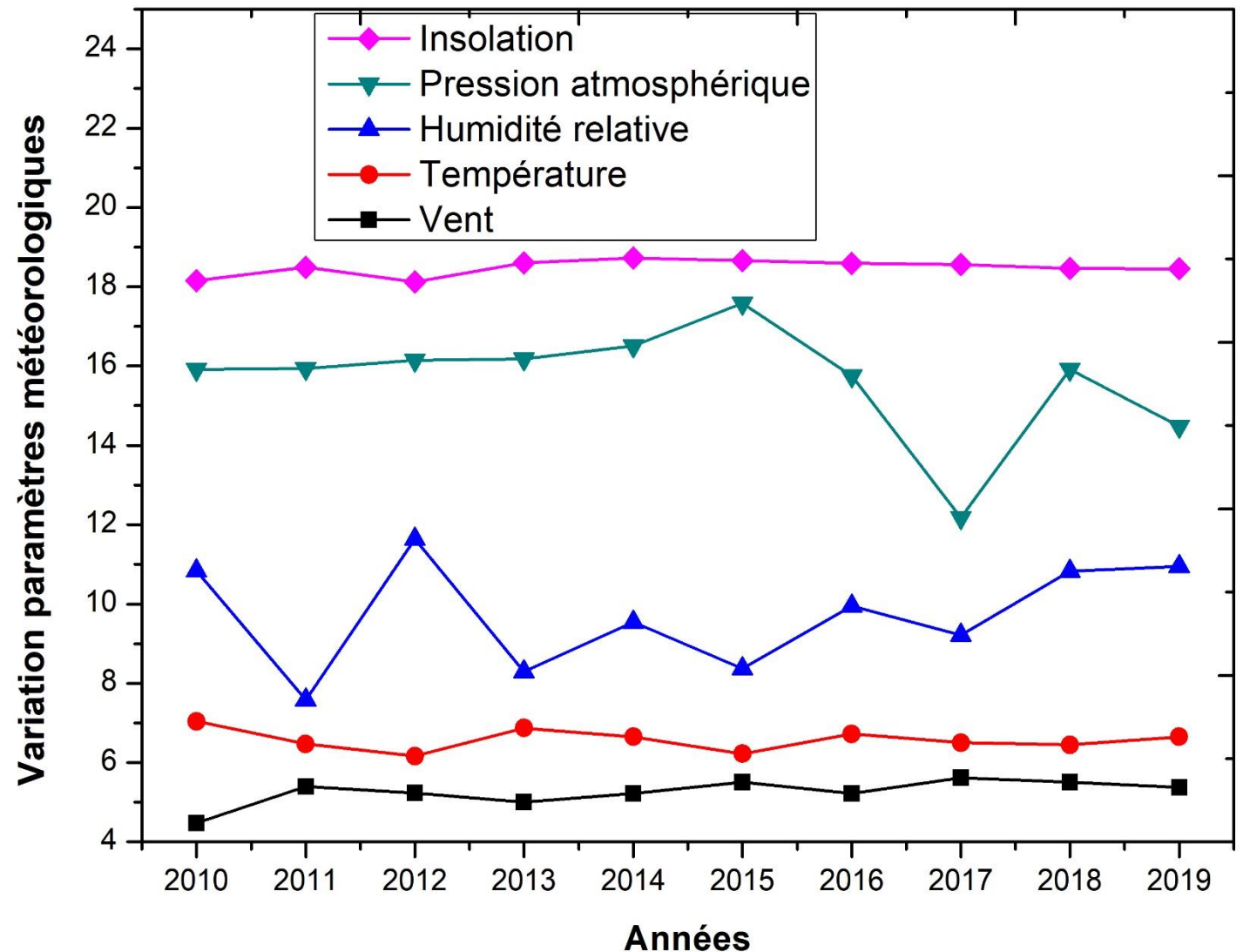
La première composante principale (F1) est associée aux facteurs définissant les conditions atmosphériques. La deuxième composante principale (F2) est associée aux variables d'état.



# DISCUSSION

Variables	Pression	Insolation	Temp Max	Temp Min	Hum Max	Hum Min
Pression	1					
Insolation	0.189	1				
Temp Max	-0.569	-0.163	1			
Temp Min	-0.561	-0.521	0.844	1		
Hum Max	-0.190	-0.623	0.107	0.555	1	
Hum Min	-0.132	-0.683	-0.002	0.492	0.959	1

Matrice de corrélation nous montre que la majorité des coefficients de corrélation sont inférieurs à 0,70 donc les variables analysées ne sont pas fortement corrélées entre elles et donc diminue significativement la redondance de l'information et démontre du même coup la pertinence dans le choix de ces variables pour mener l'étude.



# DISCUSSION

Les résultats obtenus peuvent être mis en relation avec des travaux d'autres chercheurs.

- D'après les résultats des travaux **A.A. Koukpedji et al.2015**, **AKRABOU Omar et al**, la variabilité des paramètres météorologiques, notamment la température, l'humidité et la pression influent beaucoup sur les régimes éoliens saisonniers.
- **Amani M. Kouassi et al.2010** ont montré que la fluctuation des paramètres climatiques comme la température ou l'humidité relative se fait ressentir sur d'autres paramètres météo notamment sur la pluviométrie.

# CONCLUSION

- Six (5) paramètres météorologiques étudiés:
  - vitesse du vent: Les mois les plus ventés sont les mois correspondant à la saison de froid, notamment les mois de novembre, décembre, janvier et février.
  - Température: Valeurs élevées en Avril, Mai, Juin et les plus basses valeurs en Déc. et Jan
  - humidité relative: Valeurs globalement basses dû à la situation géographique du site
  - pression et insolation: Déc. et Jan présentent les valeurs de pression les plus élevées, tandis que les valeurs minimales de l'insolation sont observées durant la saison pluvieuse (Juil, Aout, Sept).
- Analyse en composantes principales: Les six (6) variables quantitatives pour l'analyse en composantes principales ont permis d'analyser les facteurs de variabilité temporelle des régimes du vent.
- Forte corrélation des principales composantes avec la température de l'air ainsi que l'humidité relative de l'air = Paramètres fortement influents

## REFERENCES

- [1] Saïdou Madougou. « *Étude du potentiel éolien du jet nocturne dans la zone sahélienne à partir des observations de radars profileurs de vent.* » Planète et Univers [physics]. Université Paul Sabatier -Toulouse III, 2010. Français. tel-00530163
- [2] [AKRABOU Omar et al.](#), « *Etude des paramètres météorologiques intervenant dans la simulation d'un parc éolien - Cas du site d'Adrar* », mémoire de master en physique énergétique et énergies renouvelables, université ahmed draia adrar, 2017
- [3] A.A. Koukpedji et al., « *Influence de la température, de la pression et de l'humidité relative de l'air sur le potentiel éolien dans la zone côtière du Bénin dans le Golfe de Guinée* » Revue des Energies Renouvelables Vol. 18 N°2 (2015) 217 – 226
- [4] [S.M. El Moustapha, M.L. et al.](#), « *Influence des paramètres météorologiques sur la production d'un aérogénérateur : Application sur le littoral sahélien* », Revue des Energies Renouvelables, Vol. 17, N°1, pp. 43 – 54, 2014.
- [5] E. Guerber et al., « *Modélisation statistique du vent: influence du changement climatique sur le transport éolien* » Xèmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, 14-16 Octobre, Sophia Antipolis, 2008.
- [6] Micha Belda et al., « *climate classification revisited: from Köppen to Trewerta*” Climate Research, Vol; 59, 4 février 2014.
- [7] <http://www.stat-niger.org/statistique/file/Regions/Diffaenchiffres2011.PDF>
- [8] Amani M. Kouassi et al., « *Analyse de la variabilité climatique et de ses influences sur les régimes pluviométriques saisonniers en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire* »
- [9] G. SORO et al., « *Application des méthodes statistiques multivariées à l'étude hydrochimique des eaux souterraines de la région des lacs (centre de la Côte d'Ivoire)* » / Int. J. Biol. Chem. Sci. 13(3) : 1870-1889, 2019
- [10] [Jean-Marc Lasgouttes](#), *Variables quantitatives : analyse en composantes principales*, Cours d'analyse de données, INRIA Paris, année 2013-2014.



Merci pour votre aimable attention

**MSAS**

**Malian Society of Applied Sciences  
Société Malienne des Sciences Appliquées**



MSAS 2021

DOUZIEME SYMPOSIUM MALEN SUR LES SCIENCES APPLIQUEES

01-06 AOUT

<http://www.smsa.ml>

Thème:

***DIMENSIONNEMENT ET OPTIMISATION D'UN SYSTEME D'ENERGIE HYBRIDE  
PV-BIOMASSE POUR LES ZONES RURALES DU MALI: CAS DE KOLOKANI***

Bah M TRAORE

Dr-Ing. Fadaba DANIOKO, Maître de conférences, FST

Dr Mamadou DANSOKO, Maître de conférences, FST

Pr Mamadou Lamine DOUMBIA, Université de Québec à trois rivières



**UQTR**



Université du Québec  
à Trois-Rivières

# Dimensionnement et optimisation d'un système d'énergie hybride PV-biogaz pour les zones rurales du Mali: cas de Kolokani

Bah M Traoré<sup>1\*</sup>; Mamadou Dansoko<sup>1</sup>; Fadaba. Danioko<sup>1</sup>; Mamadou Lamine Doumbia<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centre de Calcul de Modélisation et de Simulation, Faculté des Sciences and Techniques de Bamako, Mali

<sup>2</sup>Université du Québec à Trois-Rivières, Canada

(E-mail: batraoreb59@gmail.com, mdansoko2003@gmail.com, [loifad@gmail.com](mailto:loifad@gmail.com), mamadou.doumbia@uqtr.ca)

**RE S U M E :** Les zones rurales en Afrique, en particulier au Mali connaissent un déficit énergétique énorme qui handicape fortement leur développement. À cela s'ajoute l'épuisement des ressources fossiles et les problèmes environnementaux inhérents. Alors, le recours aux sources d'énergie alternatives ainsi que leur hybridation deviennent incontournables pour satisfaire la demande énergétique et préserver l'environnement. Ainsi, le système hybride PV- Biomasse comparé aux autres systèmes, se présente comme l'une des meilleures configurations à cause de sa grande souplesse et du fait qu'il est moins tributaire des conditions météorologiques.

Dans cette étude, nous proposons un dimensionnement et optimisation d'un système d'énergie hybrides PV-Biomasse avec stockage d'énergie en vue d'assurer une production d'énergie fiable, durable et 100% renouvelable. Ce système hybride étudié est modélisé et simulé sous le logiciel HOMER afin de retenir la configuration optimale en termes de production d'énergie fiable et durable mais aussi en termes de coût minimal sur le cycle de vie du système hybride pour la zone rurale de Kolokani.

Les résultats obtenus après simulation montrent que la configuration optimale dans cette localité de Kolokani est composée d'un générateur biogaz de 100 kW, un champ PV de 160 kWc et un parc de batteries pour une production d'énergie fiable et durable avec un coût minimum sur cycle de vie système d'énergie hybride.

**Mots clés :** Système hybride, Générateur à biogaz, Photovoltaïque, Coût sur cycle de vie, Kolokani-Mali.

# PLAN

- 1 • Contexte et Justificatifs
- 2 • Etat de l'art et Positionnement
- 3 • Méthode proposée
- 4 • Résultats et Discussions
- 5 • Conclusion et Perspectives

# 1-CONTEXTE JUSTIFICATIFS

La commune de KOLOKANI est située à 120km de Bamako sur la RN3 et à plus 90km du réseau EDM

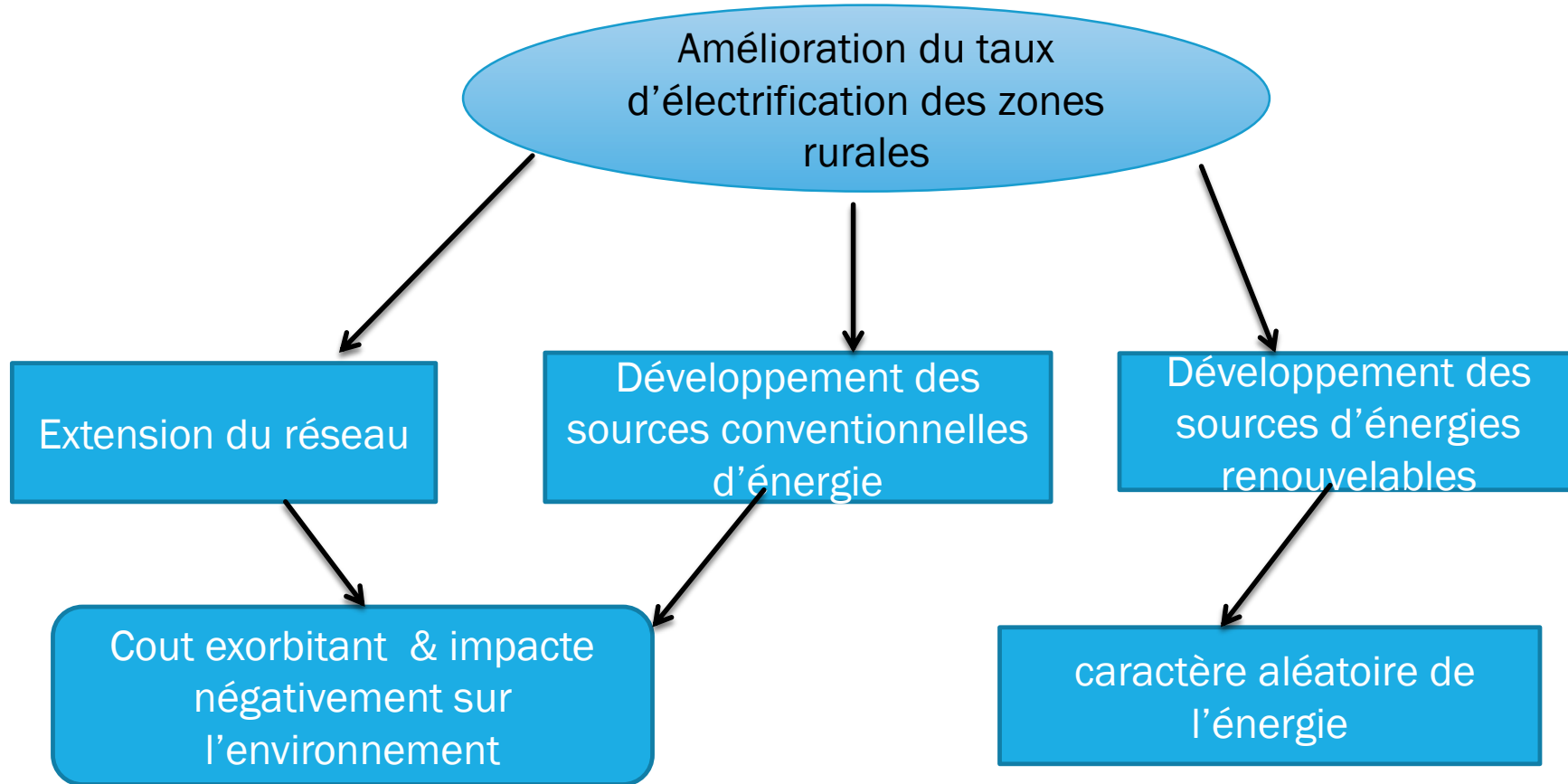
57307hbts repartis en 7164foyers

Données climatiques

	Unité	Lieu des données climatiques	Lieu des installations
Latitude		13,6	13,7
Longitude		-8,1	-8,2
Zone climatique		OA - Extrêmement chaud - Humide ▼	
Élévation	m ▼	367	423
Température extérieure de calcul de chauffage	°C ▼	18,8	
Température extérieure de calcul de climatisation	°C ▼	38,7	
Amplitude des températures du sol	°C ▼	18,7	

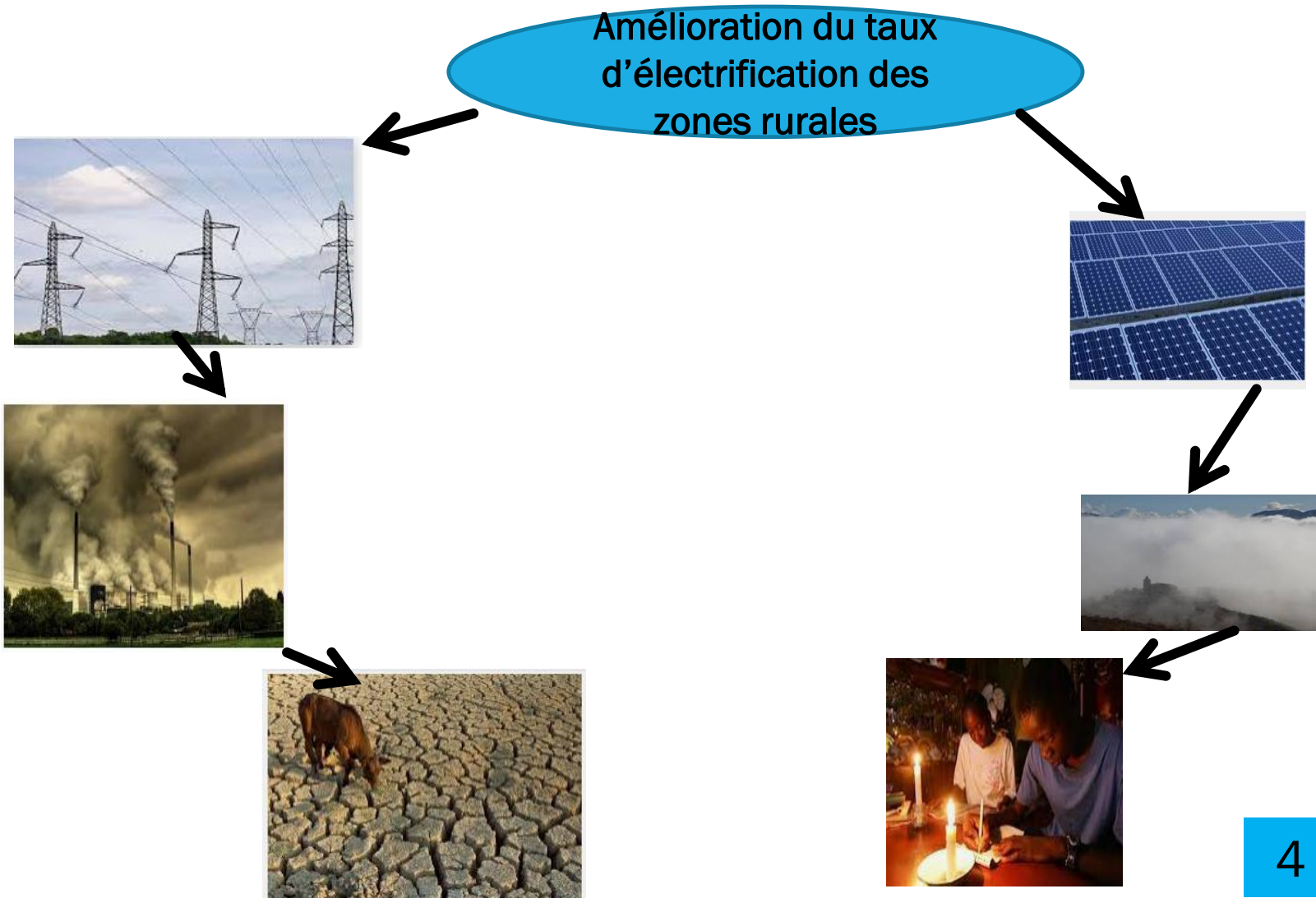


# CONTEXTE ET JUSTIFICATIFS



)

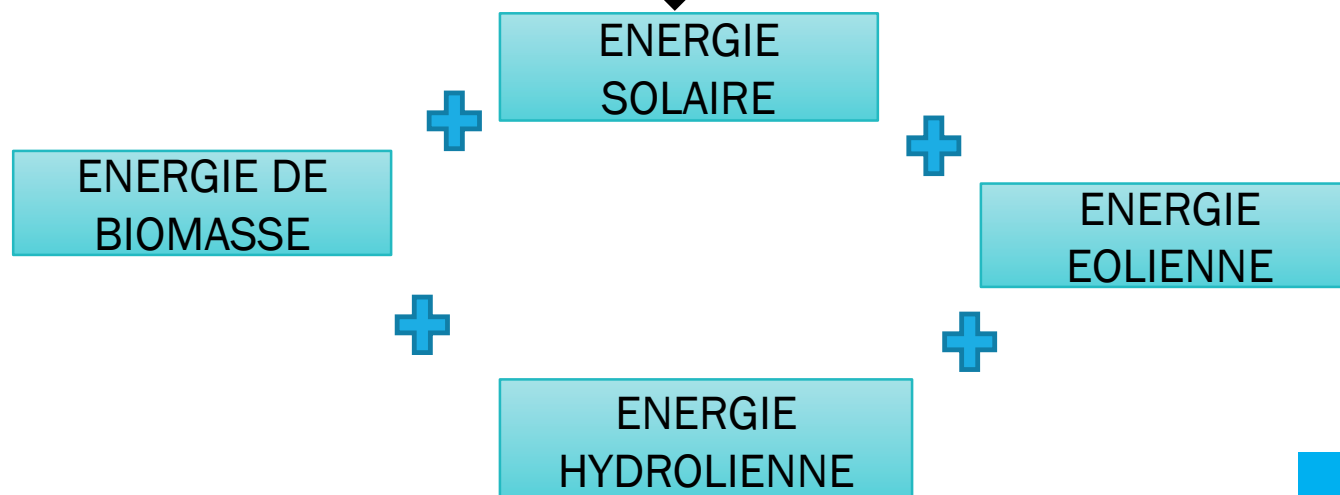
# CONTEXTE ET JUSTIFICATIFS



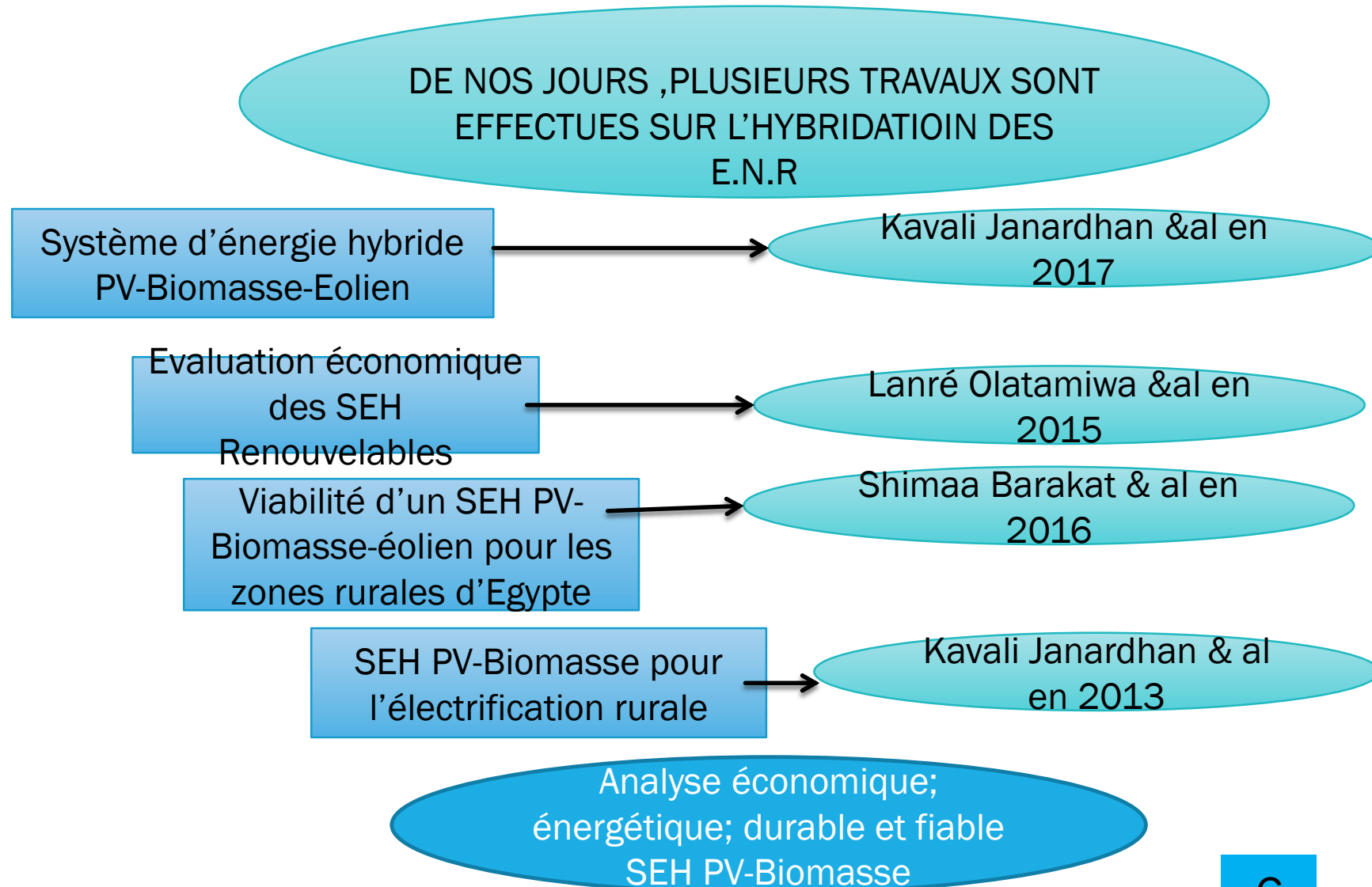
# CONTEXTE ET JUSTIFICATIF

- PRODUCTION D'ENERGIE DURABLE

HYBRIDATION DES E. N .R



# ETAT DE L'ART



# MÉTHODE PROPOSÉE

Systeme d'énergie hybride PV-Biomasse avec stockage d'énergie

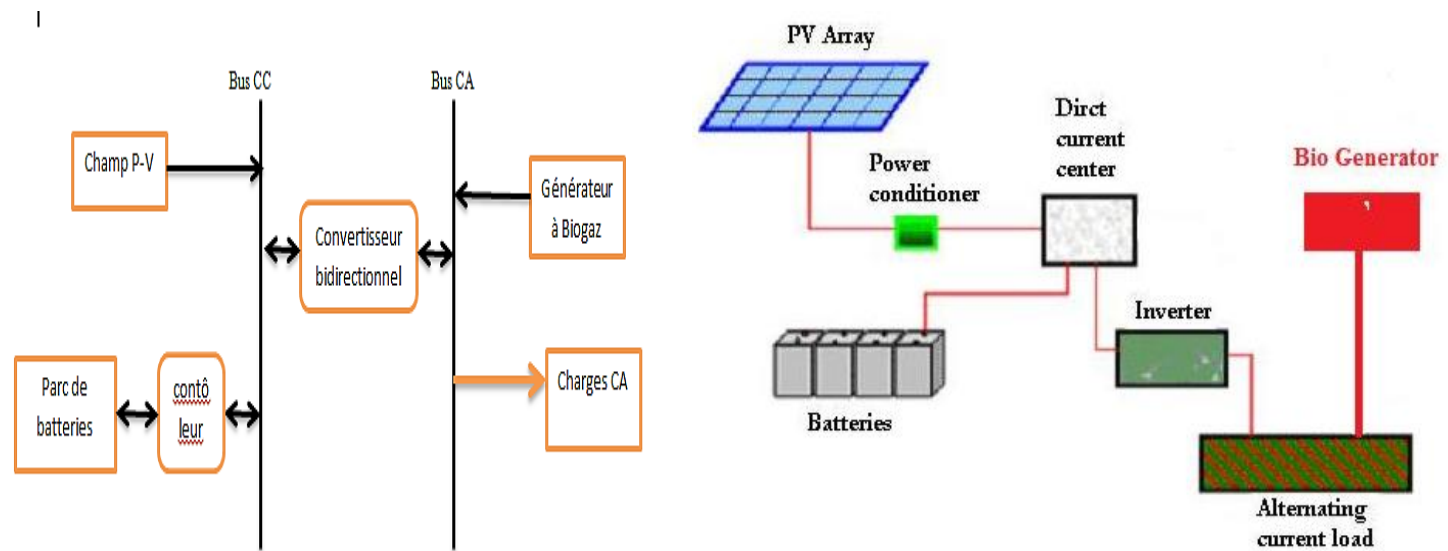


Diagramme d'un SEHR avec stockage d'énergie

# MÉTHODE PROPOSÉE

HOMER(Hybrid Optimization Model of Electric Renewable) de NREL

**System Diagram:**

- AC:** Electric Load #1 (2107,00 kWh/d, 244,32 kW peak), Electric Load #2 (142,00 kWh/d, 38,25 kW peak), Converter.
- DC:** CS6K-285, H2000.

**SUGGESTIONS:**

- Model does not match results
- Download new HOMER Pro

**ELECTRIC LOAD** (Name: Electric Load #1)

**January Profile**

Hour	Load (kW)
0	50,000
1	50,000
2	50,000
3	50,000
4	50,000
5	50,000
6	90,000
7	90,000
8	70,000
9	70,000
10	70,000

**Daily Profile** (Bar chart showing kW over 24 hours)

**Seasonal Profile** (Box plot showing kW distribution by month)

**Yearly Profile** (Heatmap showing kW over 365 days)

**Metrics Table:**

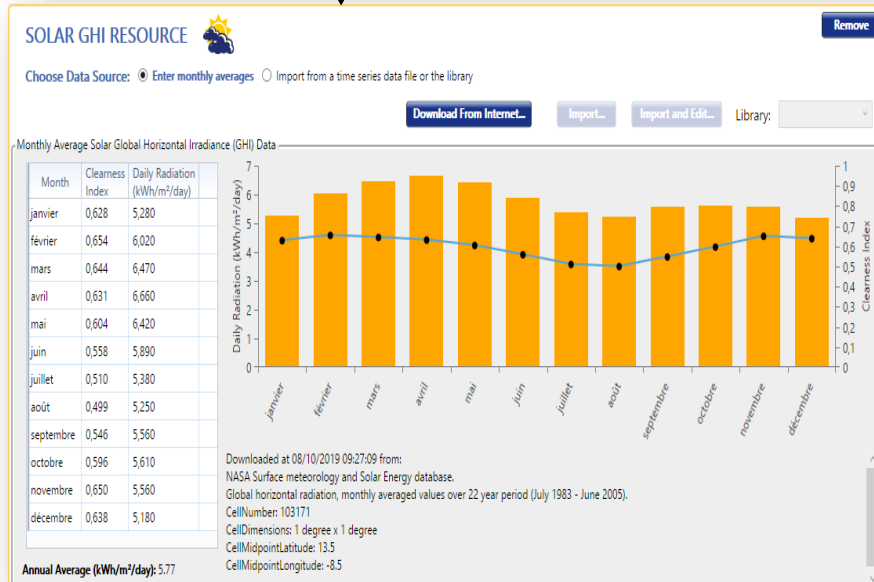
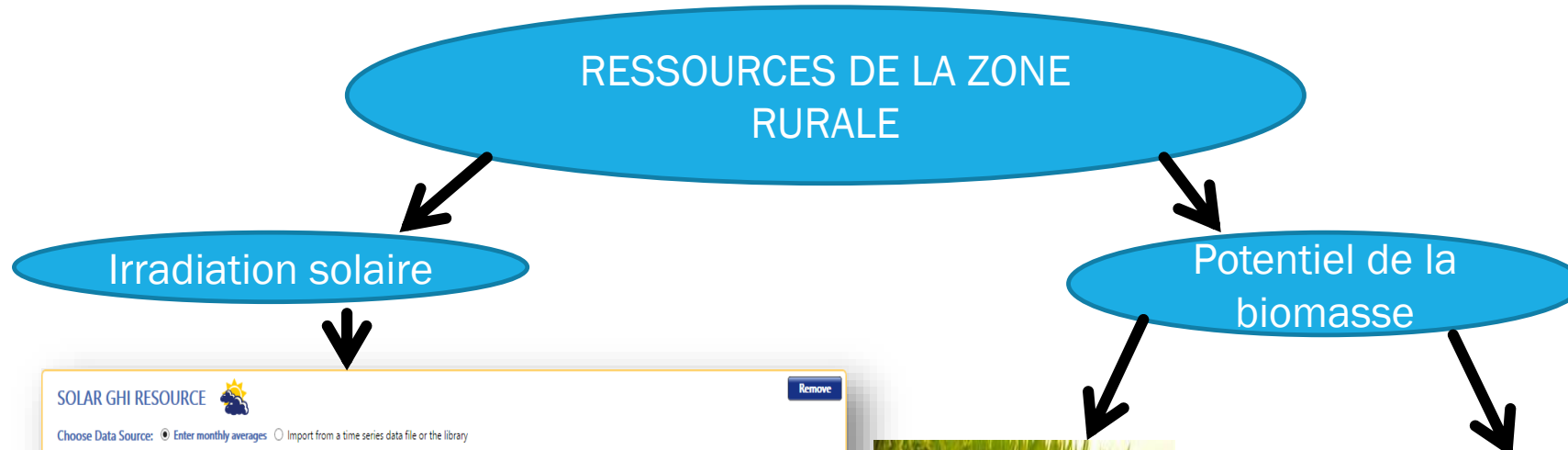
Metric	Baseline	Scaled
Average (kWh/d)	2 107	2 107
Average (kW)	87,79	87,79
Peak (kW)	222,11	222,11
Load Factor	,4	,4

**Efficiency (Advanced) Settings:**

- Efficiency multiplier: 1
- Capital cost (€): 0
- Lifetime (yr): 10

Load Type:  AC  DC

# MÉTHODE PROPOSÉE



# MÉTHODE PROPOSÉE

- Le model mathématique se présente en 3 équations:

$$P_{totale} = P_{biogaz} + P_{solaire P-V} \quad (1)$$

$$P_{biogaz} = \eta_{gen} * B_0 \quad (2)$$

$$P_{solaire P-V} = A * \eta_P * N_P * I \quad (3)$$

## 4-RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Tableau 3 : Besoins énergétiques domestiques

materiel	nombre	puissance(W)	Charge (kW)	Durée (H)	Charge totalekWh)
Lampe	5375	15	80,595	8	644,76
ventilateur	645	60	38,7	8	309,6
Radio	1075	20	21,5	12	258
TV	645	100	64,5	8	516
ordinateur	20	500	10	3	30
frigo	30	900	27	8	216
Pompe	20	1500	30	3	90
autres app	1075	10	10,75	4	43
Total					2107,36

Tableau 4 : Besoins énergétiques communautaires

materiel	nombre	Puissance(W)	charges(kW)	Durée(H)	Charge totale(kWh)
Lampadaire	50	55	2,75	10	27,5
ventilateur	20	60	1,2	4	4,8
Besoins de l'école	10	80	0,8	4	3,2
Besoins de CSCOM	2	800	1,6	8	12,8
Ordinateur	10	600	6	4	24
Tube fluorescent	130	15	1,95	4	7,8
moulin	10	1500	15	4	60
autres app	8	100	0,8	4	3,2
Total					143,3

# RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

## Les combinaisons les plus optimales sous HOMER

OAD COMPONENTS RESOURCES PROJECT HELP

Controller Generator PV Wind Turbine Storage Converter Custom Boiler Hydro Reformer Electrolyzer Hydrogen Tank Hydrokinetic Grid Thermal Load Controller

RESULTS

Tabular Graphical

Export... Export All... Sensitivity Cases Left Click on a sensitivity case to see its Optimization Results. Compare Economics Column Choices...

Sensitivity					Architecture							CC (€)
CS6K-285M time (years)	CS6K-285M Derating (%)	Electric Load #1 Scaled Average (kWh/d)	Electric Load #2 Scaled Average (kWh/d)	Biomass Price (€/tonne)	CS6K-285M (kW)	CS6K-285M-MPPT (kW)	Bio (kW)	H2000	Converter (kW)	Dispatch	CC (€)	
20,0	85,0	2 107	142	10,0	160	140	100	1 920	130	CC	0,4	
25,0	85,0	2 107	142	10,0	160	140	100	1 920	130	CC	0,4	
20,0	88,0	2 107	142	10,0	160	140	100	1 920	130	CC	0,4	
25,0	88,0	2 107	142	10,0	160	140	100	1 920	130	CC	0,4	
20,0	85,0	2 107	149	10,0	160	140	100	1 920	130	CC	0,4	
25,0	85,0	2 107	140	10,0	160	140	100	1 920	130	CC	0,4	

Export... Optimization Results Left Double Click on a particular system to see its detailed Simulation Results. Categorized Overall

Architecture								Cost				System	
CS6K-285M (kW)	CS6K-285M-MPPT (kW)	Bio (kW)	H2000	Converter (kW)	Dispatch	COE (€)	NPC (€)	Operating cost (€)	Initial capital (€)	Ren Frac (%)	Hours		
160	140	100	1 920	130	CC	0,473 €	5,02 €M	276 983 €	1,44 €M	100	7 444		
160	160	100	1 920	130	CC	0,474 €	5,03 €M	277 407 €	1,45 €M	100	7 444		
140	140	100	1 920	130	CC	0,481 €	5,10 €M	284 148 €	1,43 €M	100	7 798		
140	160	100	1 920	130	CC	0,482 €	5,12 €M	284 571 €	1,44 €M	100	7 798		
160	140	120	1 920	130	CC	0,513 €	5,45 €M	305 496 €	1,50 €M	100	7 532		
160	160	120	1 920	130	CC	0,515 €	5,46 €M	305 920 €	1,51 €M	100	7 532		

# RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

## ■ Analyse économique du SEH PV-Biomasse avec stockage

### Simulation Results

#### System Architecture:

CanadianSolar Quintech CS6K-285M (160 kW/140 kW) System Converter (130 kW)  
 Generic Biogas Genset (size-your-own) (100 kW) HOMER Cycle Charging  
 Hoppecke 16 OPzS 2000 (80,0 strings)

Total NPC: 5 019 898,00 €  
 Levelized COE: 0,4731 €  
 Operating Cost: 276 982,70 €

CanadianSolar Quintech CS6K-285M System Converter Emissions

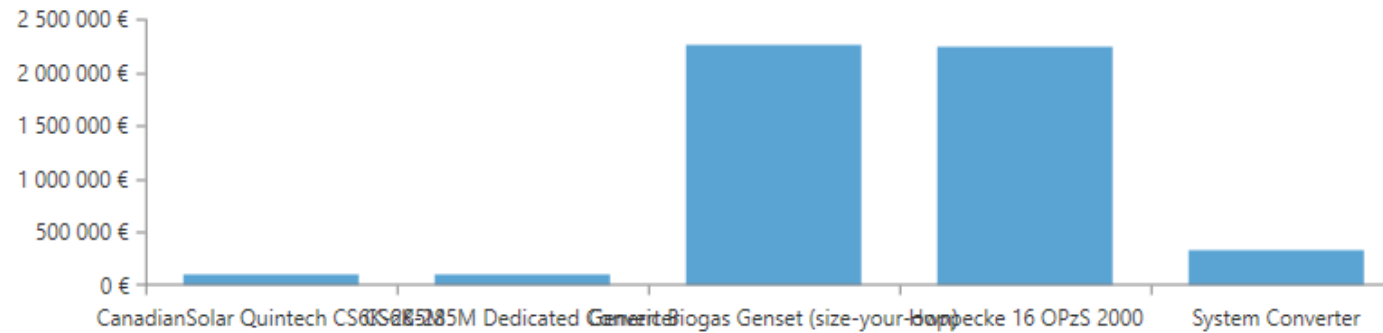
Cost Summary Cash Flow Compare Economics Electrical Fuel Summary Generic Biogas Genset (size-your-own) Renewable Penetration Hoppecke 16 OPzS 2000

Cost Type

Net Present  
 Annualized

Categorize

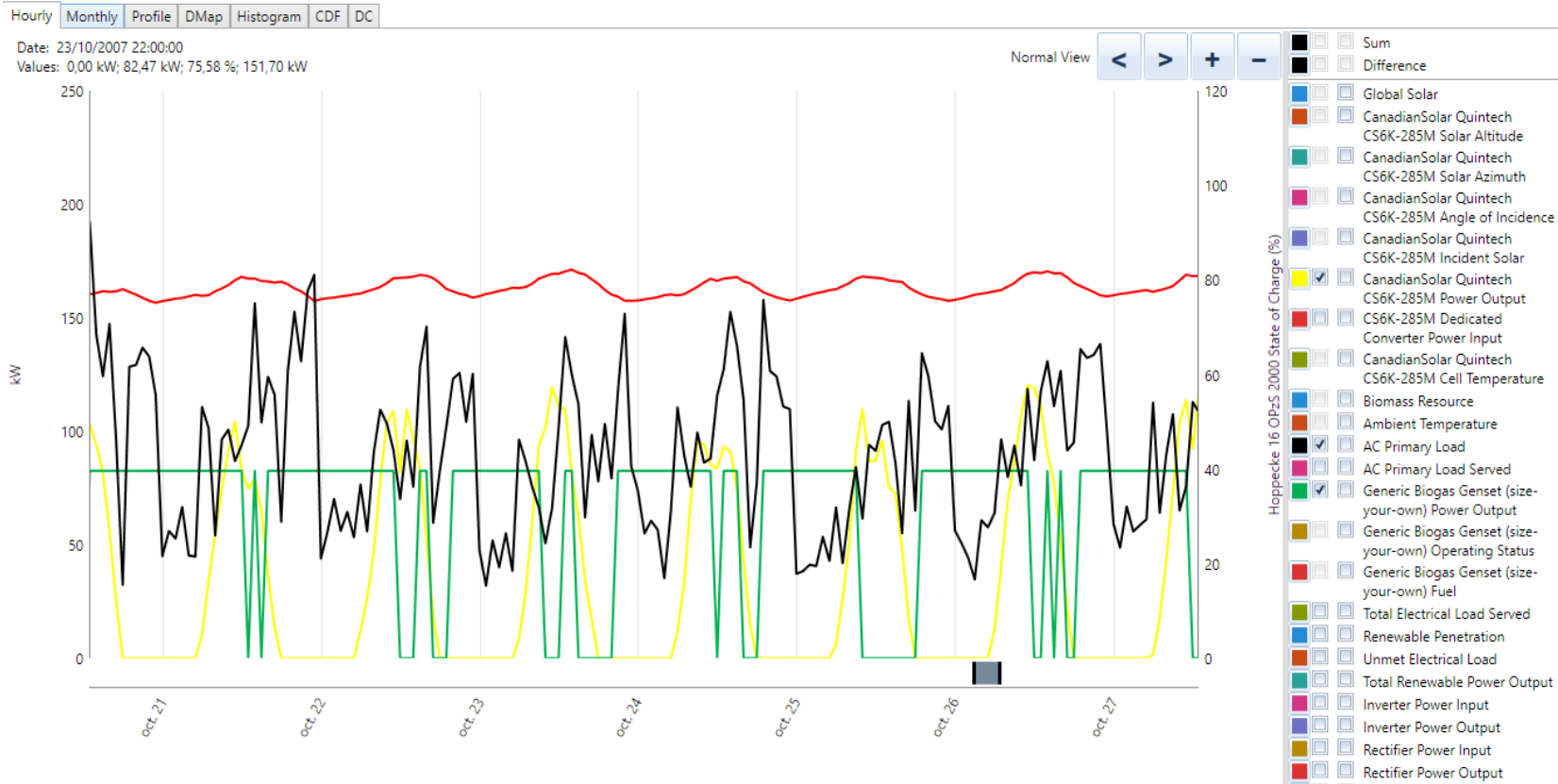
By Component  
 By Cost Type



Component	Capital (€)	Replacement (€)	O&M (€)	Fuel (€)	Salvage (€)	Total (€)
CanadianSolar Quintech CS6K-285M	67 200,00 €	21 423,85 €	20 684,03 €	0,00 €	-12 073,72 €	97 234,16 €
CS6K-285M Dedicated Converter	58 800,00 €	24 947,30 €	18 098,52 €	0,00 €	-4 695,33 €	97 150,49 €
Generic Biogas Genset (size-your-own)	300 000,00 €	564 011,52 €	1 171 770,80 €	240 486,96 €	-20 485,32 €	2 255 783,95 €
Hoppecke 16 OPzS 2000	883 200,00 €	257 086,25 €	1 241 041,59 €	0,00 €	-144 884,59 €	2 236 443,25 €
System Converter	130 000,00 €	44 124,48 €	168 057,72 €	0,00 €	-8 304,67 €	333 877,52 €
System	1 439 200,00 €	911 593,40 €	2 619 652,65 €	240 486,96 €	-190 443,63 €	5 020 489,38 €

1  
3

# RÉSULTATS ET DISCUSSIONS



Jaune : Puissance délivrée par les modules Canadian Quintech C56k  
Vert : Puissance délivrée par le générateur à biogaz  
Noir : Puissance à fournir pour les charges  
Rouge : L'état de charge des batteries Hoppecke 160PZS2000

# RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

## La contribution des deux sources

### System Architecture:

CanadianSolar Quintech CS6K-285M (160 kW/140 kW) HOMER Cycle Charging  
 Generic Biogas Genset (size-your-own) (100 kW)  
 Hoppecke 16 OPzS 2000 (80,0 strings)  
 System Converter (130 kW)

Total NPC:	5 019 898,00 €
Levelized COE:	0,4731 €
Operating Cost:	276 982,70 €

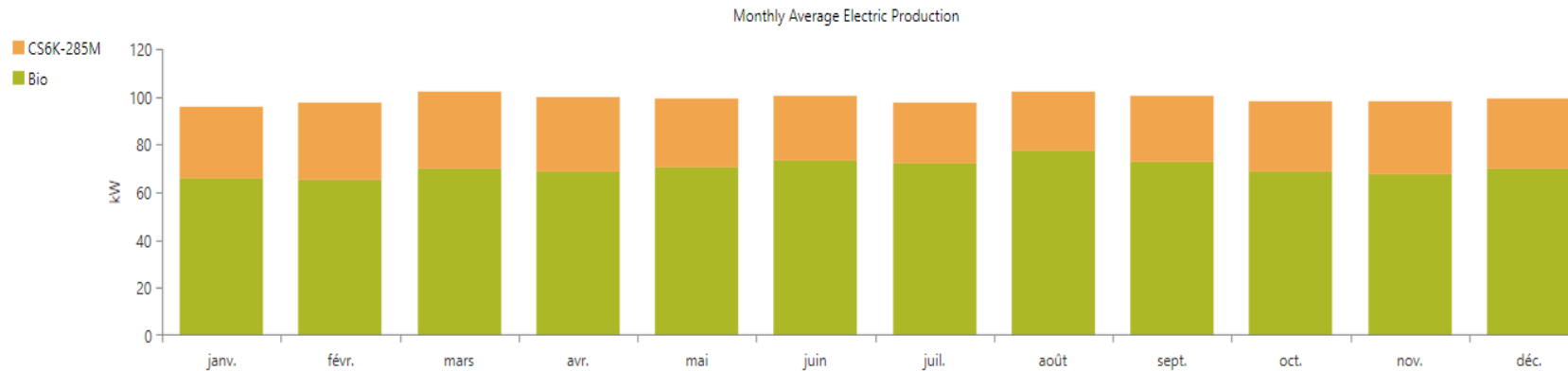
Cost Summary Cash Flow Compare Economics **Electrical** Fuel Summary Generic Biogas Genset (size-your-own) Renewable Penetration Hoppecke 16 OPzS 2000 CanadianSolar Quintech CS6K-285M System Converter Emissions

Production	kWh/yr	%
CanadianSolar Quintech CS6K-285M	255 322	29,4
Generic Biogas Genset (size-your-own)	613 875	70,6
Total	869 197	100

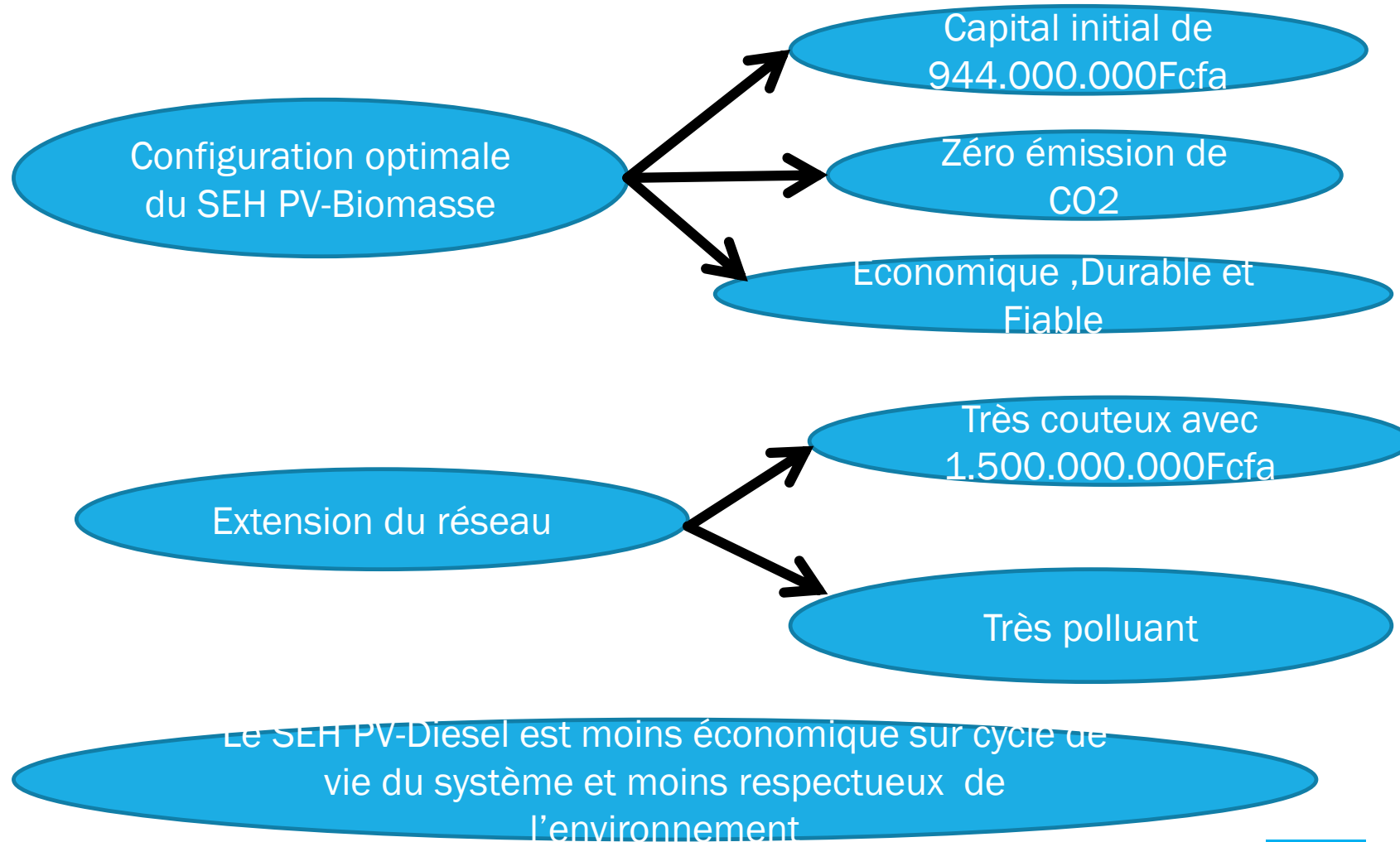
Consumption	kWh/yr	%
AC Primary Load	820 789	100
DC Primary Load	0	0
Total	820 789	100

Quantity	kWh/yr	%
Excess Electricity	0	0
Unmet Electric Load	95,5	0,0116
Capacity Shortage	682	0,0830

Quantity	Value
Renewable Fraction	100
Max. Renew. Penetration	410



## CONCLUSION ET PERSPECTIVES



## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La commune rurale de Kolokani située à plus 90km du réseau national ;avec 7164foyers est largement couverte en énergie durable et fiable par un système d'énergie hybride PV-Biomasse avec stockage d'énergie.

un générateur à  
biogaz de 100kW

un champ PV de  
160kWc

un parc de 1920  
batteries et des  
convertisseurs

un capital initial de  
944.000.000Fcfa

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Pour les études futures;  
Un système d'énergie hybride PV-Biomasse en  
utilisant les syngaz issus de la pyrogazéification des  
ordures et les résidus agricoles

Pour la valorisation des  
ordures et déchets  
agricoles

## REFERENCES

- [1] Rohit Sen, Subhes. Bhattacharryya. Off grid. electricity generation with renewable energy technologies in India. An application of HOMER. Renewable Energy 62 (2014) 388-398.
- [2] W.S Ho. Hashim, J, S. Lim. Integrated biomass and Solar town concept for a smart eco village in Iskandar Malaysia (I M), Renewable Energy, 69 (2014) 190-201.
- [3] Sachchidanand, Devendra Vashist Techno- Economic Analys of Hybrid Solar Biomass System for Rural electrification IRJET Volume 3, Issue 06, June 2016.
- [4] Tsrinivas, B V Reddy. Hybrid Solar-Biomass power plant without energy storage. Case studies in thermal engineering, 2 (2014) 75-81.
- [5] Ali Heydari, Alireza Askarzadeh optimization of a biomass-based photovoltaic power supply probability concept, Applied Energy, 165 (2016) 601-611.
- [6] Faten Hosney Fahmy, Hanaa Mohamed Farghally, Ninet Mohamed Ahmed Photovoltaic-Biomass Gasifier hybrid Energy system for poultry House, IJMERE vol4 ISS.8 (2014) pp. no 51-62.
- [7] J.K. Maherch. C. Agarwal, Mukesh. Sahi & all. Canadian Journal on Electrical and Electronics Engineering, Vol3, No 7, sep 2012.
- [8] AMADER : Agence Malienne pour le Développement de l'Energie Domestique et l'Electrification Rurale. Prospectus d'Investissement de l'Energie pour Tous (SEfor All) du Mali. <https://www.se4all-africa.org> .consulté le 12 /07/2020.
- [11] Rapport de diagnostic multisectoriel région Koulikoro/DRPC. Rapport du 23/04/2013. <https://www.humanitarianresponse.info> consulté le 20/07/2020
- [12] D. Conolly, H. Lund, B-V Mathiesen, M Leadhy. A renewable energy into various energy systems, Applied Energy (2009).
- [13] ABERME/MIERT : Agence Béninoise d'Electrification Rurale et de Maitrise d'Energie. <https://www.reseau-cicle.org>. consulté le 12/06 /2020.



**Merci de votre attention!**



**PRÉSENTATION NON  
PUBLIÉE DANS LES ACTES MSAS 2021  
BESOIN DU RESUME ET REFERENCES**



$\chi$  Physique  
 $\chi$  Analytique  
Paris Centre  
ED 388



# Etude DFT de nano-architectures de molécules fonctionnelles sur des substrats d'or et de graphite.

Seydou SALL

**Sous la direction de:**

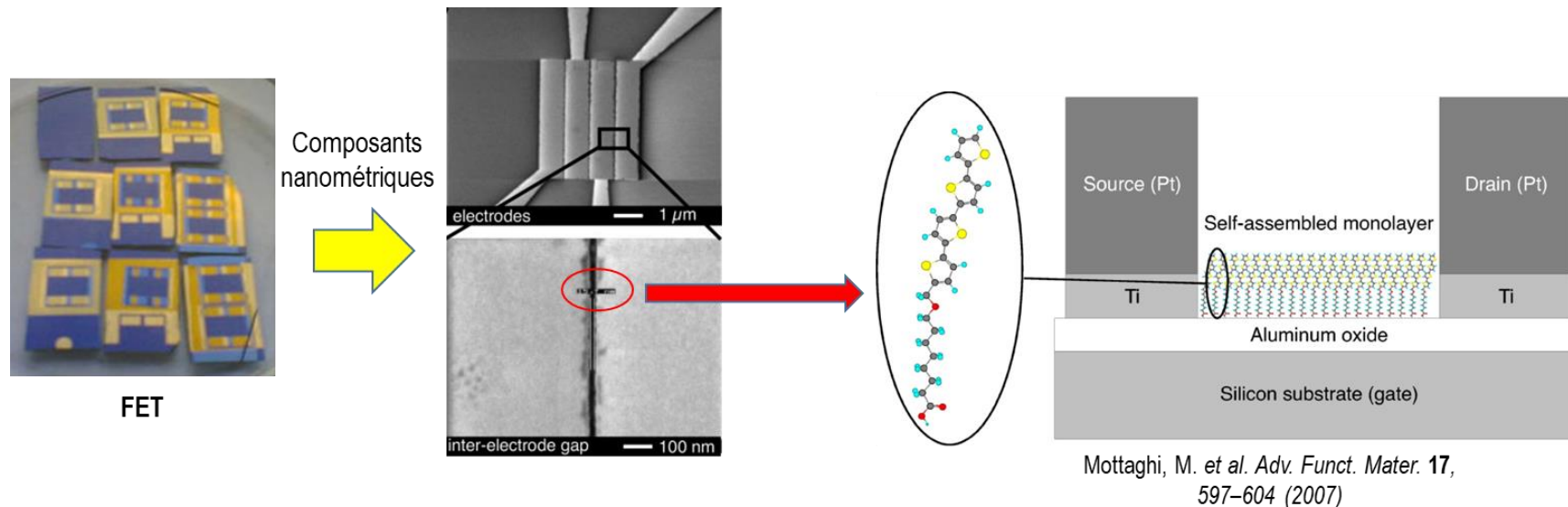
Mahamadou SEYDOU (Université de Paris)

Moussa DIAWARA (Université de Bamako)

# INTRODUCTION

## □ Intérêt des nanostructures fonctionnelles :

- Réduction de la taille et amélioration des performances
- Propriétés spécifiques (surfaces intelligentes)



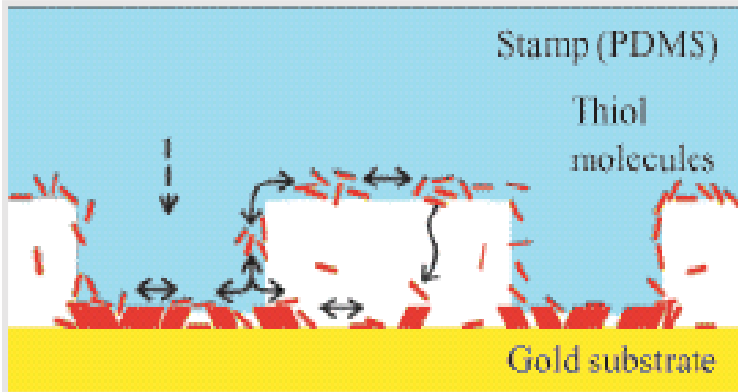
## □ Contrôle de la disposition spatiale:

- Comportement identique pour chaque domaine
- Application à l'échelle macroscopique
- Adressabilité (mémoire, stockage d'information)

# INTRODUCTION

## ❑ Voie « top-down »:

Lithographie molle  
Où on utilise la matière molle pour imprimer un tampon dont on se sert pour reproduire le motif

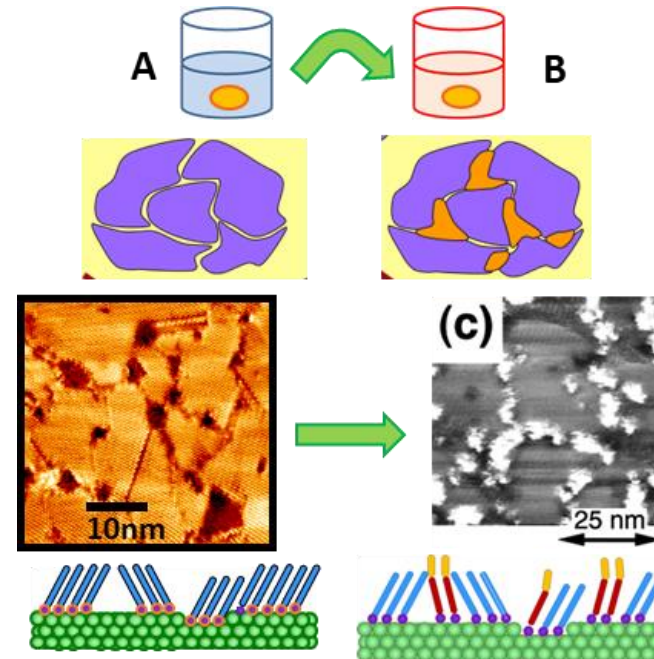


Whitesides, G. et al. *Nanotechnology* 7, 452 (1996)

Dispersion en taille	✓
Contrôle de la répartition spatiale	✓
Étendue	Macroscopique
Résolution limite	✗ (50 nm)

## ❑ Voie « bottom-up »:

Auto-échange



Dispersion en taille	✗
Contrôle de la répartition spatiale	✗
Étendue	Macroscopique
Résolution limite	✓ (0,5 nm)

# INTRODUCTION

## □ Approche Bottom-up par organisation supramoléculaire des molécules fonctionnelles planes, conjuguées

**Liaisons Hydrogène**



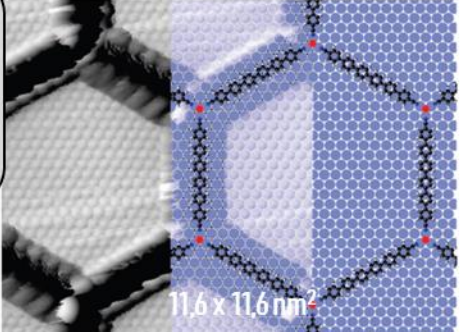
- Facilité d'élaboration
- Taux de couverture élevé
- Stabilité/robustesse

Concepts 3D : J.-M. Lehn

*Prog. Polym. Sci.* **30**, 814–831 (2005)

Réseaux  
supramoléculaires  
poreux 2D

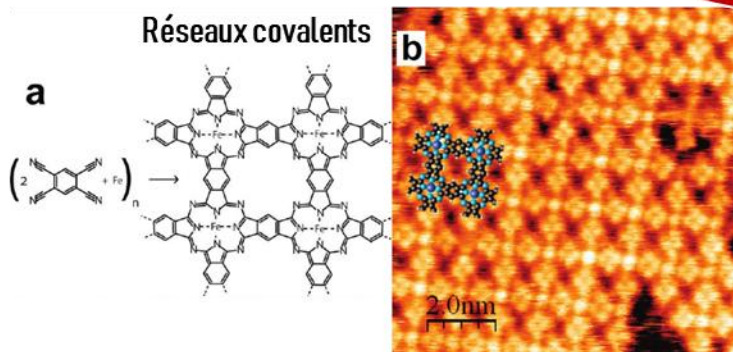
**Chimie de coordination**



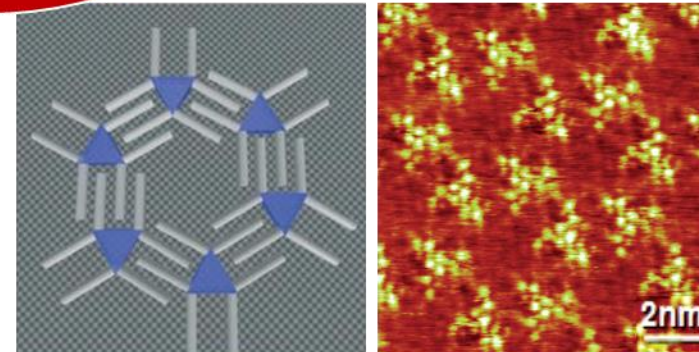
11,6 x 11,6 nm<sup>2</sup>

Kühne, D. *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.* **131**, 3881 (2009)

van der Waals



Abel, M. *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.* **133**, 1203–1205 (2011)



Schull, G. *et al.*, *Adv. Mater.* **18**, 2954–2957 (2006)

Furukawa, S. *et al.*, *Angew. Chem.* **119**, 2889–2892 (2007)

# INTRODUCTION

Pour former ces réseaux, les molécules sont dissoutes en solution puis déposées en surface où le solvant est évaporé. Le mécanisme de formation est mal connue.

- Paramètres qui guident la formation
- Stabilité des phases
- Effet de la solution
- Effet de la surface



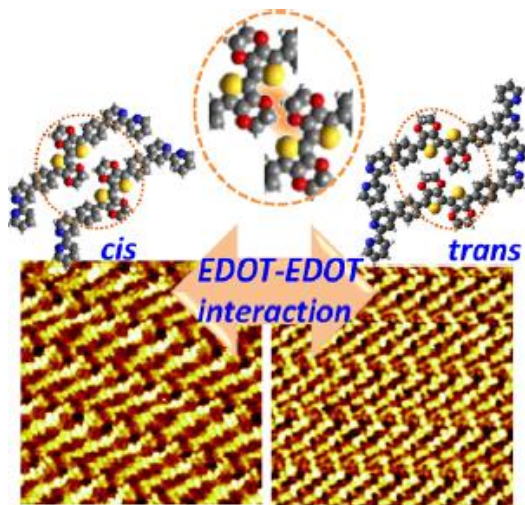
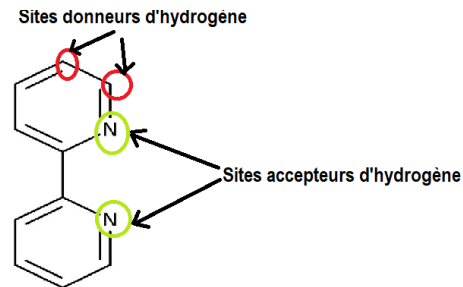
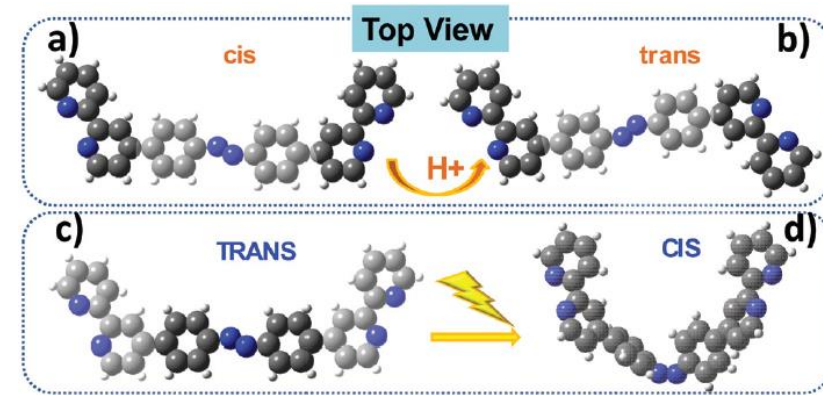
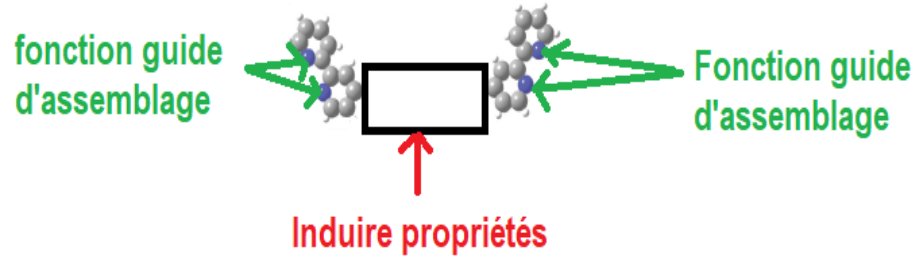
Utiliser les outils de chimie quantique et mesures expérimentales de microscopie à effet Tunnel et de spectroscopie infrarouge



**Etudes sur les surfaces d'or Au(111) et de graphite**

# 1ère année: Systèmes bi-fonctionnels

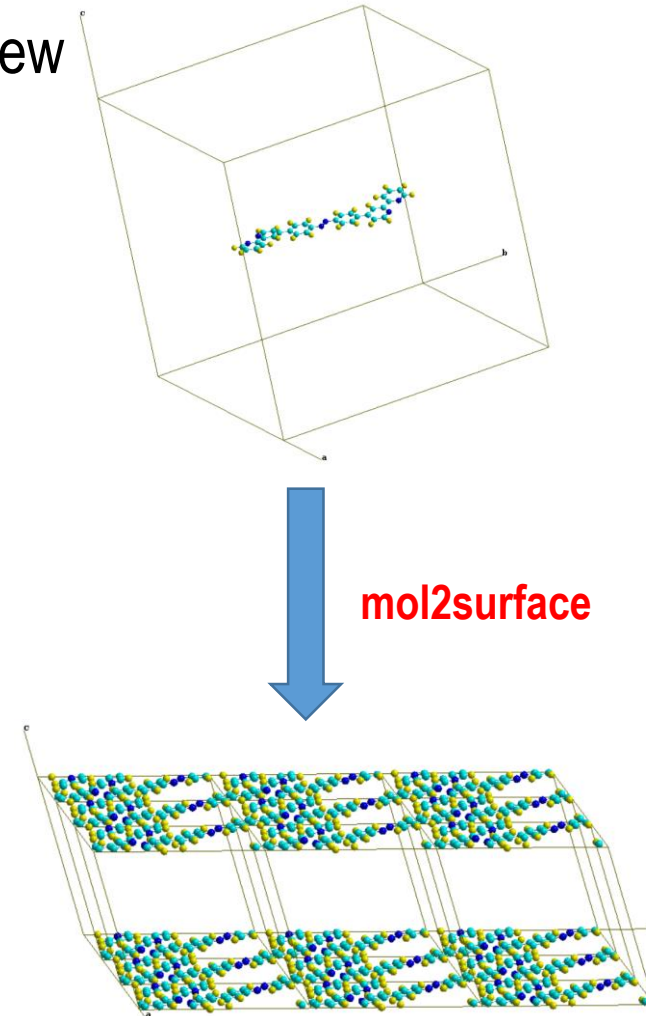
- Etudier l'assemblage de molécules photo-commutables sur la surface de graphène



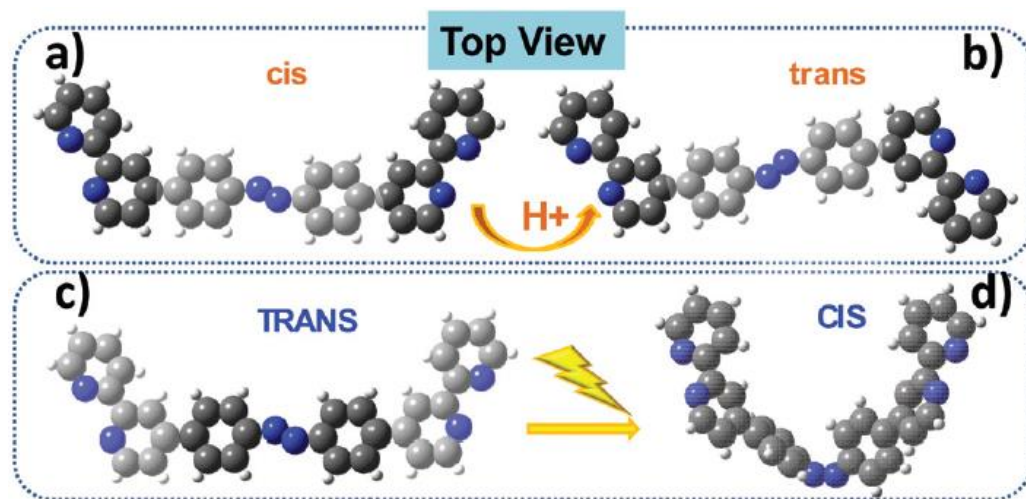
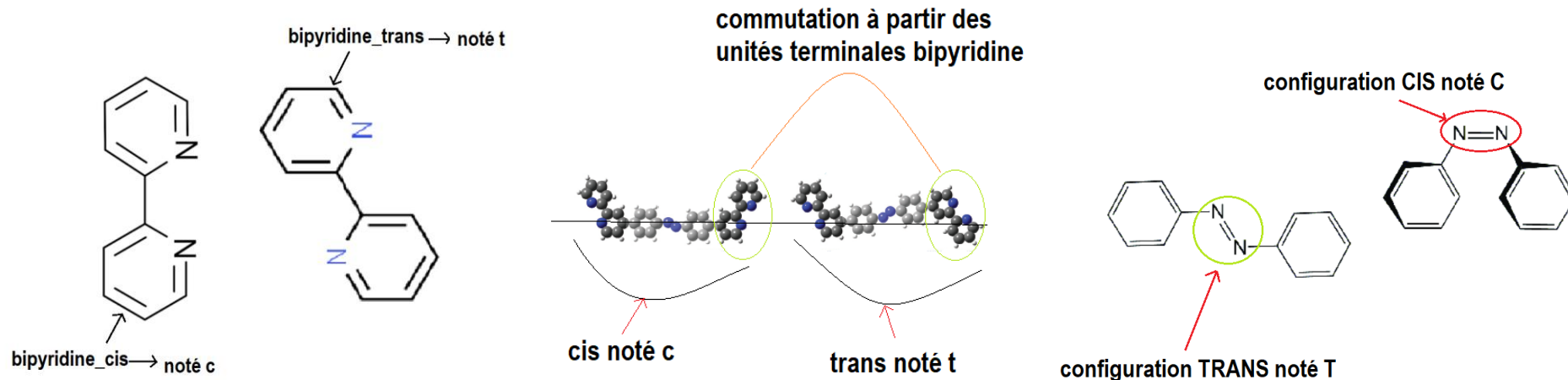
- Etudier l'assemblage du BiEDOT, une molécule riche en électrons

# Méthodes et méthodologies

- Construction et visualisation: Avogadro/Modelview
- Construction réseaux 2D: mol2surface
- Optimisation: Approche périodique - DFT/PBE/PAW – VASP
- Molécules isolées: taille du vide (30Angstroms)
- Réseaux 2D: taille du vide suivant (Oz) (30Angstroms)



# Espace conformationnel et nomenclature de bpy-Azo-bpy

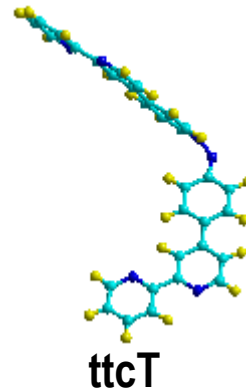
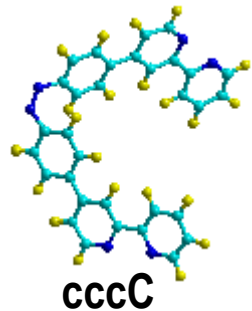
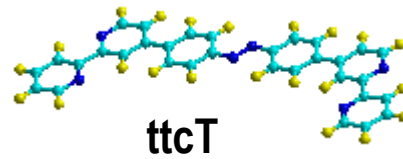
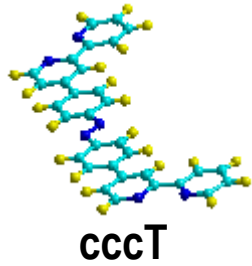
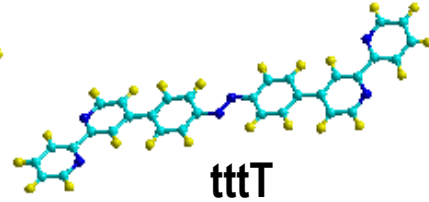
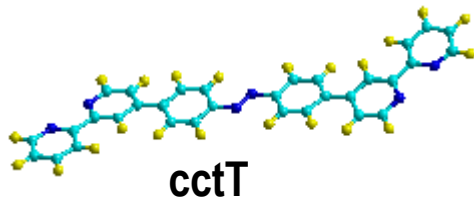


- cc\_trans\_TRANS (cctT)
- tt\_trans\_TRANS (tttT)
- cc\_cis\_TRANS (cccT)
- tt\_cis\_TRANS (ttcT)
- tt\_cis\_CIS (ttcT)
- cc\_cis\_CIS (cccC)

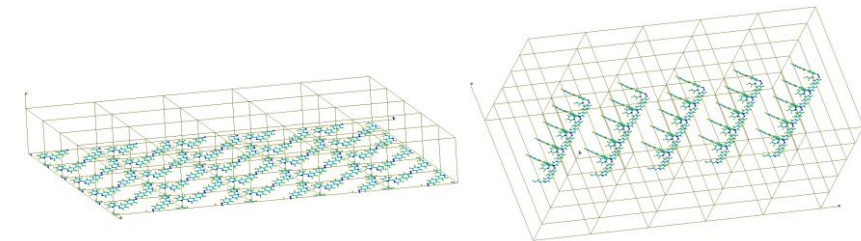
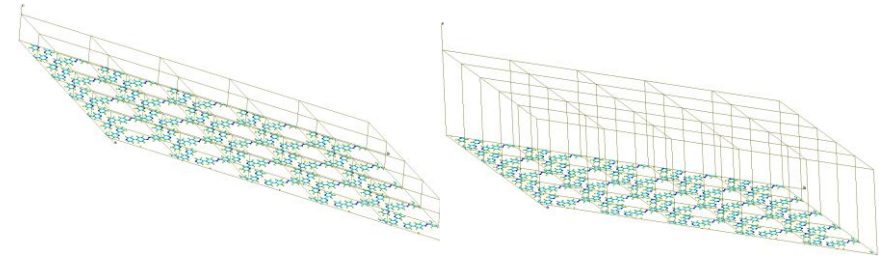
**16 configurations possibles au total**

# Les configurations étudiées et énergies de stabilisations

- Construction de 6 configurations



- Les réseaux 2D sont construits à partir des géométries optimisées des configurations

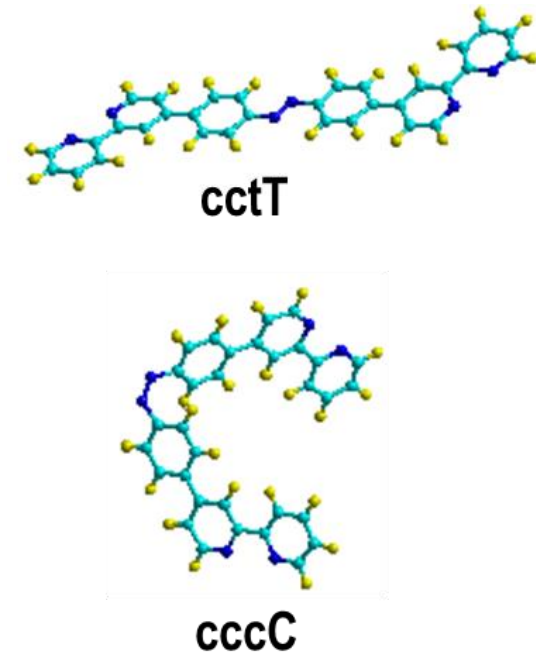
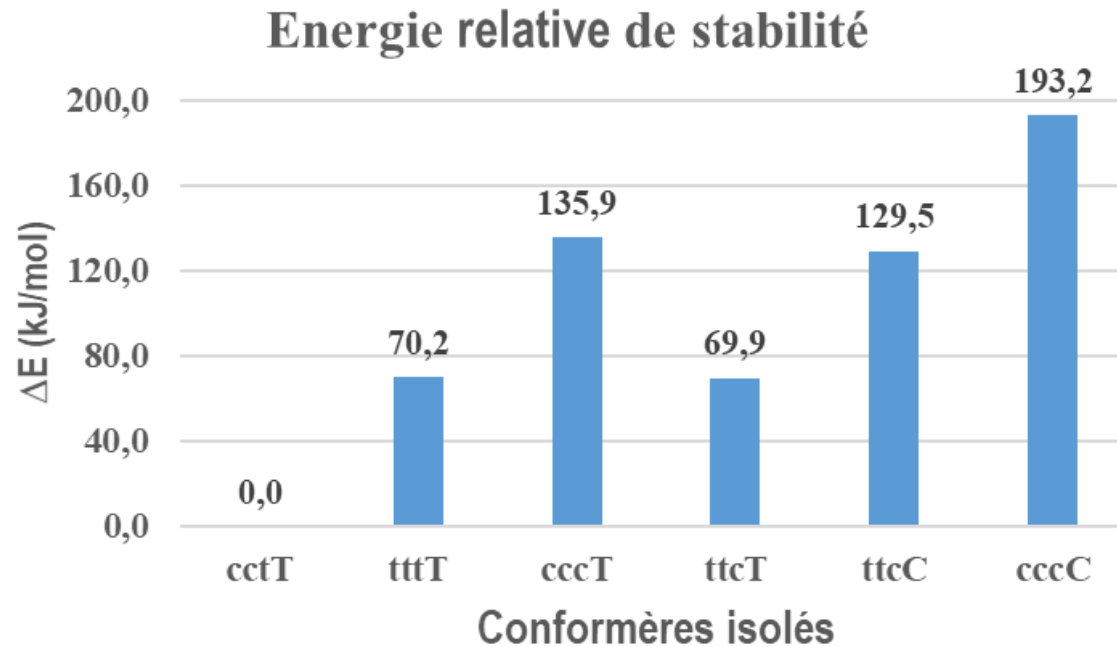


- Les configurations sont triées par leurs énergies relatives,

$$\Delta E_r = E(\text{conf}) - E(\text{conf}_0)$$

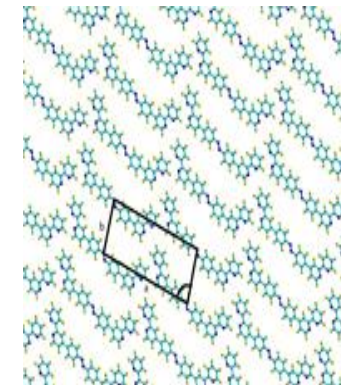
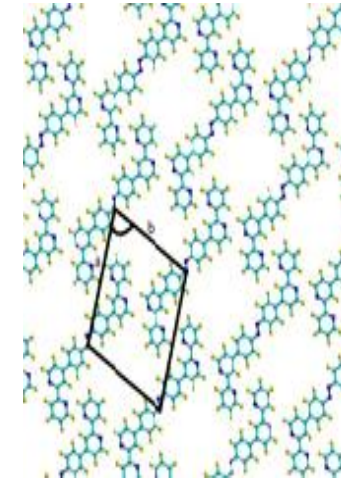
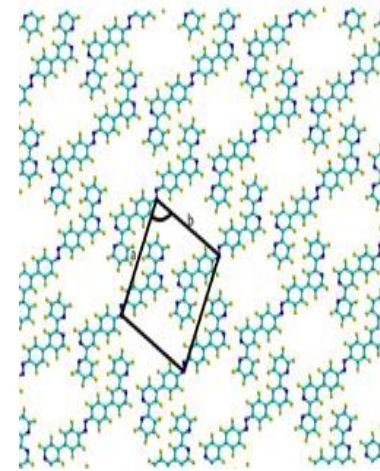
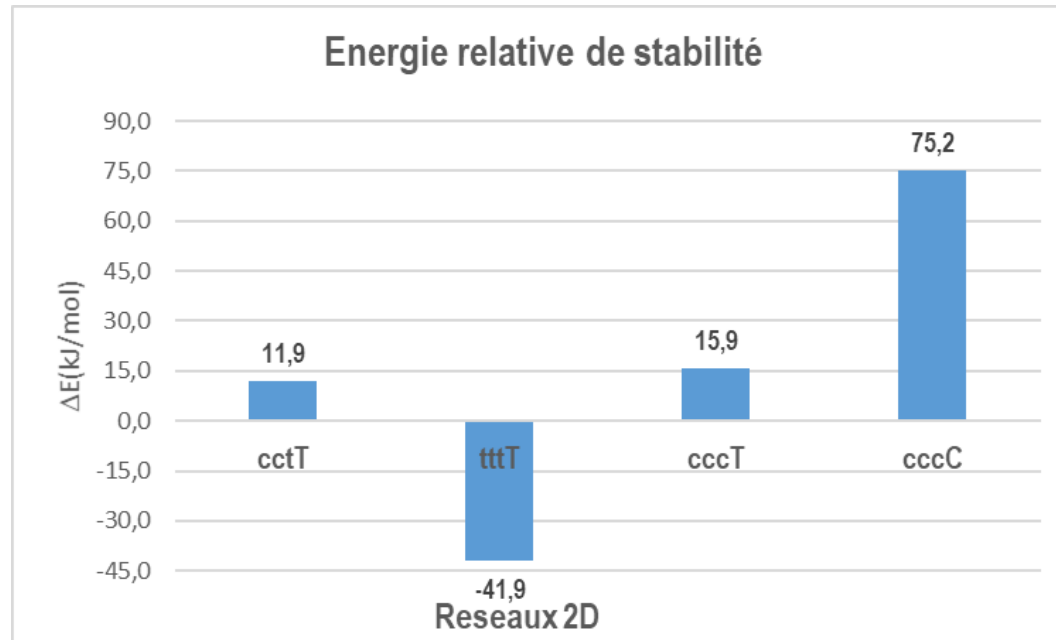
- L'énergie de stabilité du réseau est calculée à partir de la formule,  
$$\Delta E_s = E(\text{réseau}) - E(\text{conf}_0)$$

# Résultats et discussions: Stabilisation des Molécules isolées



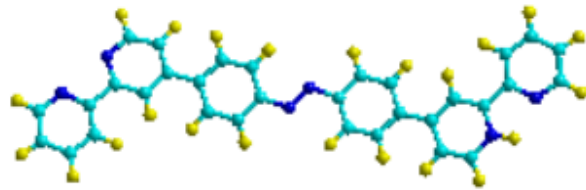
- Le conformère isolé le plus stable est le cc\_trans\_TRANS
- Le moins stable est le cc\_cis\_CIS
- Les conformères TRANS sont plans et plus stable que les CIS
- Les conformères CIS sont non plans

# Résultats et discussions: des réseaux 2D

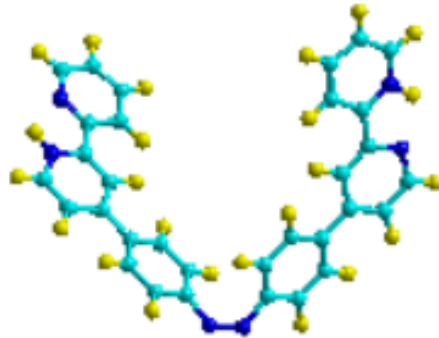


- La formation de réseau 2D stabilise certaines configurations
- Le réseau 2D du tt\_trans\_TRANS est le plus stable (-41.9 kJ/mol)
- Les conformères cc\_cis\_TRANS et cc\_cis\_CIS sont moins stables que tttT mais plus stable que leur état isolé
- L'ensemble des réseaux 2D de ces conformères sont des parallélogrammes de paramètres de maille 1.4nm, 2.9nm et 36° pour le cctT; 1.4nm, 3.0nm et 37° pour le tttT et 1.0nm, 2.7nm et 72° pour le cccT

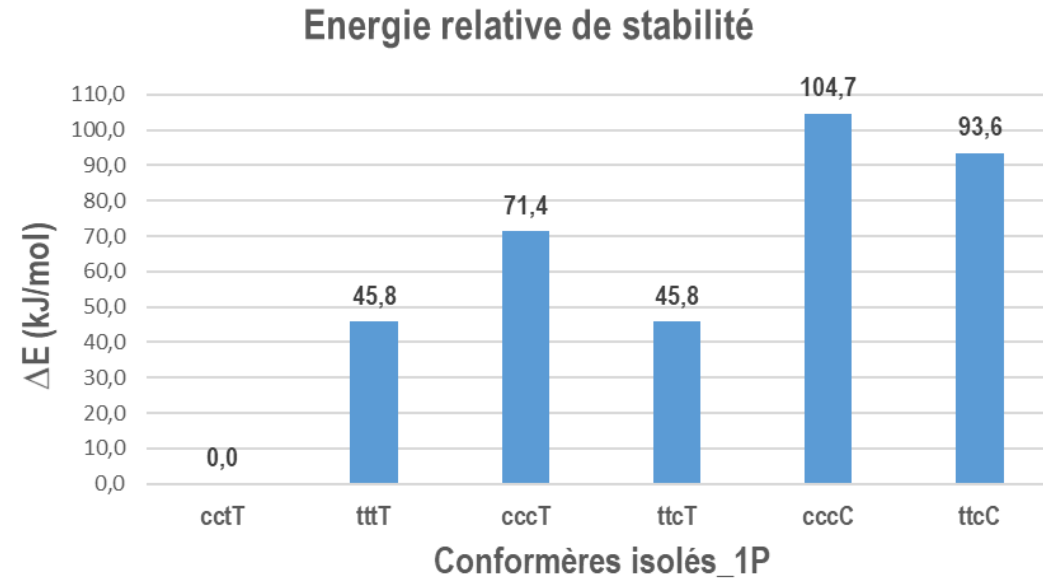
# Résultats et discussions: Protonation des molécules isolées (1P)



cctT(1P)

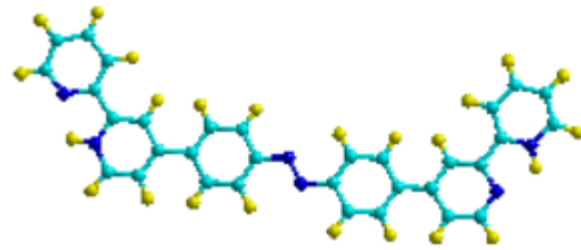


cccC(1P)

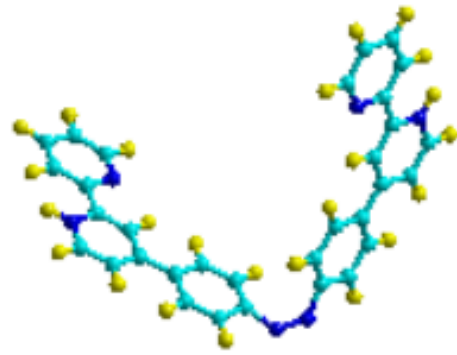


- Le conformère isolé cc\_trans\_TRANS est le plus stable
- Le moins stable est le cc\_cis\_CIS

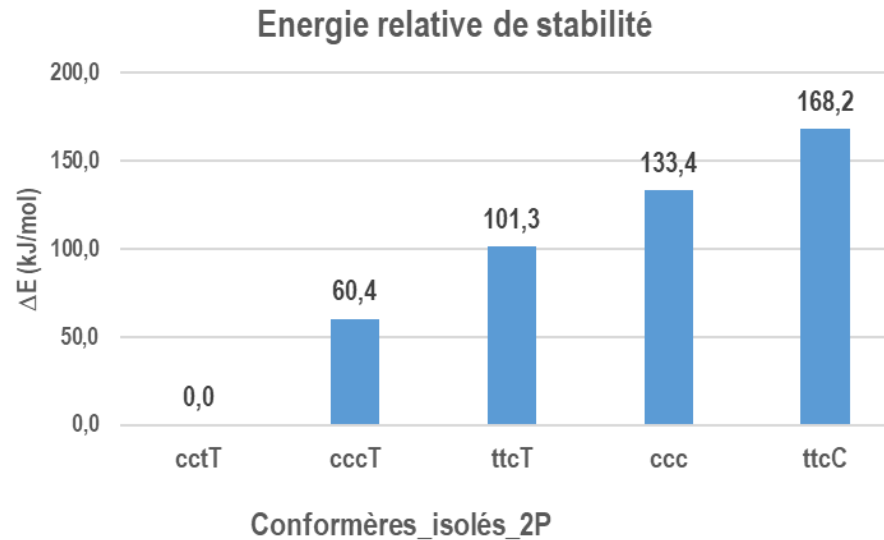
# Résultats et discussions: Protonation des molécules isolées (2P)



cccT(2P)

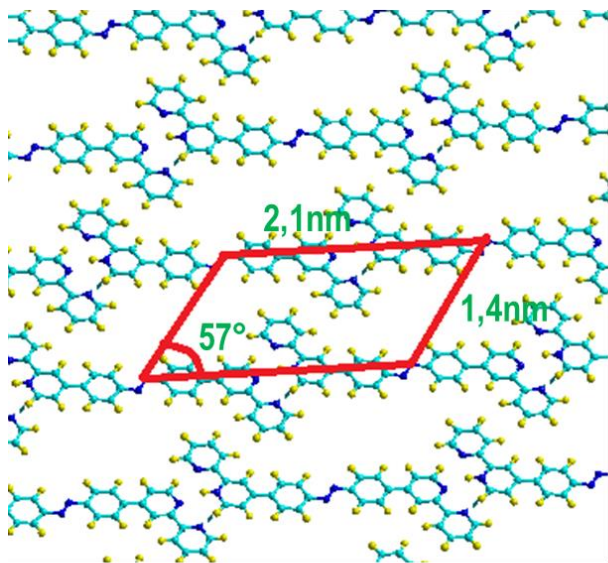


ttcC(2P)

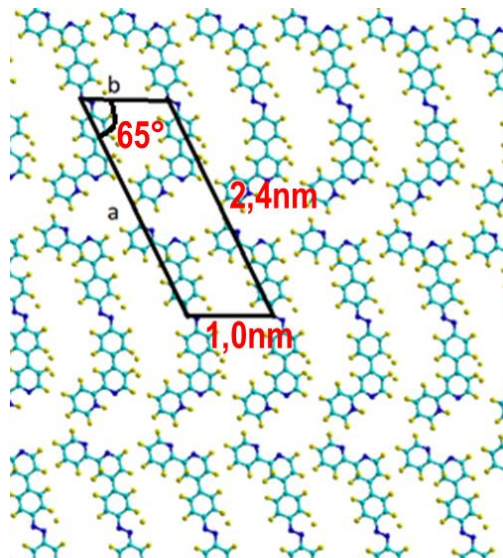


- Le cc\_trans\_TRANS reste toujours le plus stable
- Le moins stable est le tt\_cis\_CIS

# Résultats et discussions: Protonation des réseaux 2D



cctT(1P)

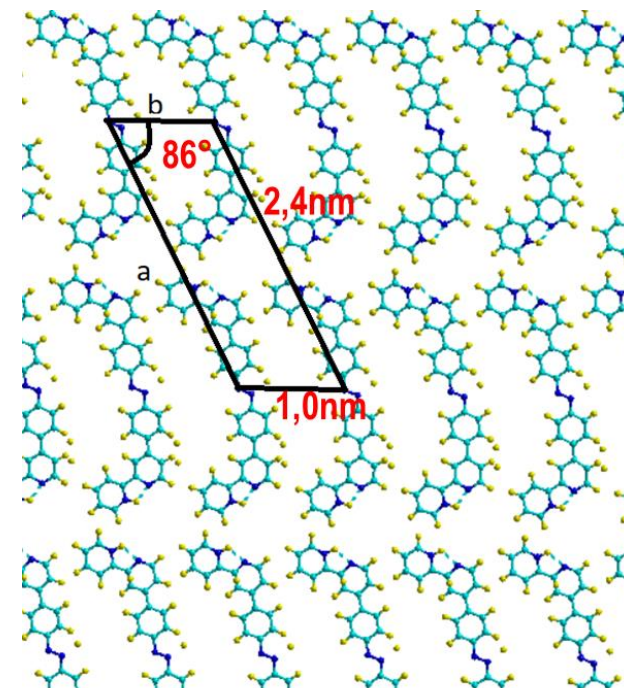


cccT(1P)

- La simple protonation stabilise les réseaux 2D
- Le cctT est plus stable que le cccT
- La protonation ne modifie pas significativement les paramètres de maille du cccT mis à part l'angle

Bpy-Azo-Bpy	$\Delta E(\text{kJ/mol})$
réseau_cc_trans_TRANS_1P	-121,6
réseau_cc_cis_TRANS_1P	-64,7
reseau_cc_cis_TRANS_2P	-28,8

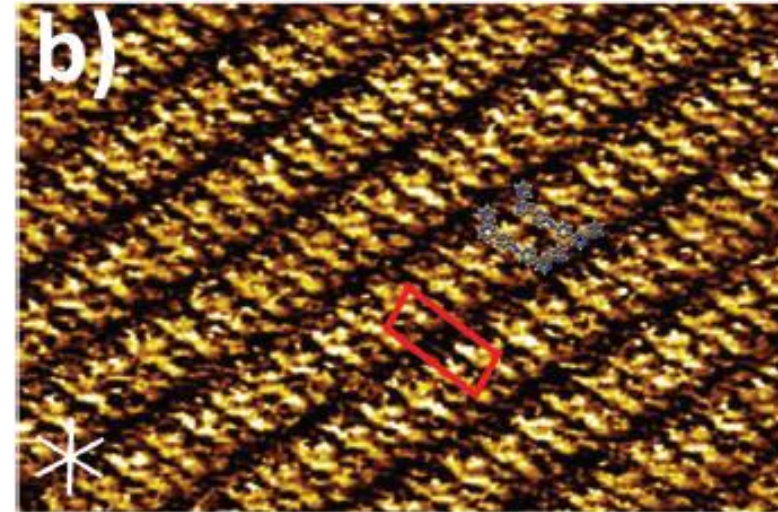
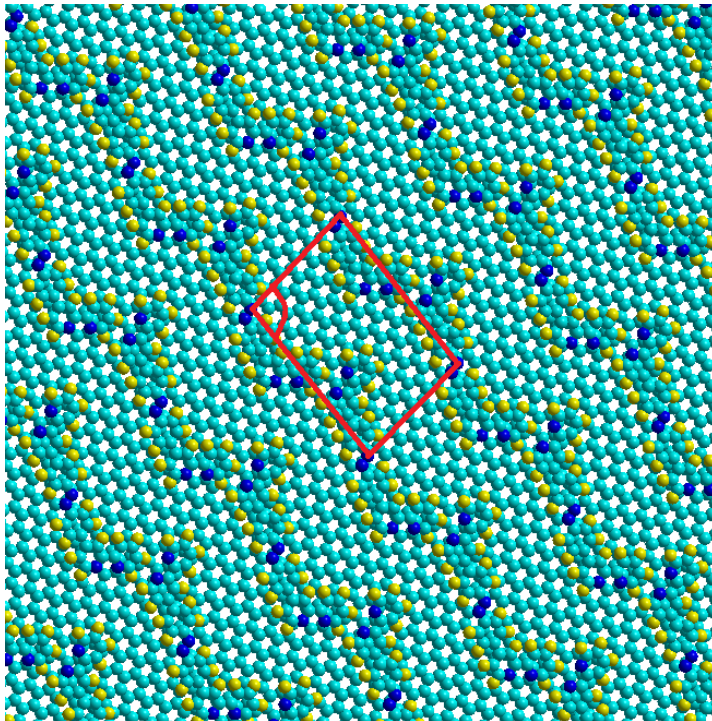
- La double protonation défavorise la stabilisation des réseaux
- Constantes de maille du cctT (1P) 2.1nm, 1.4nm et un angle de 57°



cccT (2P)

# Résultats et discussions: Comparaison avec l'expérience

- Maille élémentaire est un parallélogramme de constantes de maille 3.5nm, 1.2nm et un angle de 80°.



- Constantes de maille 2.4nm, 1.5nm et un angle de 93°
- L'énergie d'adsorption du réseau 2D du cccT sur la surface du graphène est trouvée égale à -3.4eV
- Ces résultats sont en accord avec les résultats expérimentaux.

# Conclusion et perspectives

Ces calculs d'optimisation mettent en évidence ces quelques propriétés du ligand bpy-Azo-bpy, à savoir que:

- Le conformère isolé le plus stable est le cc\_trans\_TRANS
- Les conformères TRANS sont plans et plus stables que les conformères CIS
- Les conformères CIS ont un débordement plan
- Le réseau 2D du tt\_trans\_TRANS est le plus stable

# Conclusion et perspectives

- Le conformère isolé protoné le plus stable est le cc\_trans\_TRANS
- La simple protonation favorise l'énergie de stabilité des réseaux 2D
- La double protonation diminue l'énergie de stabilité des réseaux 2D
- Le dépôt sur surface de graphène du cc\_cis\_TRANS stabilise la molécule
- L'adsorption est donc exothermique et stabilise le réseau moléculaire

# Conclusion et perspectives

En perspectives,

- L'interaction de ces réseaux avec la surface de graphène et d'or sera étudiée.
- Les images STM des différentes phases stables seront simulées et confrontées aux mesures expérimentales.
- Etude de l'assemblage du BiEDOT et le bpy-PFP-bpy.
- Etude des réseaux supramoléculaires de mélamine-NTCDI. En particulier, on s'intéressera au passage du réseau 2D au 3D.

**MERCI DE VOTRE ATTENTION!!!**

# Modélisation DFT des propriétés catalytiques de couches minces de cérine dopée utilisées comme interface dans les piles à combustibles à oxyde solide

M. Diawara<sup>a,b</sup>; B. Diawara<sup>b</sup>, M Seydou<sup>c</sup>

<sup>a</sup> *Laboratoire de Centre de Calcul de Modélisation et de Simulation (CCMS) de Université des Sciences Techniques et Technologies de Bamako (USTTB)*

<sup>b</sup> *Laboratoire d'Électrochimie, Chimie des Interfaces et Modélisation pour l'Énergie, UMR CNRS 7575, Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Paris – Chimie-ParisTech, 11 rue Pierre et Marie Curie, Paris F-75231 Cedex 05, France.*

<sup>c</sup> *Laboratoire, Interface Traitements Organisation et Dynamique des Systèmes (ITODYS) de Paris7*

## Résumé:

Une double approche théorique et expérimentale est développée depuis de nombreuses années au sein de l'équipe I2E, afin de mettre au point des matériaux à base de Cérine dopée en tant que matériaux d'interface permettant d'améliorer les propriétés catalytiques des anodes des SOFC. L'approche expérimentale a été mise en œuvre pour synthétiser des nanoparticules d'oxyde de cérium pure (baguette, cube ou octaèdre) exposant respectivement les surfaces (110), (100) et (111). Les résultats obtenus ont montré que l'orientation (100) était la plus réactive, suivie de la (110), puis de la (111) la moins réactive. Sur la base de ces résultats expérimentaux, cette thèse vise à développer une approche DFT pour étudier la première étape de l'activation de l'hydrogène sur une surface pure de  $\text{CeO}_2$ , à savoir pour chaque orientation cristallographique, l'adsorption de la molécule sur la surface puis sa dissociation pour former des groupes hydroxyles : géométrie et énergie d'adsorption des états moléculaires et dissociés, chemin réactionnel conduisant de l'adsorption à la dissociation et les énergies d'activation correspondantes. Ensuite des calculs ont été effectués pour évaluer l'effet d'une série de dopants (Yttrium et Samarium) sur le mécanisme de l'activation de l'hydrogène et les énergies d'activation correspondantes.

**Mots clés :** SOFC, Cérine, dopant, hydrogène, DFT.

# *Etude DFT de la Cerine dopée utilisée dans les piles à Hydrogène (SOFC)*

**Dr Moussa DIAWARA**

**Université des Sciences Technique et Technologie de Bamako  
Faculté des Sciences et Techniques (FST),**

**Laboratoire de Centre de Calcul de Modélisation et de  
Simulation (CCMS)**

# Plan

## *Introduction*

- *Contexte*
- *Composantes et fonctionnement d'une pile*
- *Etudes expérimentales*

## *Activation de l'hydrogène sur la Cérine Pure*

- *Etats de L'Art*
- *Orientations Cristallographiques*
- *Energies d'activations des surfaces*
- *Théorie vs Expérience*

## *Activation de l'hydrogène sur la Cérine Dopée*

- *Etats de L'Art*
- *Effet du dopage par des ions trivalents*
- *Energies d'activations et Mécanismes de Dissociations*

## *Conclusions et Perspectives*

# Introduction

## Contexte

- **Les Contraintes Energétiques**

Les énergies fossiles ont des divers avantages, mais des inconvénients selon leurs couts et très polluantes sur le plan écologique.

- **Objectif :**

Diminuer leurs utilisations : pétrole, charbon, hydrocarbures...

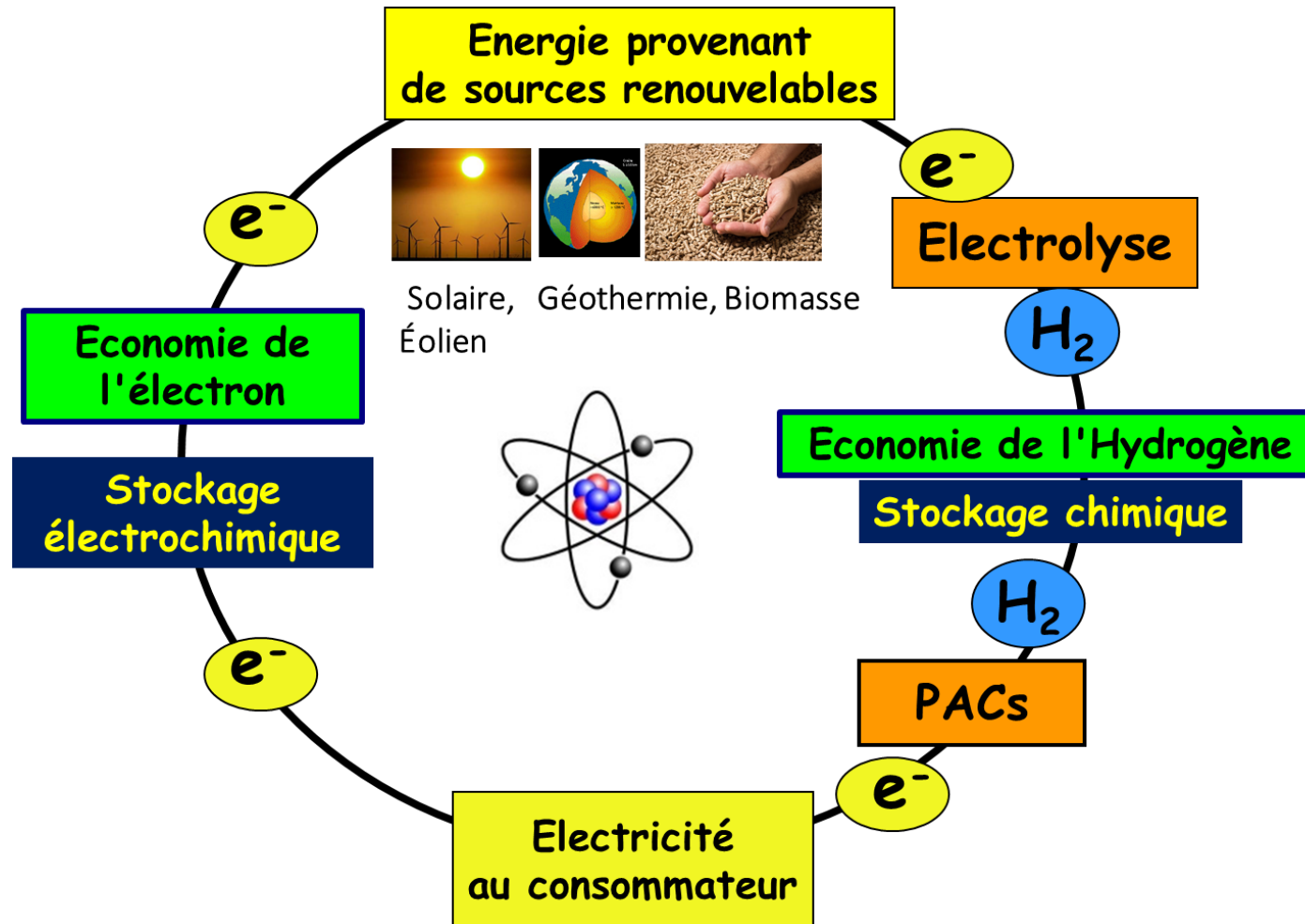
- **Les solutions envisagées :**

- Rationaliser nos consommations énergétiques
- Séquestrer les émissions de CO<sub>2</sub> provenant des combustibles fossiles
- **Développer les énergies renouvelables.**

# Introduction

## Contexte

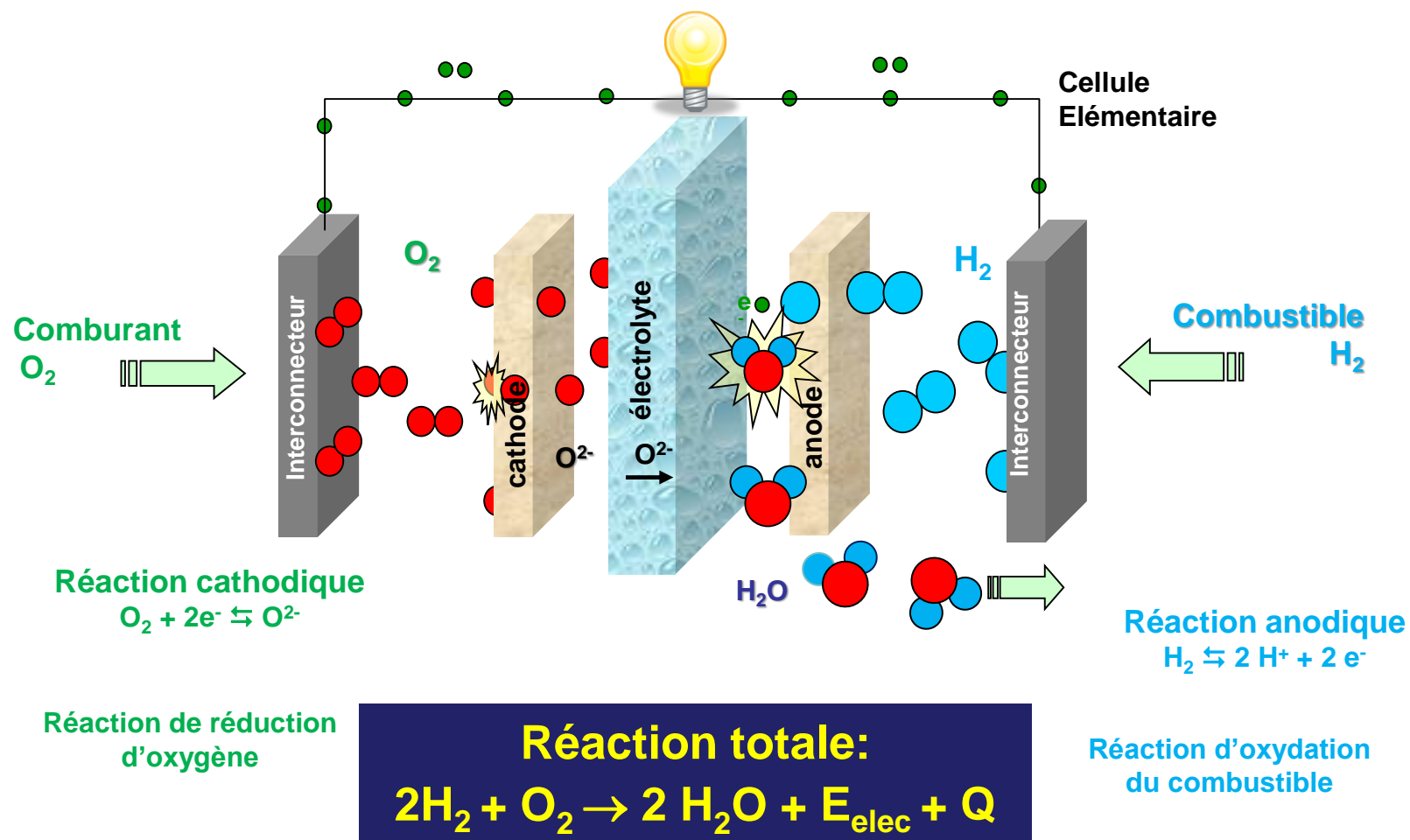
*Les énergies Renouvelables quel scénario pour demain?*



# Introduction

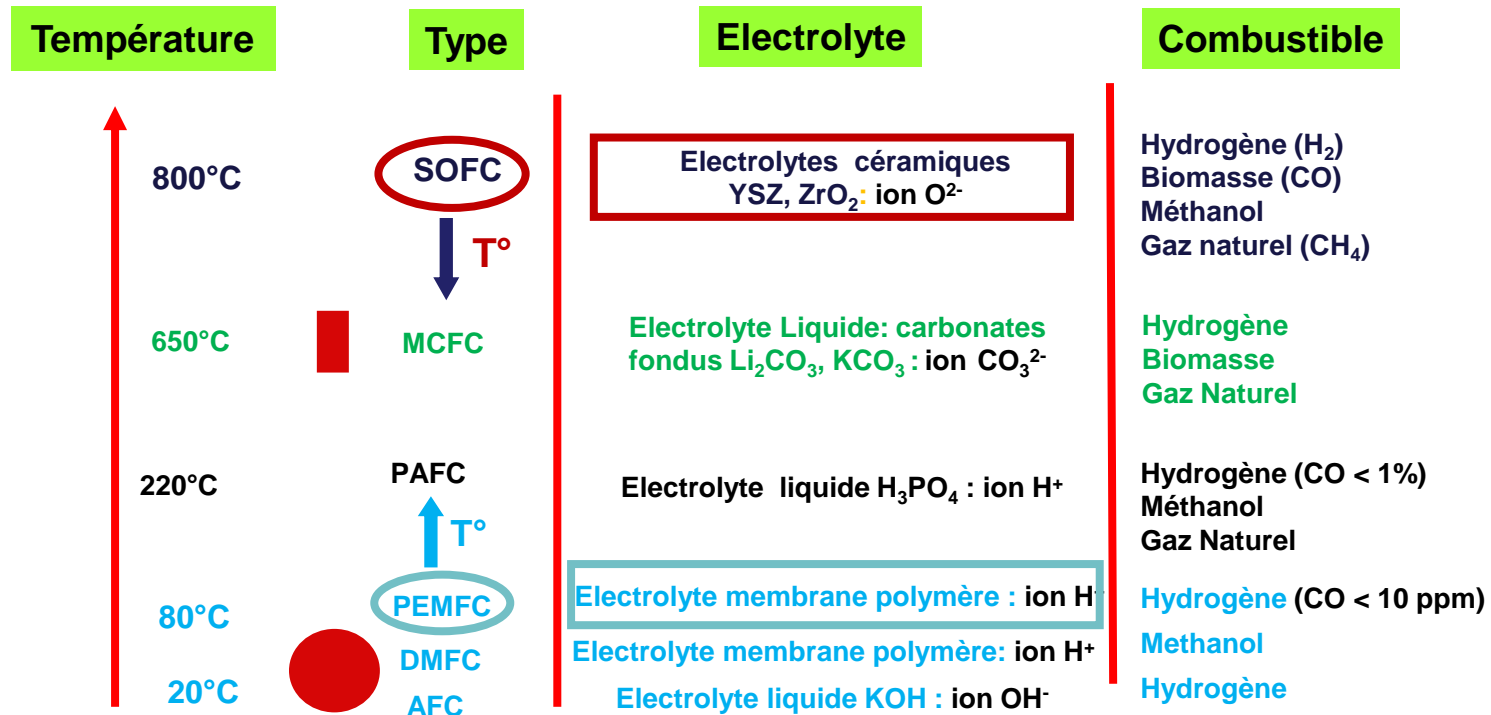
## Composantes et fonctionnement d'une pile

**PAC:** système électrochimique (énergie chimique → énergie électrique)



# Introduction

## Composantes et fonctionnement d'une pile



# Introduction

## Différents domaines d'applications



# Introduction

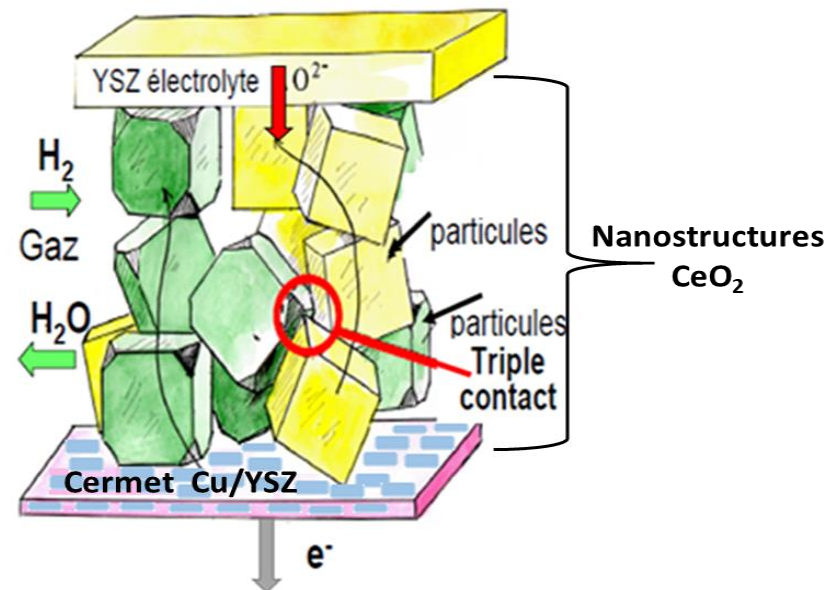
## Problèmes et les Solutions à l'Anode

### Défis

- Diminuer  $T^\circ$  de fonctionnement
- Améliorer la performance
- Réduire le coût

### Problèmes

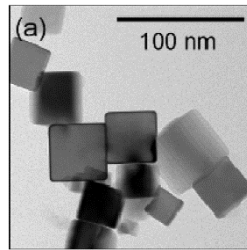
- (Ni, Co, Fe): bonne propriété catalytique  
mais actif au C et sensible au soufre.
- Cu: présente pas ces inconvénients, mais  
faible propriété catalytique



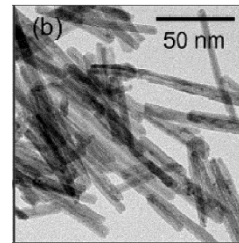
# Introduction

## Etudes Expérimentales

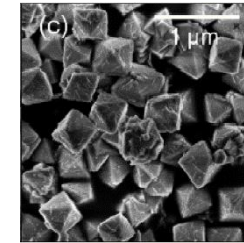
- Différentes formes Nano structurations



- Cubes (100)



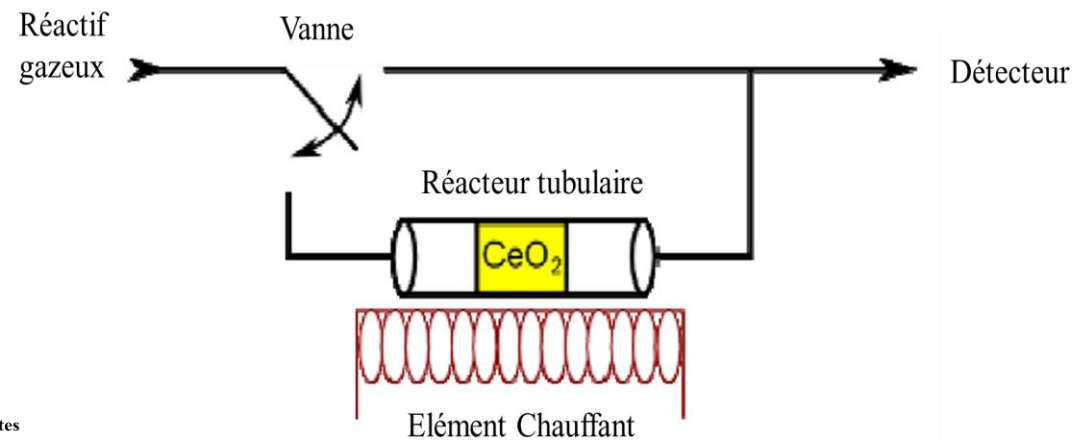
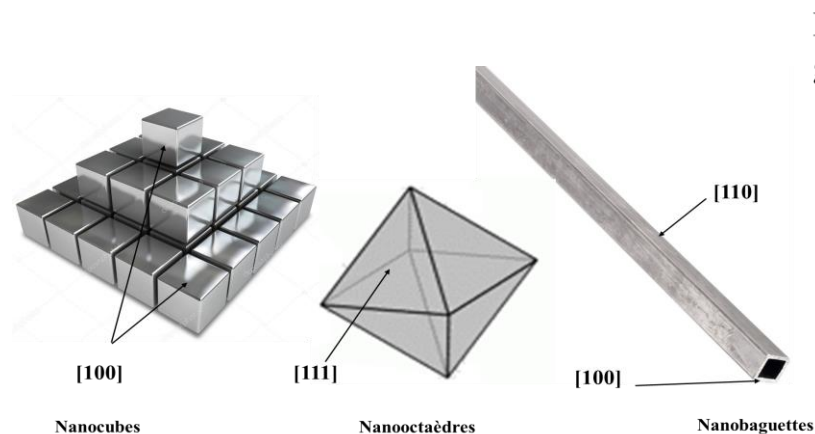
- baguettes (110) et (100)



- Octaèdre (111)

- Méthodes d'Évaluations:

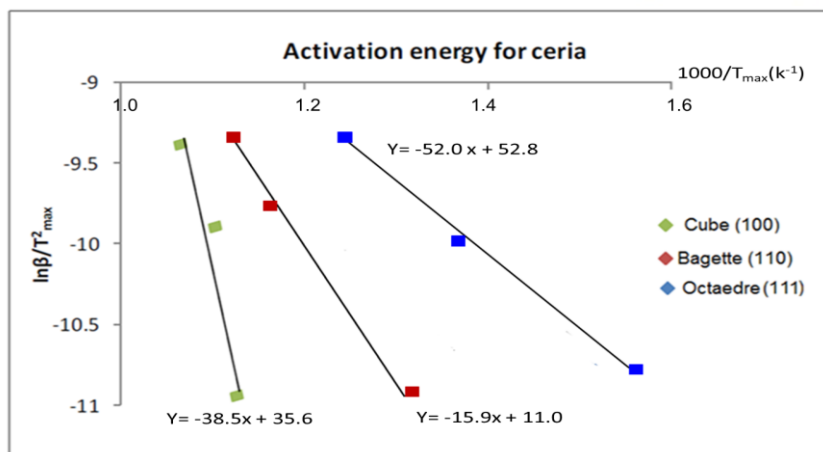
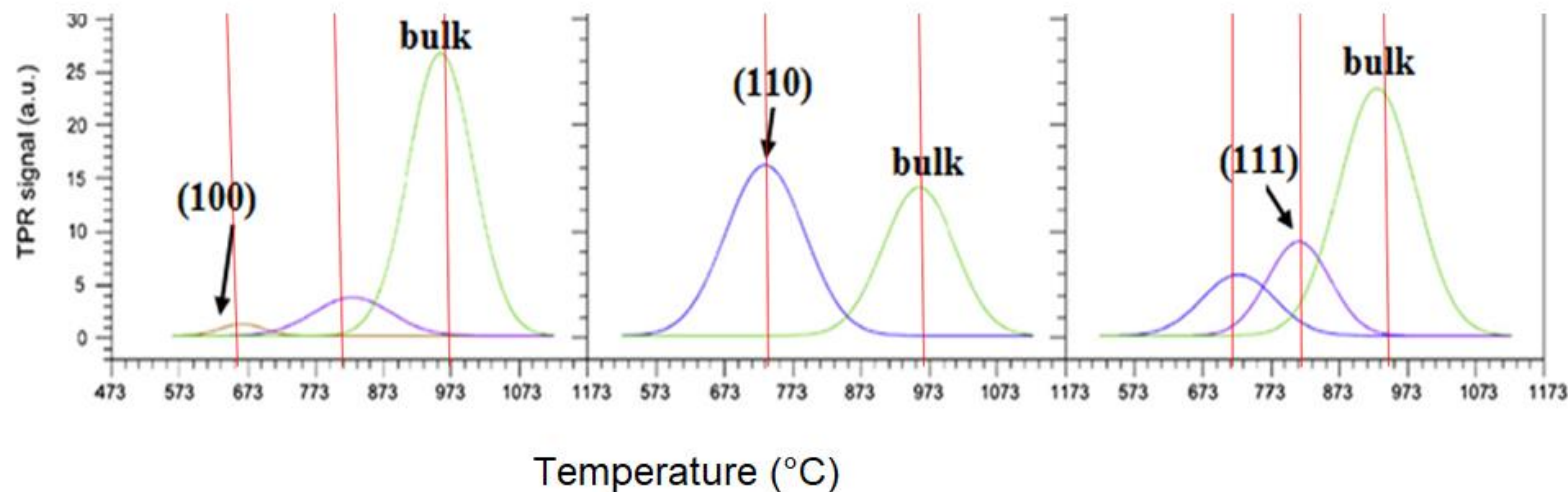
TPR (*Réduction Programmée en Température*)



# Introduction

## Etudes Expérimentales

Déconvolution des courbes TPR en Gaussiennes et en Kissinger



Orientation	Température D'activation (°C)	Activation Energy (eV)
Cube (100)	673	0.72
Baguettes(110)	720	1.35
Octaèdre (111)	820	4.43

Réactivité: (100) < (110) < (111)

# Problématiques

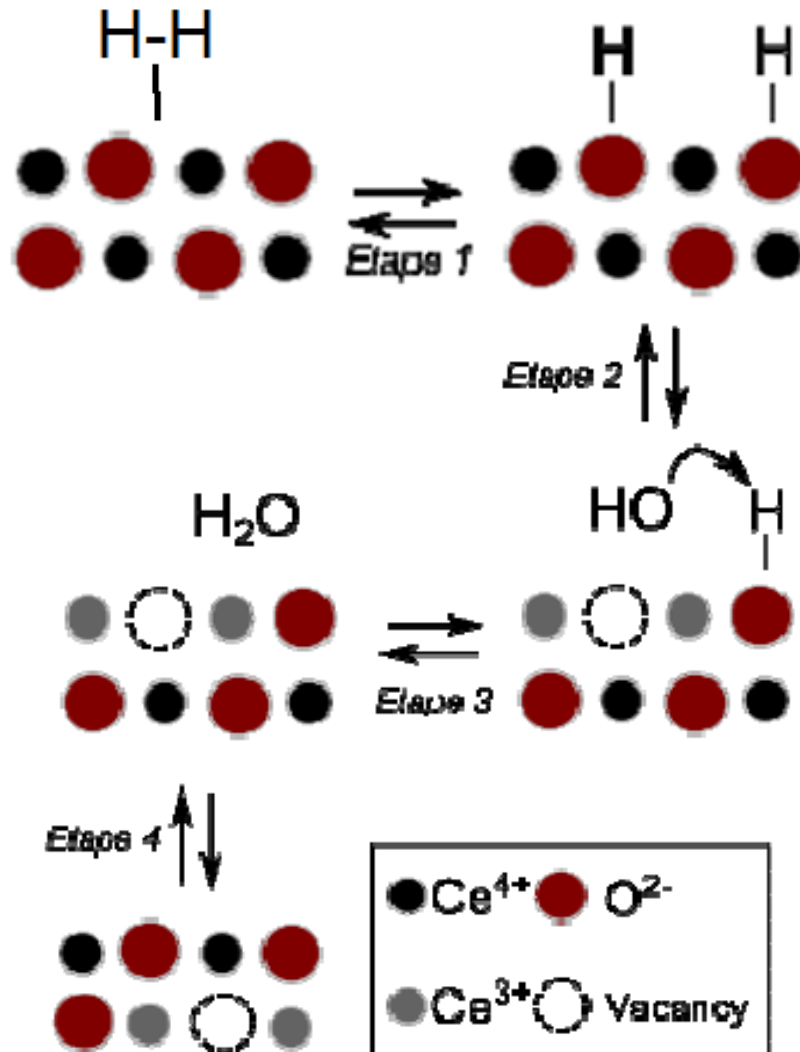
## Aide à la Conception des Matériaux

- Peut on prévoir qualitativement et quantitativement les réactivités des différentes orientations cristallographiques ?
- Peut on prédire l'effet des dopants ?
- Peut on avoir acces aux mécanismes mise en jeu lors de ces reactions ?



# Activation de $H_2$ sur la Cérine Pure

## Mécanismes des Propriétés Catalytiques de $CeO_2$

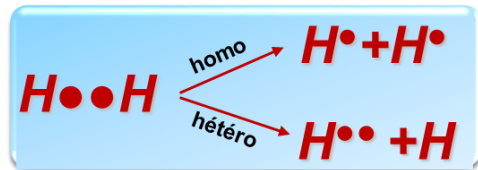


### □ $CeO_2$ dopée:

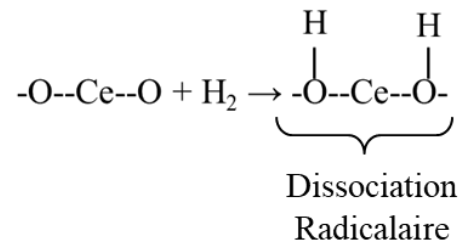
La présence d'un dopant ( $M^{3+}$ )

- induit la formation de lacunes,
- améliore la réactivité et
- favorise la conduction ionique

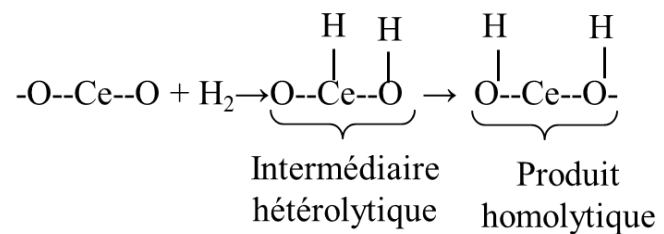
# Activation de H<sub>2</sub> sur la Cérine Pure



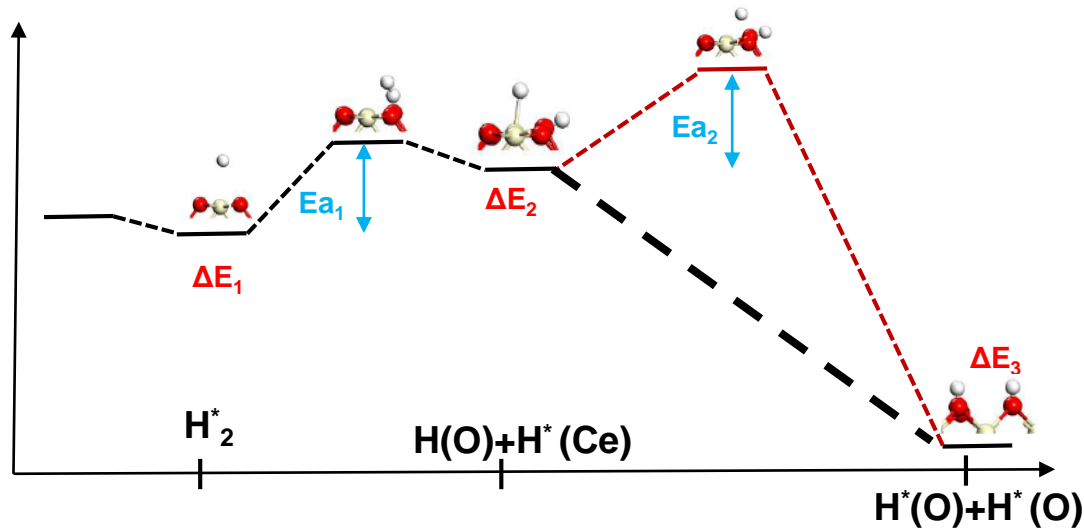
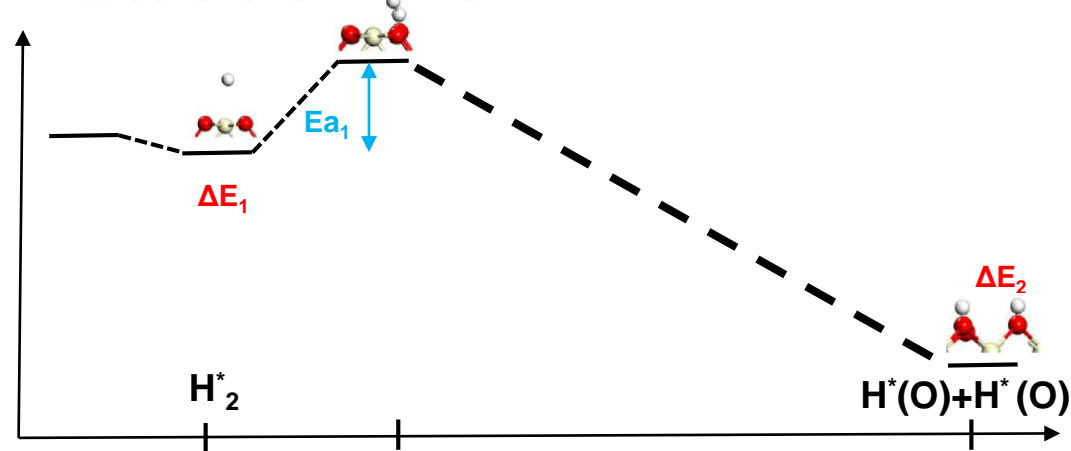
## Dissociation homolytique



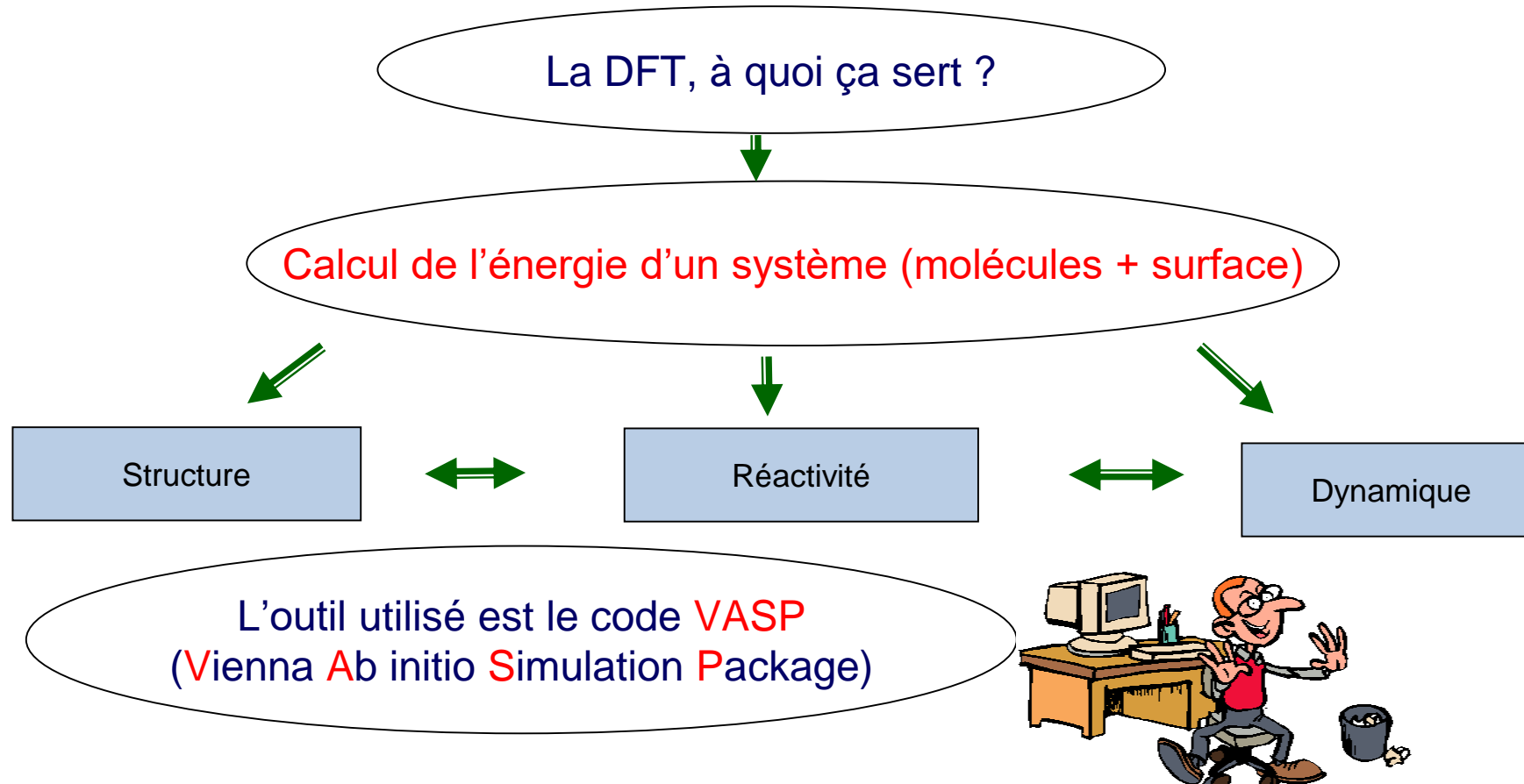
## Dissociation hétérolytique



## Etat de l'art



# Activation de $H_2$ sur la Cérine Pure



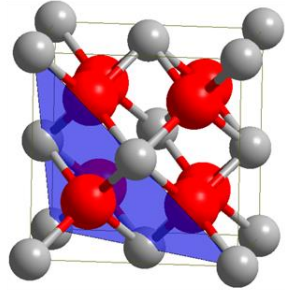
## DFT+U

- $CeO_2$  : présence des électrons  $f$  fortement corrélés.
- DFT+U prend en compte un terme supplémentaire appelé l'énergie Hubbard, qui dépend de deux paramètres  $U$  et  $J$  avec ( $U_{eff} = U - J$ )

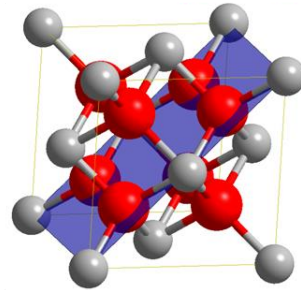
# Activation de $H_2$ sur la Cérine Pure

## Orientations Cristallographiques

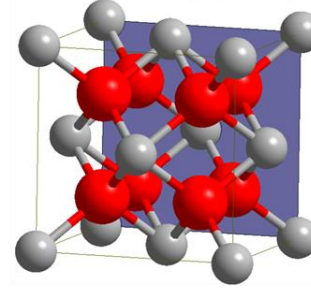
□  $CeO_2(111)$



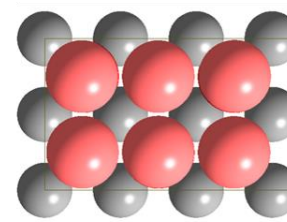
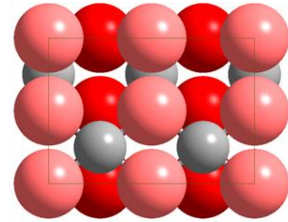
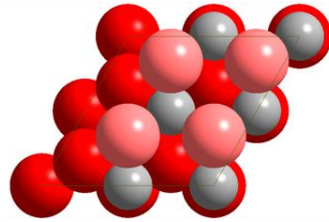
□  $CeO_2(110)$



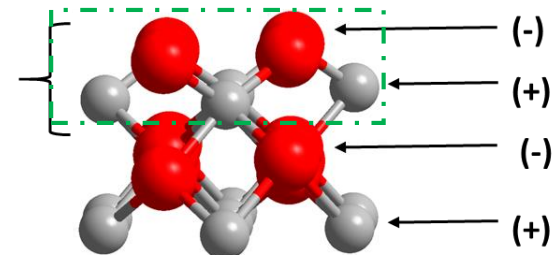
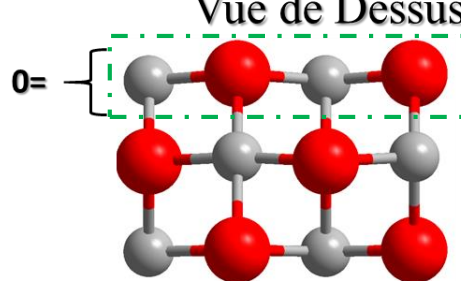
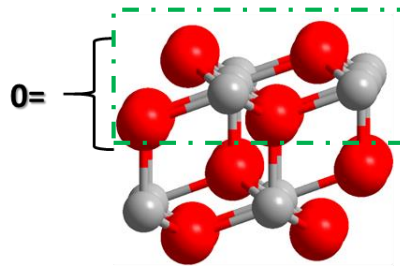
□  $CeO_2(100)$



Vue en 3D



Vue de Dessus

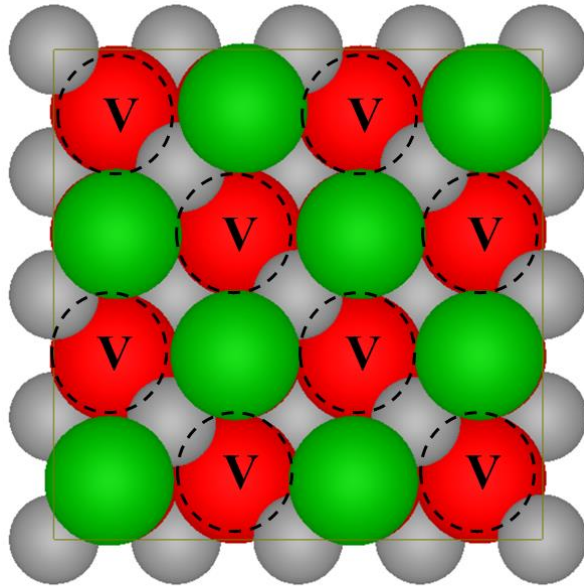


Vue de Profile

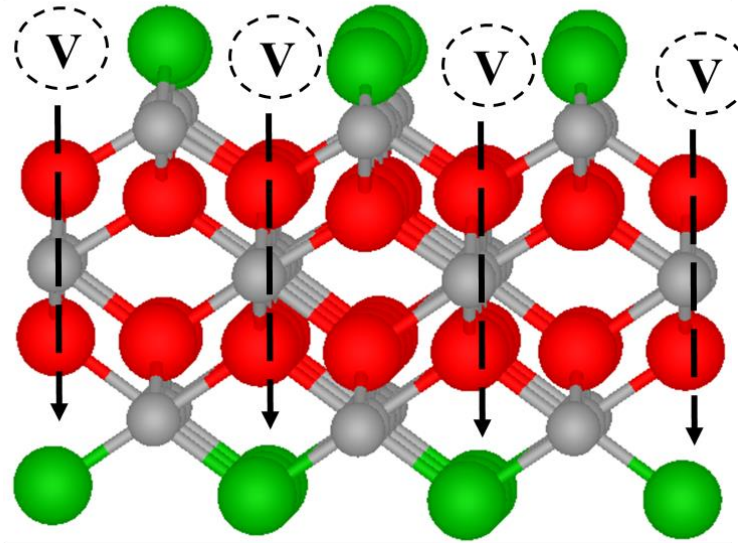
# Activation de $H_2$ sur la Cérine Pure

## Orientations Cristallographiques

### Polarité de la surface $CeO_2(100)$



Vue de dessus



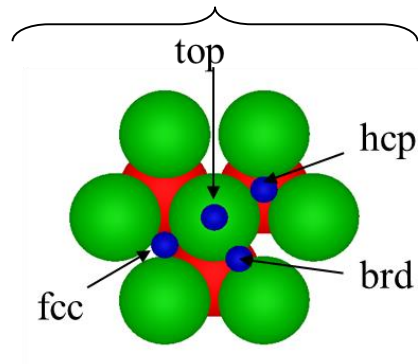
Vue de Profil

- $\frac{1}{2}$  atome par rangée.
- $\frac{1}{2}$  rangée par face

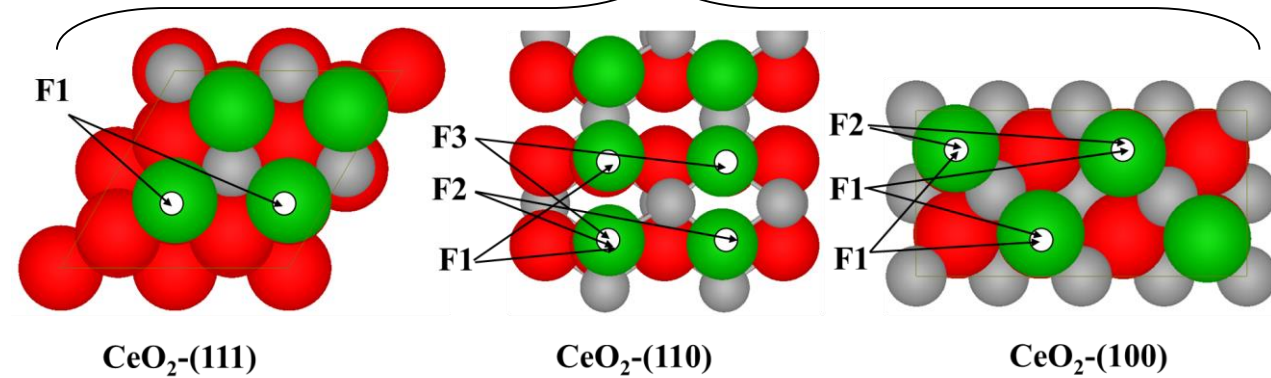
# Activation de H<sub>2</sub> sur la Cérine Pure

## Sites d'adsorption

### Moléculaire



### Dissociative

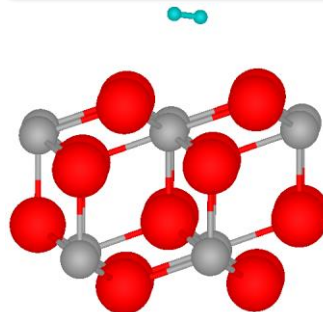


$$E_{ad} = E_{(Slab+H_2)} - E_{(Slab)} - E_{(H_2)}$$

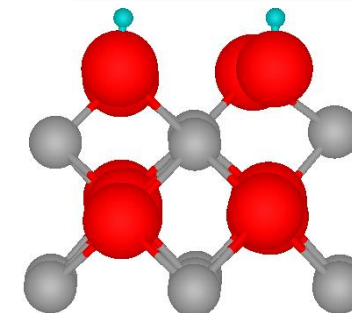
### Chemins réactionnels

- (111) → 3 Chemins
- (110) → 8 Chemins
- (100) → 4 Chemins

### Physisorption



### Chimisorption

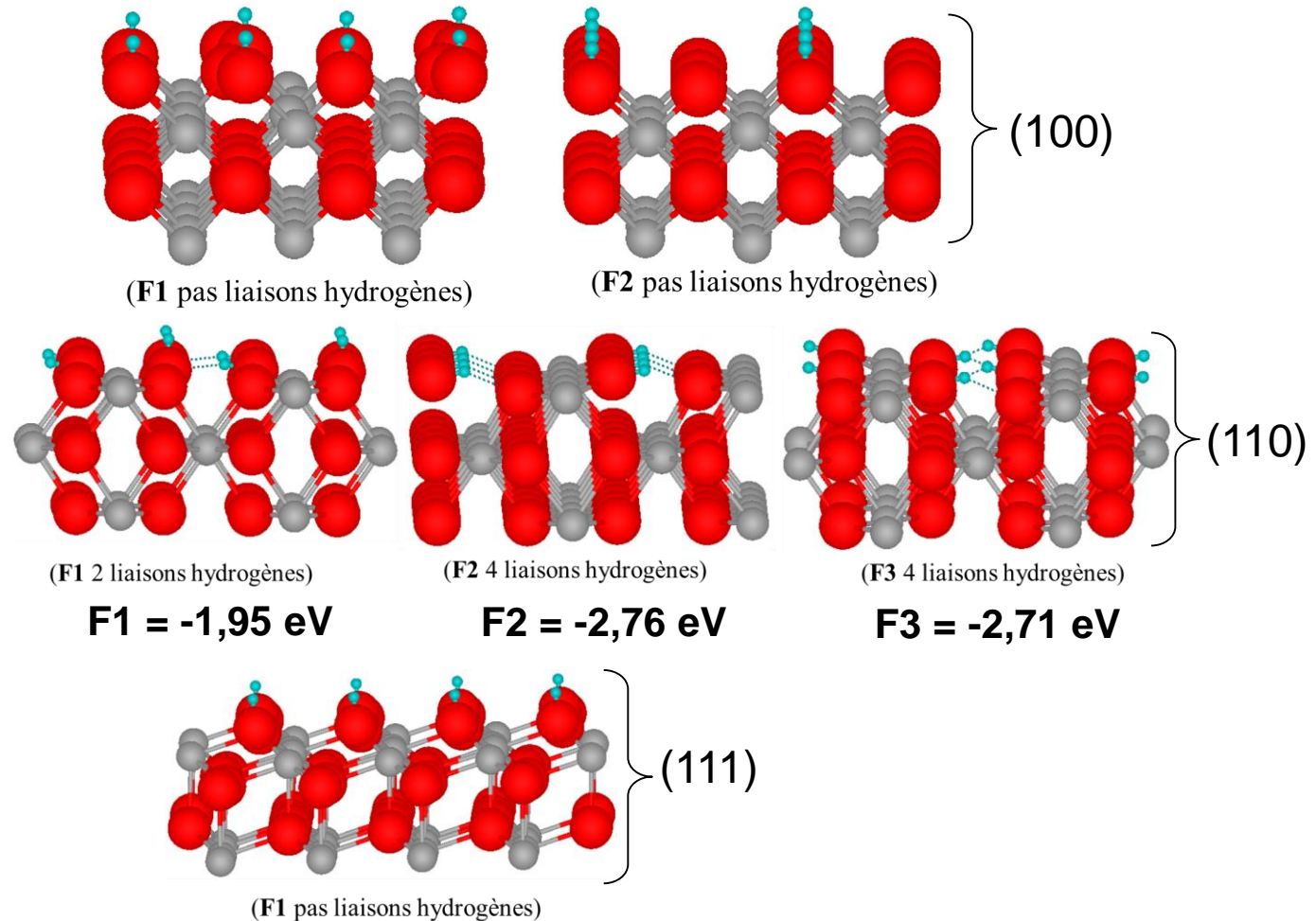


# Activation de H<sub>2</sub> sur la Cérine Pure

## Ordre de stabilisations des Surfaces

$$\Delta E = E_{(Mol)} - E_{(Diss)}$$

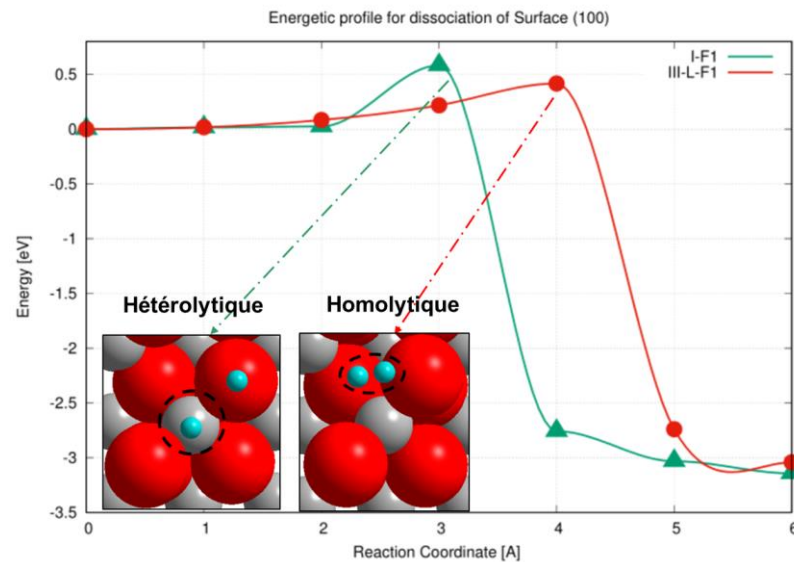
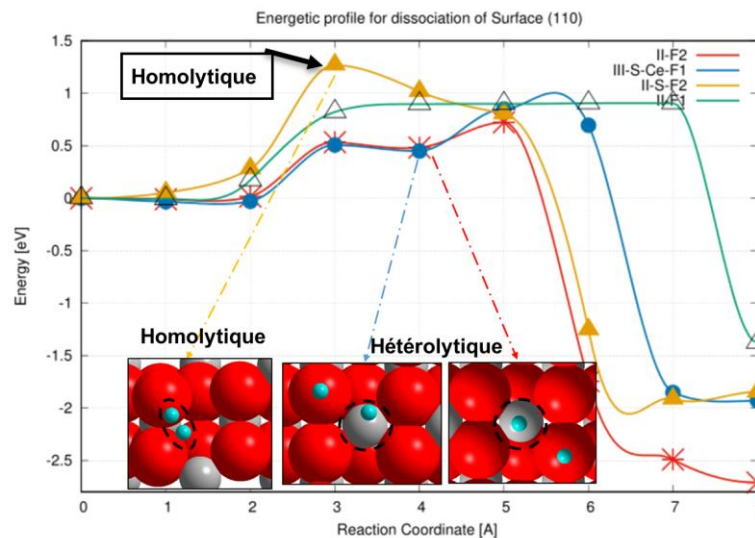
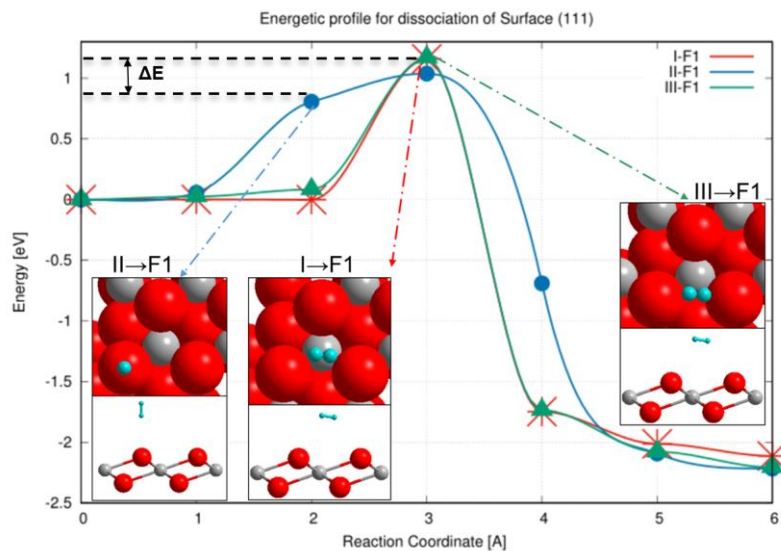
Surf	Site	Energie (eV)
(111)	F1	-2,20
(110)	F1	-1,95
	F2	-2,76
	F3	-2,71
(100)	F1	-2,84
	F2	-3,20



- L'ordre de stabilisation des états dissociés H<sub>2</sub> est (100) > (110) > (111)

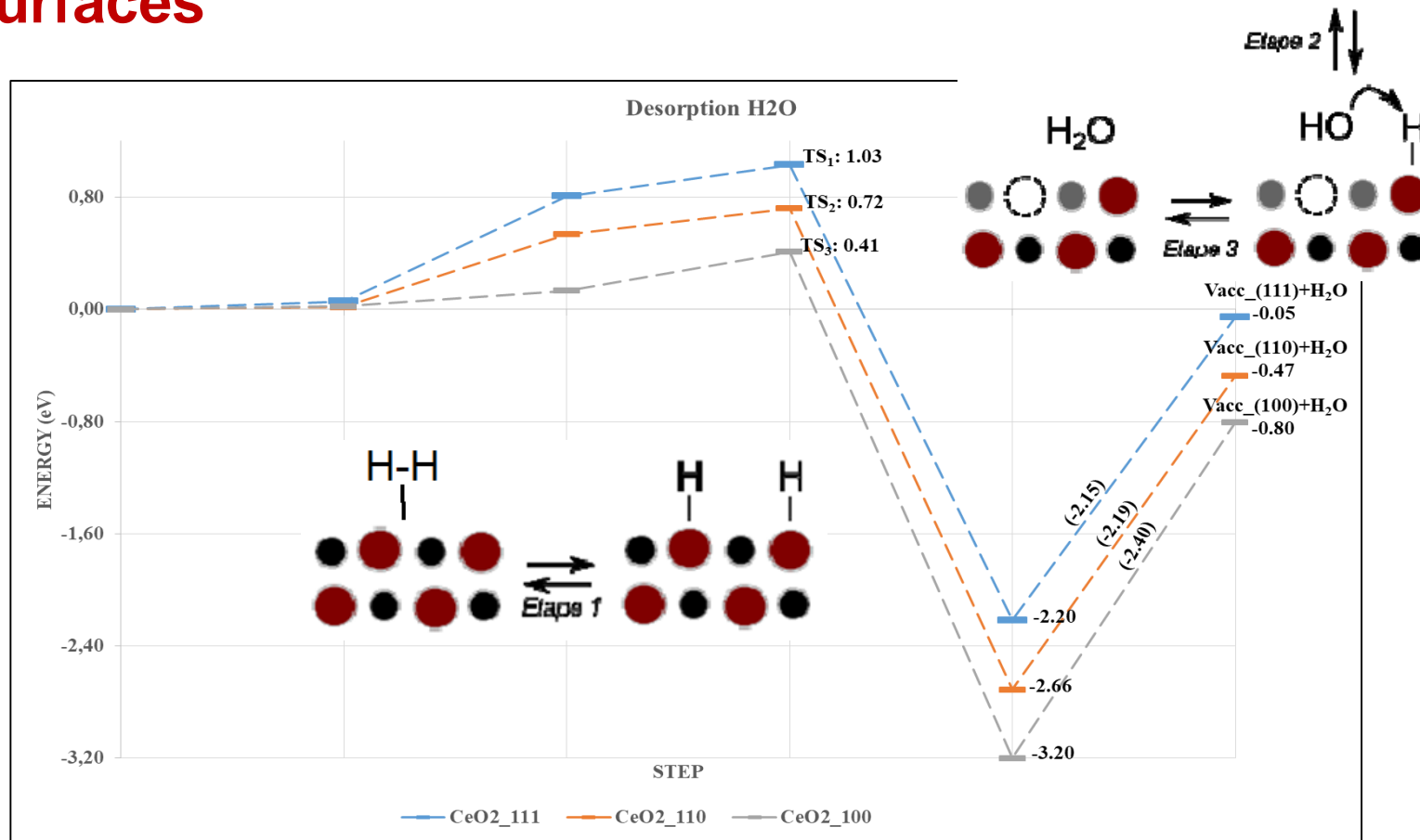
# Activation de $H_2$ sur la Cérine Pure

## Energies d'activations des Surfaces



# Activation de $H_2$ sur la Cérine Pure

- Mécanisme d'adsorption  $H_2$  et désorption  $H_2O$  sur les surfaces

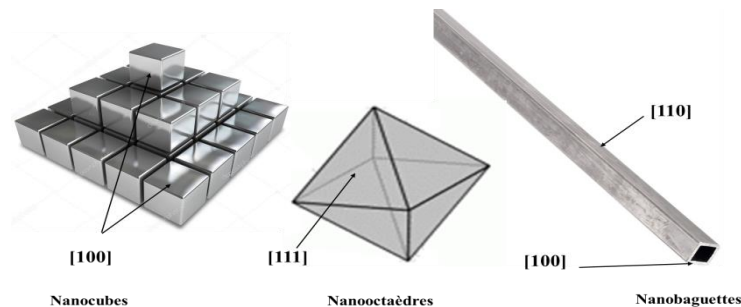


- La désorption est exothermique, et d'ordre est le même que la cinétique (dissociation) sans tenir compte de la barrière d'énergie de désorption.
- (100) > (110) > (111)

# Activation de H<sub>2</sub> sur la Cérine Pure

## Théories vs Expériences

### Expérience



Évaluation de la performance de chaque forme en utilisant l'expérience TPR

Orientation	Activation Energy (eV)
Octaèdre (111)	4.43
baguette (110)	1,35
Cube (100)	0.72

### Théorie

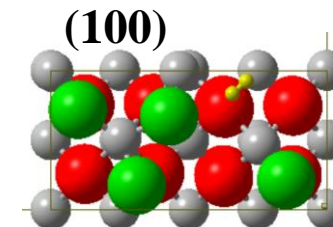
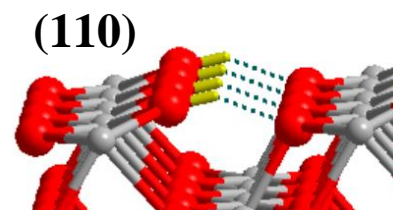
Orientation	Experience		Theories
	Energies Activation (eV)	Energies Activation	energies de Stabilisations
Octahedral (111)	4.43	1.03	-2.20
Rod (110)	1,35	0.72	-2.66
Cube (100)	0.72	0.41	-3.20

- Même ordre d'énergies d'activation que l'expérience (différence de grandeur liée aux conditions expérimentales)

### Les valeurs ajoutés de la théorie



Mécanisme d'activation de H<sub>2</sub>  
(chemin de dissociation)



Stabilisation élevée des dissociés  
(110) liaisons hydrogène internes  
(100) moins de répulsion internes

# Conclusions et Perspectives

## □ Conclusions

### ☞ Activation de l'hydrogène sur la Cérine Pure

- Mécanisme des stabilisations des états dissociés
- L'effets des états initiaux et finaux sur le chemin réactionnel
- Possibilité des deux mécanismes (homolytique et hétérolytique) sur chacune des surfaces
- Energies d'activations de la dissociation
- Théorie vs Expérience



***pour votre attention!***

**présentation**

**Non Publiée dans les Actes MSAS 2021,**



**MSAS 2021  
DOUZIEME SYMPOSIUM MALEN SUR LES SCIENCES APPLIQUEES  
01-06 AOUT**

<http://www.smsa.ml>

Thème:

# **Correction de Déséquilibre des Phases dans un Réseau Electrique Triphasé par Filtrage Actif.**

**Mohamed NIARE**

**Dr-Ing. Fadaba DANIOKO, Maître de conférences, FST**

**Dr Mamadou DANSOKO, Maître de conférences, FST**

**Pr Mamadou Lamine DOUMBIA, Université de Québec à trois rivières**

# Plan

1

- Contexte et Justificatifs

2

- Etat de l'art et Positionnement

3

- Méthode proposée

4

- Résultats et Discussions

5

- Conclusion et Perspectives

## 1-Contexte justificatifs (1/2)

### ➤ Un réseau électrique triphasé:

#### ■ Réseau équilibré

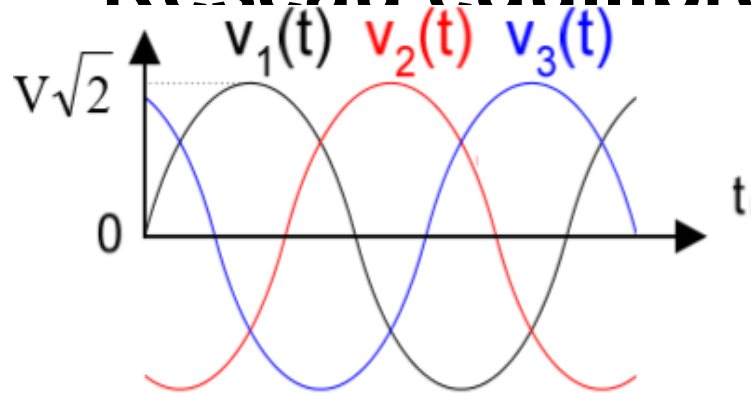


Fig. 1 : Des tensions simples en  $t(t)$   
(Fabrice Sincère; chap3 Sys triphasé)



Fig. 2 : Réseau électrique triphasé (Hydro Québec)

#### ■ Réseau déséquilibré:

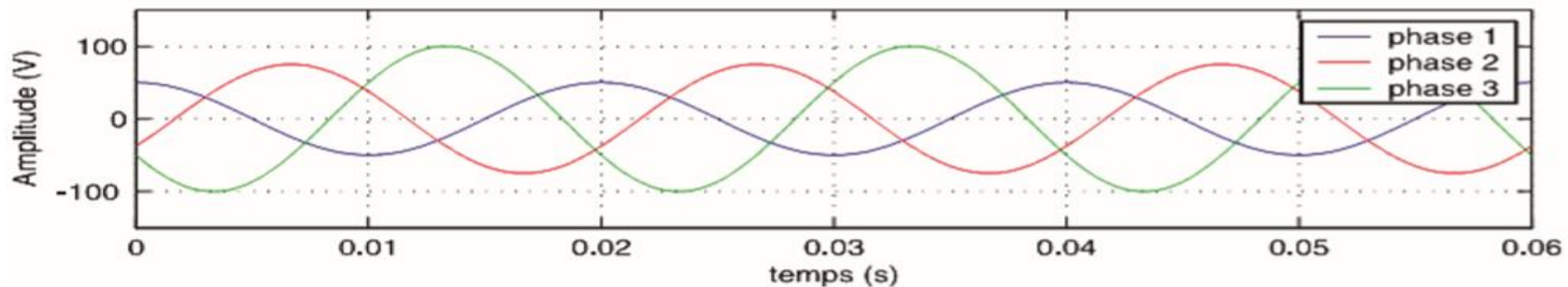


Fig. 3 : Réseau électrique déséquilibré(NEKKAR Djamel, mémoire de Magister 2013-2014)

## Contexte et justificatifs (2/2)

Les réseaux électriques déséquilibrés (amplitudes différentes ou déphasage différent de 120 degrés)

- **Conséquences:**

- Echauffement des câbles, équipements électriques;
- L'arrêt soudain des machines tournantes;
- La destruction totale de tous les équipements

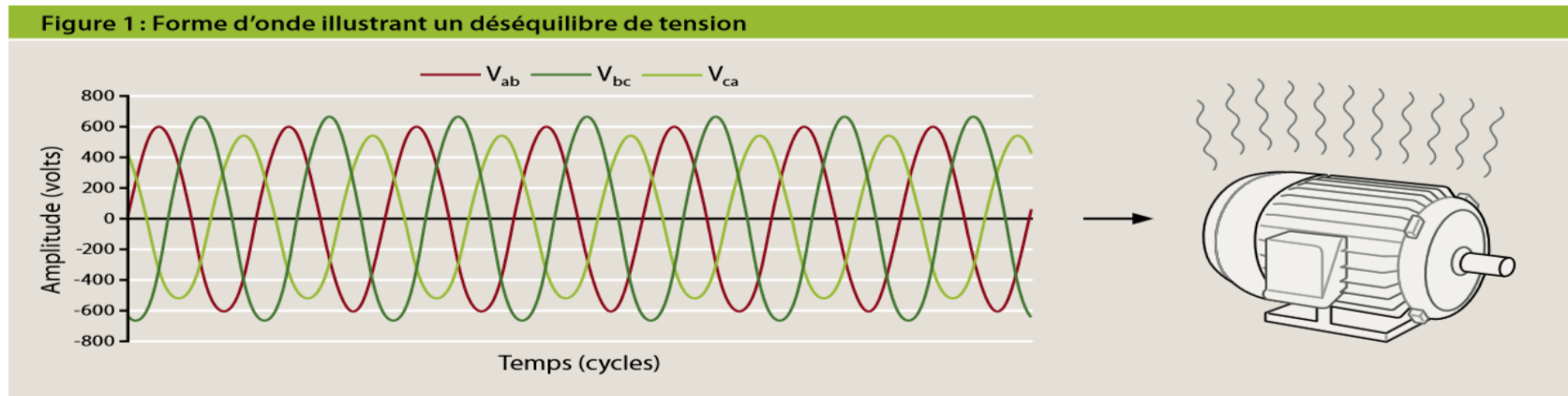
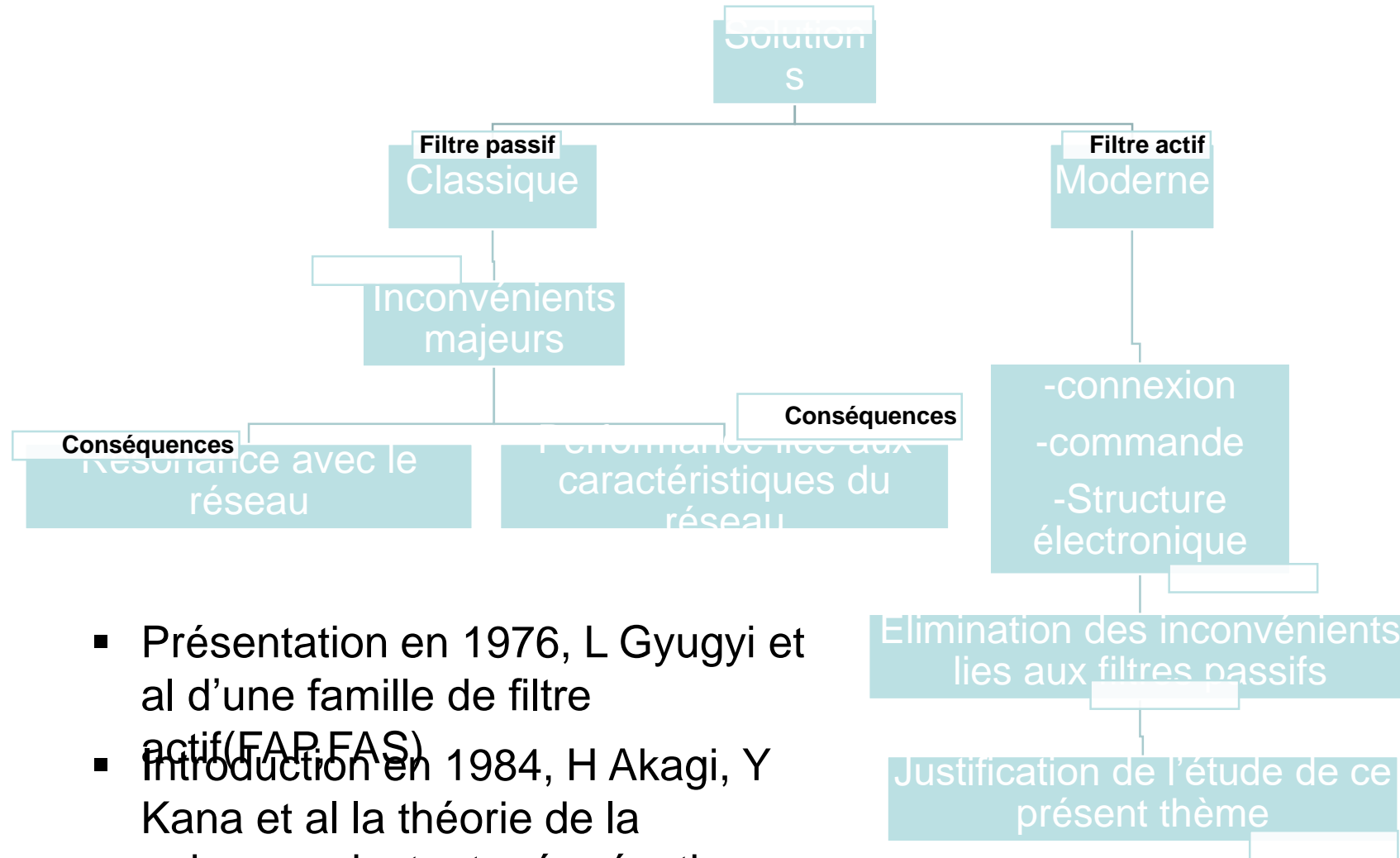


Fig. 4 : Action destructive du déséquilibre sur un moteur électrique(Hydro Québec)

## 2-Etat de l'art et positionnement (1/1)



- Présentation en 1976, L Gyugyi et al d'une famille de filtre actif (FAP, FAS)
- Introduction en 1984, H Akagi, Y Kana et al la théorie de la puissance instantanée réactive

# Objectifs

- Proposer une démarche structurée basée sur la méthode SRF afin de corriger le déséquilibre via un filtrage actif
- Principe du FAP :

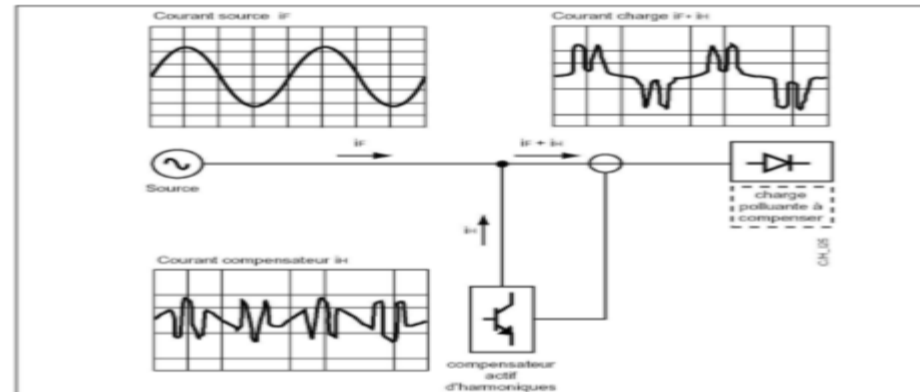
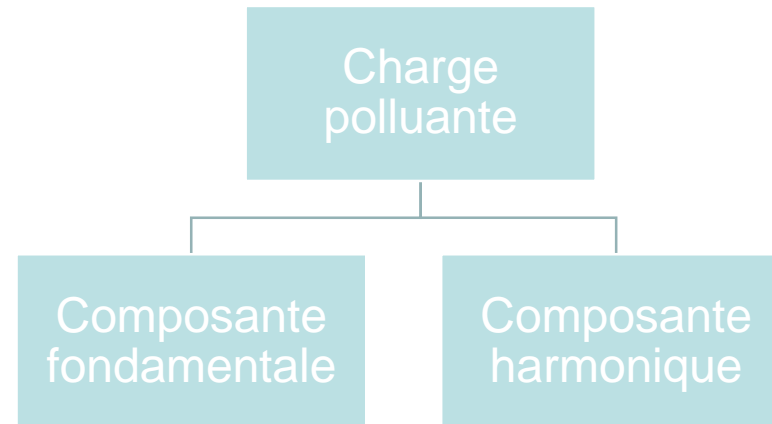


Fig. 5 : Injection du courant harmonique sur le réseau( Éric Labouré et all<<Compatibilité électromagnétique>>

### 3-Méthode proposée (1/5)

- Filtrage Actif Parallèle (FAP) qui s'applique au courant de charge
- Courant de charge:



- THD (Taux Harmonique de Distorsion) : Indicateur de pollution de charge
- FFT (Fast Fourier Transformation) : Détection du THD

# Méthode proposée (2/5)

Méthode SRF

Matlab/Simulink

1ère Transformation du triphasé au diphasé (Concordia)



$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \\ i_0 \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{1a} \\ I_{1b} \\ I_{1c} \end{bmatrix}$$

2ème transformation en dq (Park)

$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_q \\ I_0 \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ -\sin(\theta) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{1a} \\ I_{1b} \\ I_{1c} \end{bmatrix}$$

Transformation composante fondamentale en continue et composante harmonique en alternative, Elimination de la composante continue par un simple FPB

Transformation inverse de Concordia permet d'obtenir les courants de référence

$$\begin{bmatrix} I_{refa} \\ I_{refb} \\ I_{refc} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix}$$

## Méthode proposée (3/5)

### Matlab/Simulink:

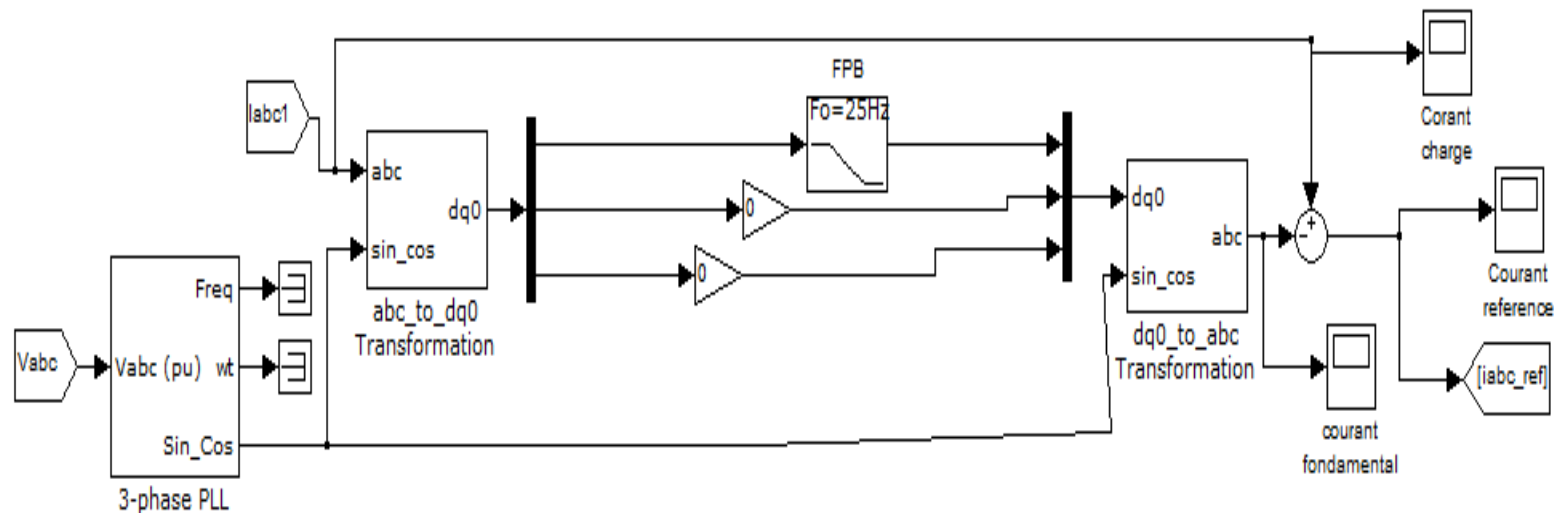


Fig. 6 : Principe d'identification des harmoniques par la méthode SRF

**NB : Une bonne compensation du filtre actif exige l'efficacité de la méthode d'identification harmonique.**

# Méthode proposée (4/5)

## Commande par hystérésis:

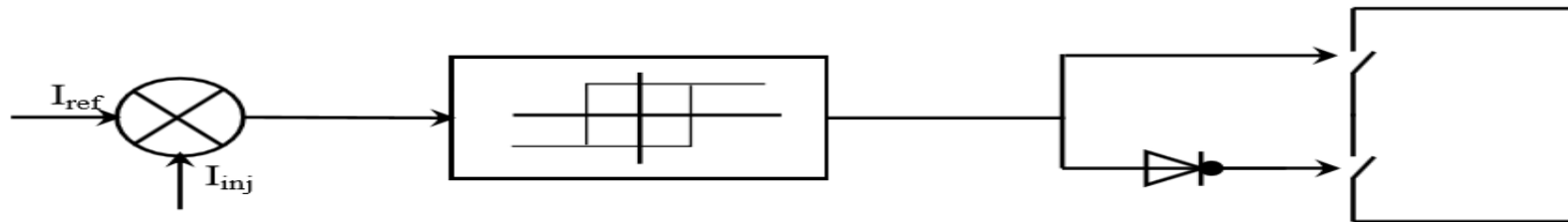


Fig. 7 : Commande des courants de filtre par hystérésis(Abdelfettah BOUSSAID ,Thèse soutenue 05/01/2017)

## Bande d'hystérésis par phase

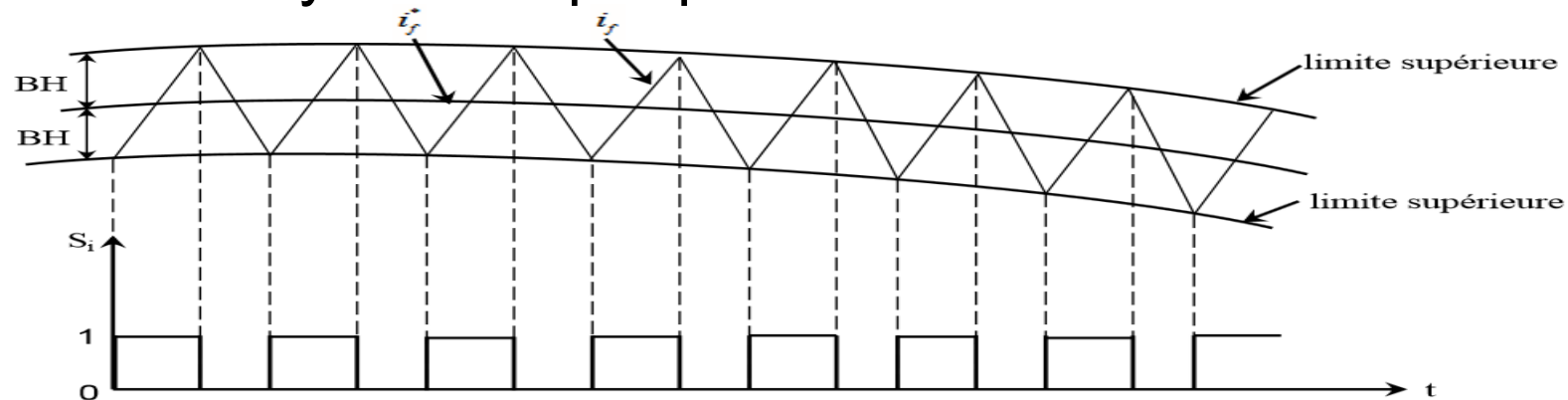


Fig. 8 : Commande des interrupteurs par hystérésis(Abdelfettah BOUSSAID ,Thèse soutenue 05/01/2017)

## Méthode proposée (5/5)

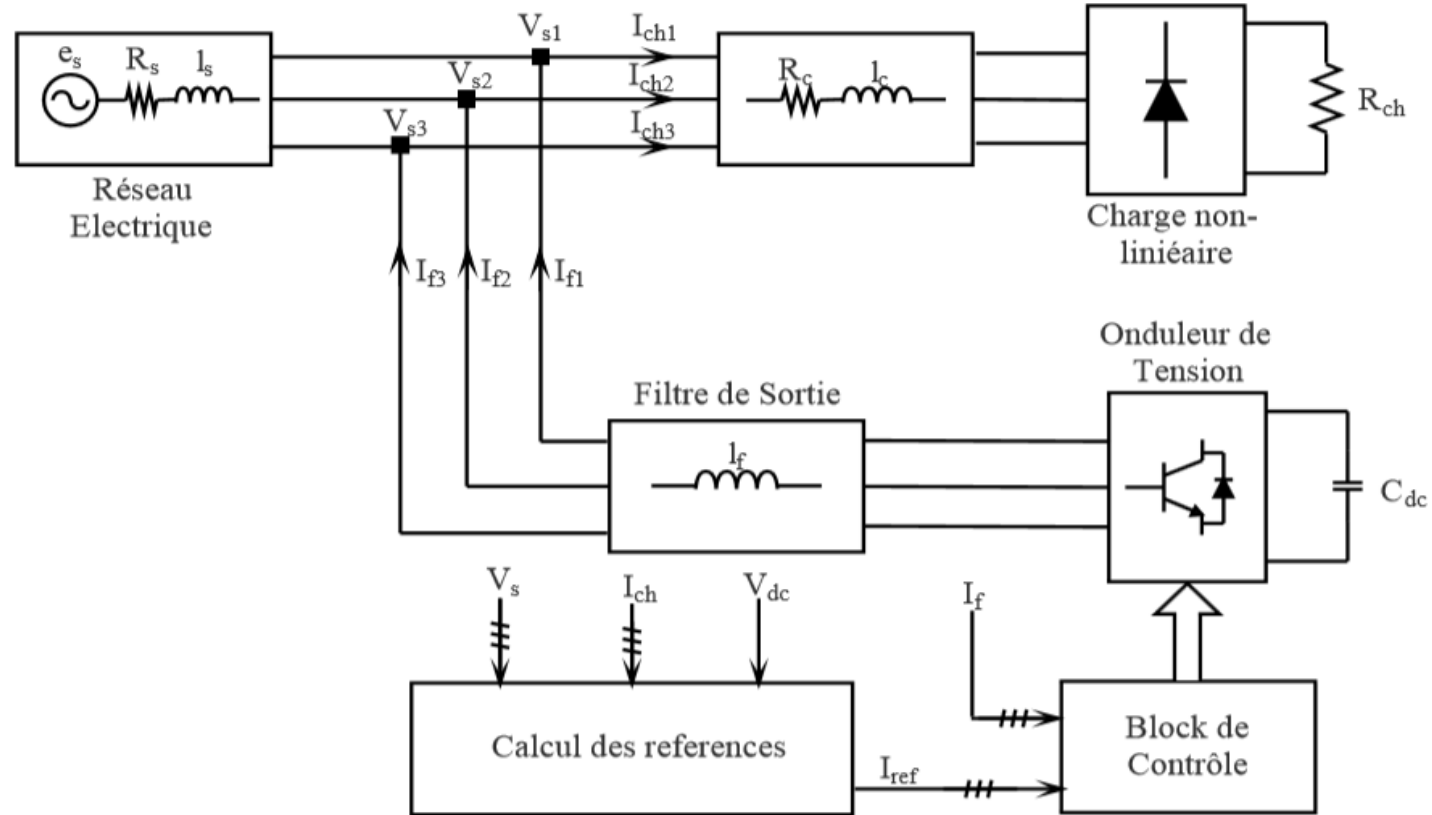


Fig. 9 : Ensemble réseau, FAP , charge polluante

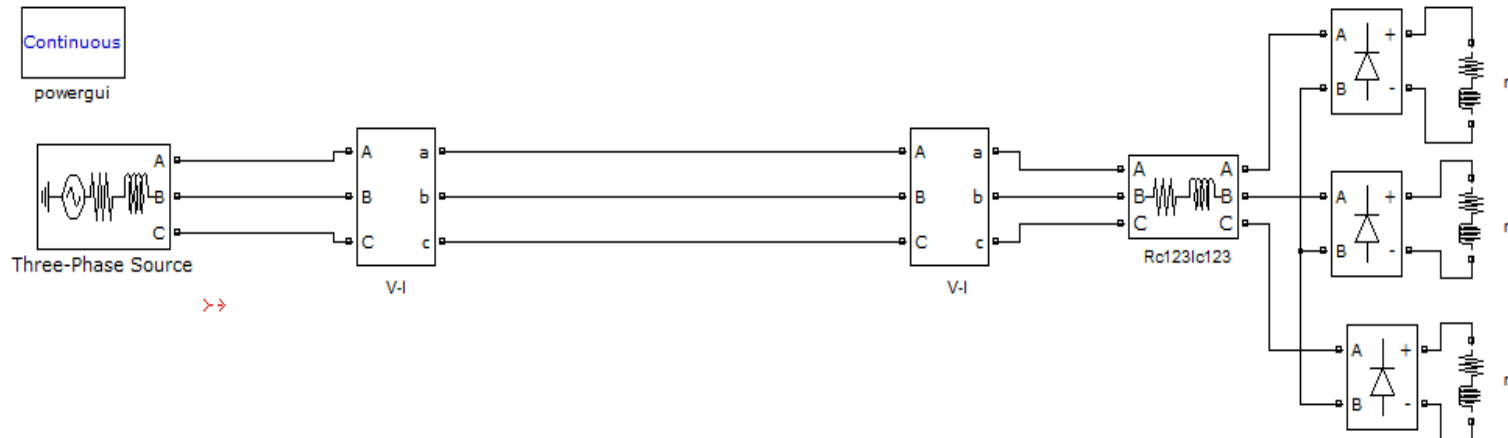
# 4-Résultats et Discussions (1/15)

## Description du réseau électrique sans filtre actif de puissance:

Tableau 1 : Paramètre du réseau équilibré

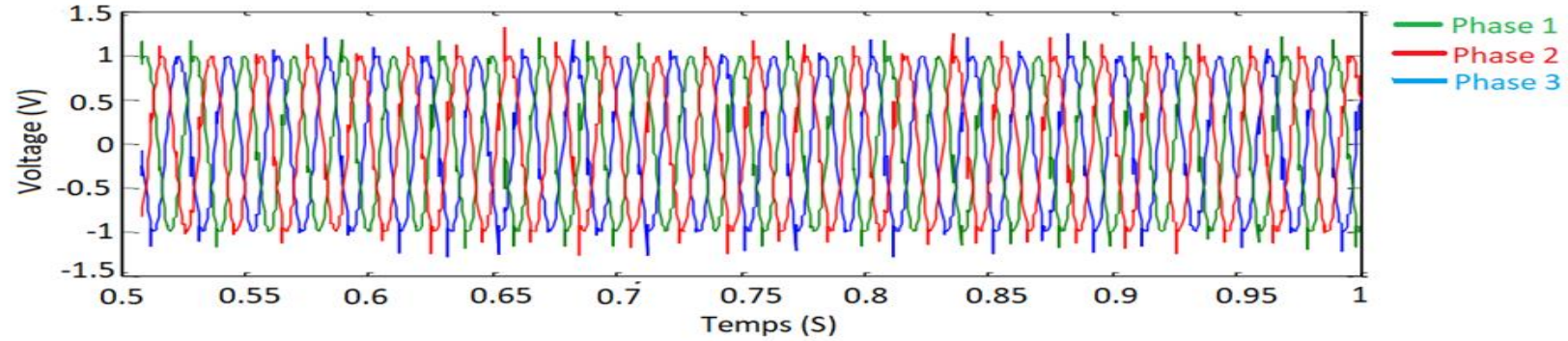
$V_{s\,eff}$ [V]	f [Hz]	$r_s$ [m $\Omega$ ]	$l_s$ [ $\mu$ H]	$r_c$ [m $\Omega$ ]	$l_c$ [ $\mu$ H]	$r_{dl123}$ [ $\Omega$ ]	$l_{dl123}$ [mH]
240	50	3.63	14.12	12.87	105.98	5	30

### ➤ Réseau électrique équilibré sans FAP:

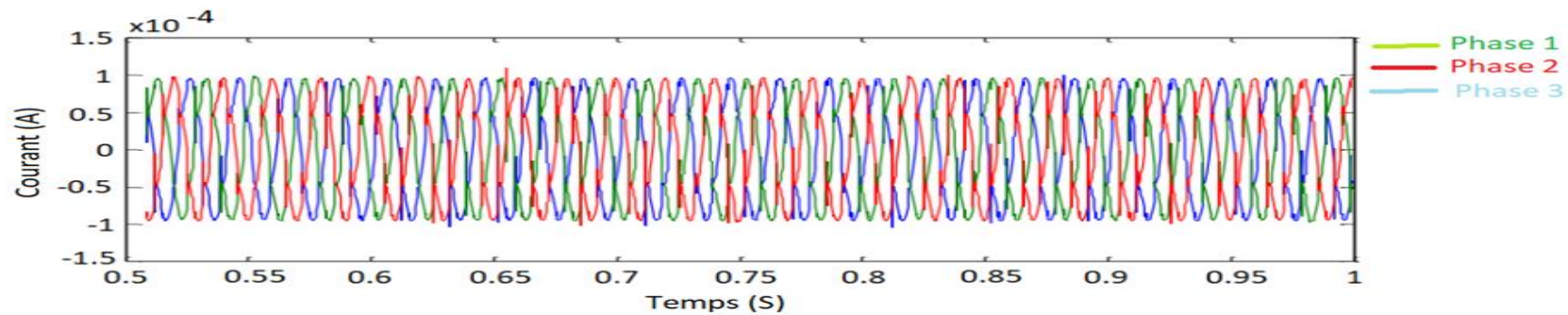


## Résultats et Discussions (2/15)

Tension coté source est sinusoïdale et équilibrée.



Le courant absorbé par des charges non-linéaires de chaque phase est représenté par la figure suivante :



## Résultats et Discussions (3/15)

Les charges non-linéaires génèrent des harmoniques de courant au niveau de chaque phase.

➤ **Système déséquilibré sans FAP :**

▪ **1<sup>er</sup> Cas : déséquilibre de charges monophasées :**

Tableau 2 : Paramètre de simulation

$V_{s\,eff}$ [V]	f [Hz]	$r_s$ [mΩ]	$l_s$ [μH]	$r_c$ [mΩ]	$l_c$ [μH]
240	50	3.63	14.12	12.87	105.98
$r_{dl1}$ [Ω]	$l_{dl1}$ [mH]	$r_{dl2}$ [Ω]	$l_{dl2}$ [mH]	$r_{dl3}$ [Ω]	$l_{dl3}$ [mH]
0.2	1	0.79	4.8	0.3	4

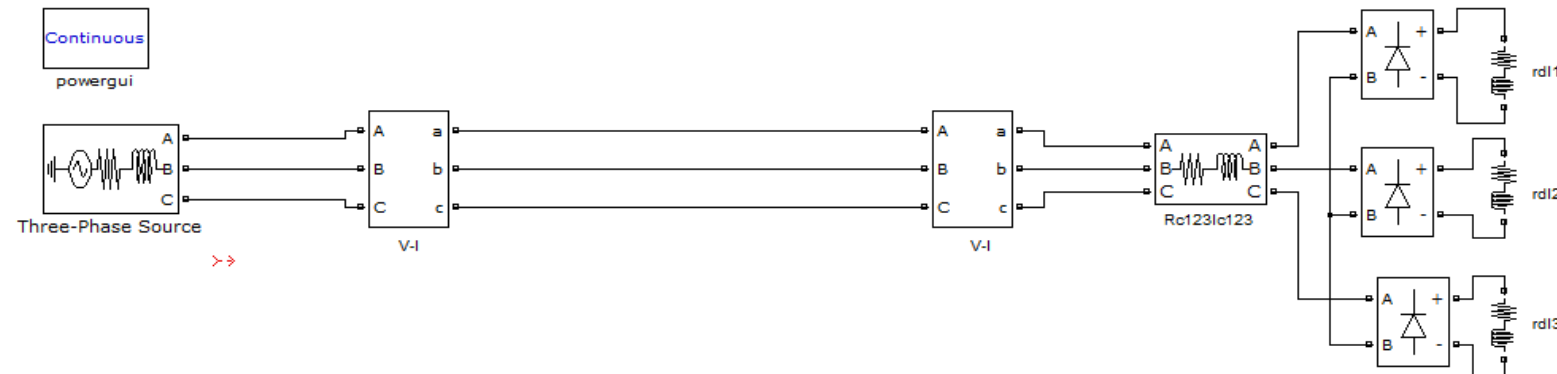
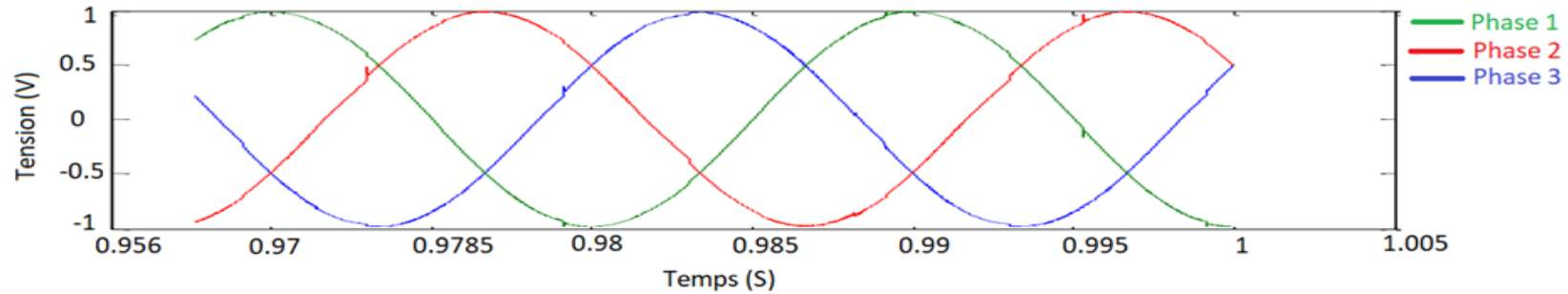


Fig. 13: Réseau électrique déséquilibré, monophasé sans FAP

## Résultats et Discussions (4/15)

La tension coté source est sinusoïdale et équilibrée :



Par contre, les courants de charge sont déséquilibrés.

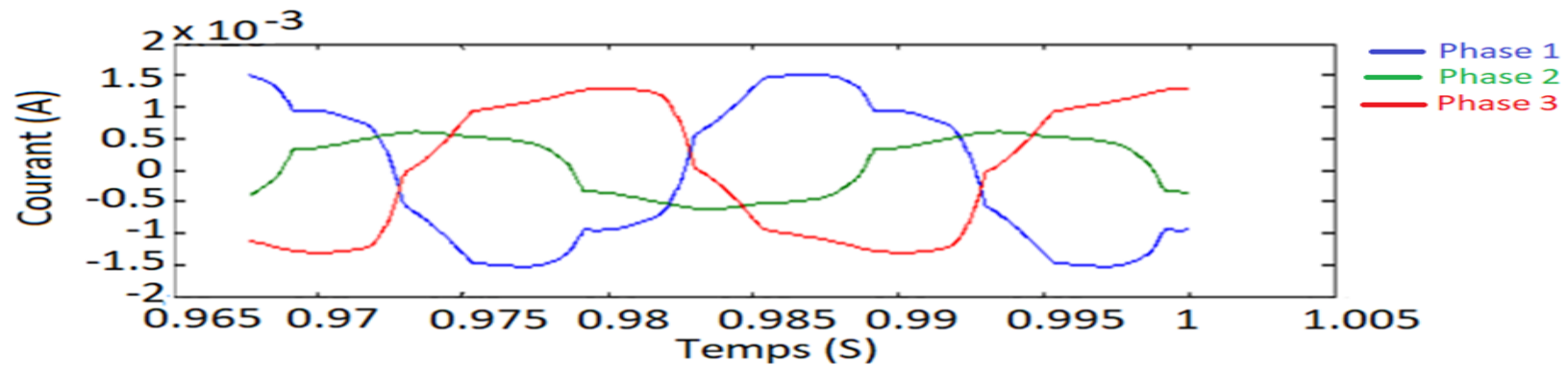


Fig. 15 : Courant charge

# Résultats et Discussions (5/15)

- 2<sup>ème</sup> Cas : défaut monophasé de la phase 02 :

Tableau 3 : Paramètres de simulation:

$V_{s\text{eff}}$ [V]	$f$ [Hz]	$r_s$ [mΩ]	$l_s$ [μH]	$r_c$ [mΩ]
250	50	3.63	14.12	12.87
$l_c$ [μH]	$r_{dl1}$ [Ω]	$l_{dl1}$ [mH]	$r_{dl3}$ [Ω]	$l_{dl3}$ [mH]
105.98	5	30	5	30

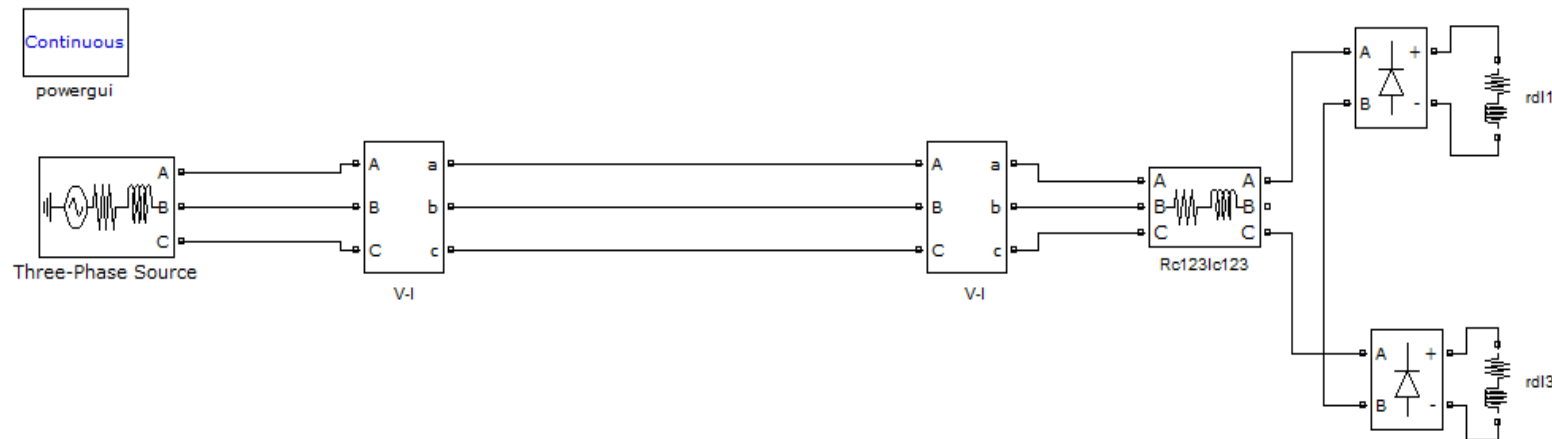


Fig. 16 : Réseau électrique déséquilibre ,défaut de phase02

## Résultats et Discussions (6/15)

Les tensions coté source forment un signal sinusoïdal équilibré.

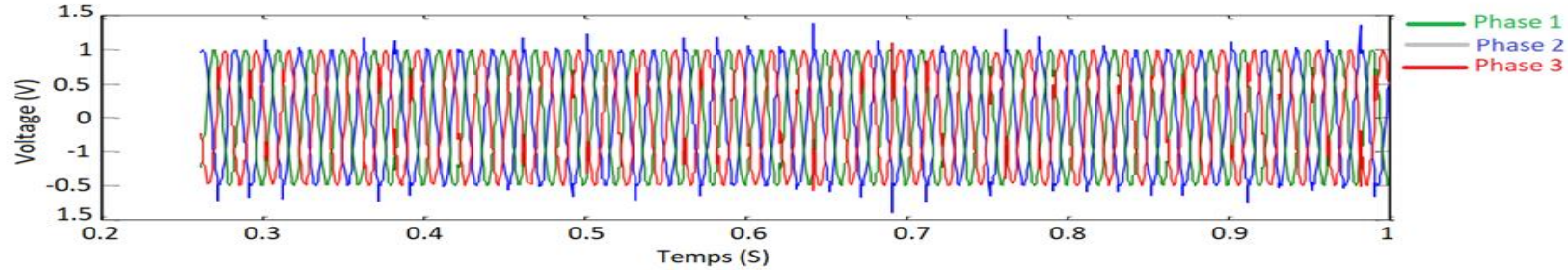


Fig. 17 : Tension coté source

Par contre, le courant de charge déséquilibré.

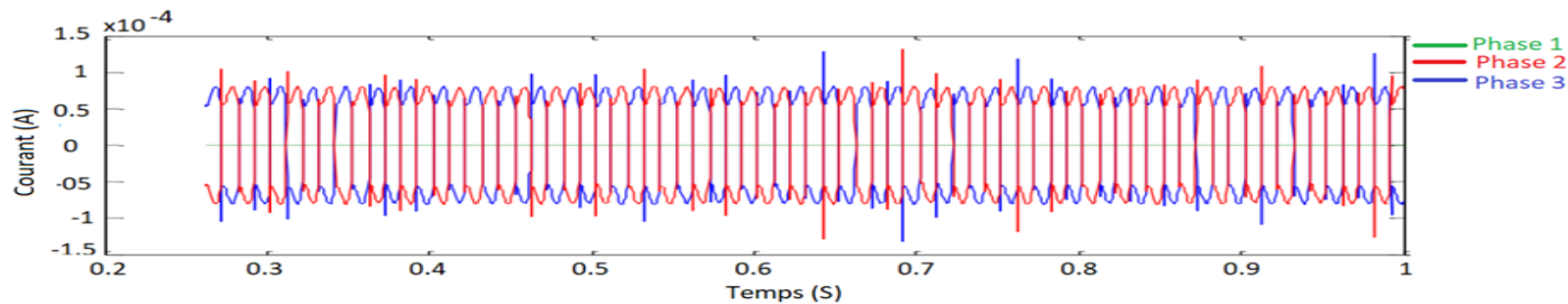


Fig. 18: Courant charge

## Résultats et Discussions (7/15)

Tableau 4 : Le THD des courants sources avant filtrage

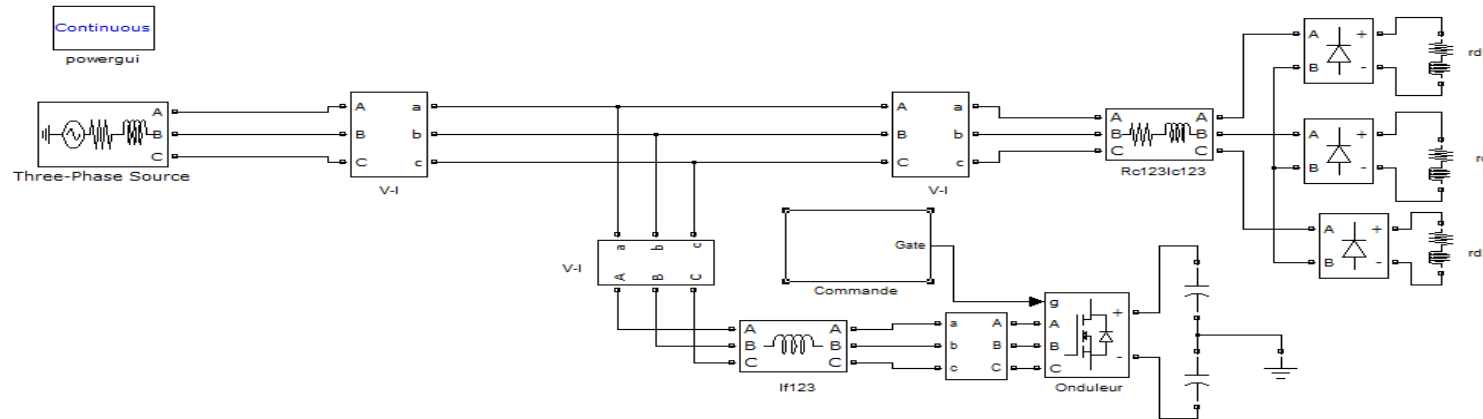
	Réseau électrique équilibré	Réseau électrique déséquilibré, charge monophasée différente	Réseau électrique Déséquilibré, défaut de Phase 02
THD phase1	09.67 %	17.45%	31.79%
THD phase2	10.31%	20.23%	
THD phase3	10.90%	20.12%	31.79%

Tableau 5 : Paramètre du FAP

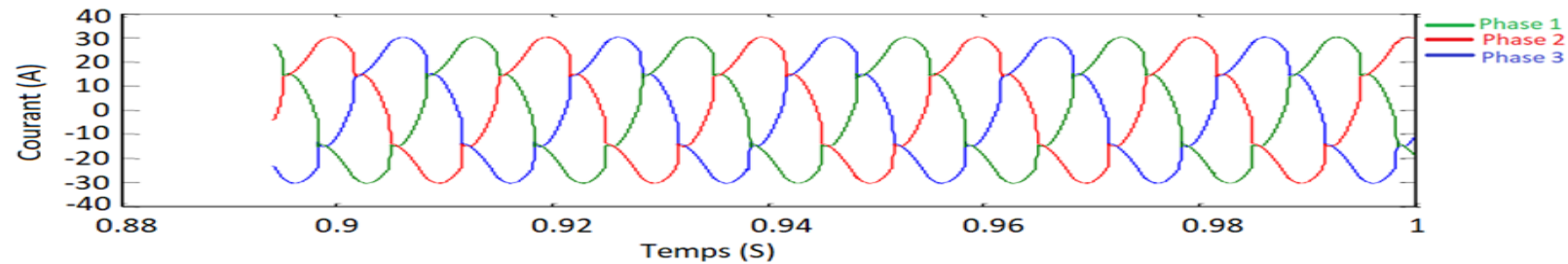
$l_f$ [ $\mu H$ ]	$C_{dc}$ [mF]	$V_{dc}$ [V]
200	8	700

# Résultats et Discussions (8/15)

## ➤ Réseau électrique équilibré :



Courant coté source est sinusoïdal par contre le courant coté charge est la forme suivante :



## Résultats et Discussions (9/15)

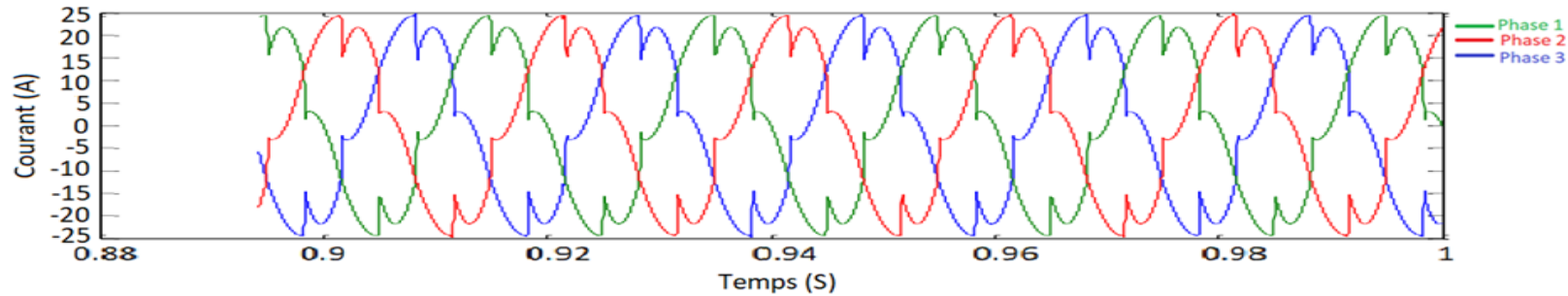


Fig. 21 : Courant filtre

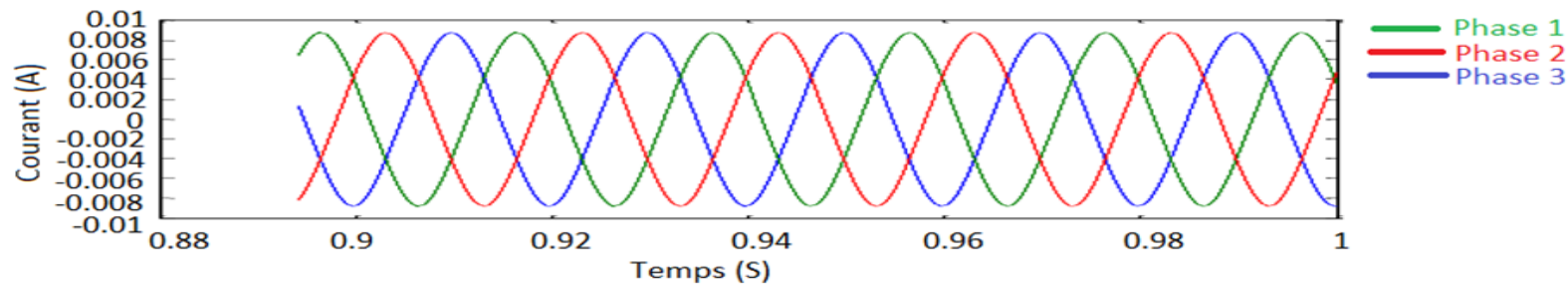


Fig. 22 : Courant source compensée

- **Les harmoniques de courant de charge de chaque phase ont été compensés.**
- **L'énergie réactive a été compensée de façon à obtenir la forme sinusoïdale du courant.**

# Résultats et Discussions (10/15)

## ➤ Réseau électrique déséquilibré monophasé :

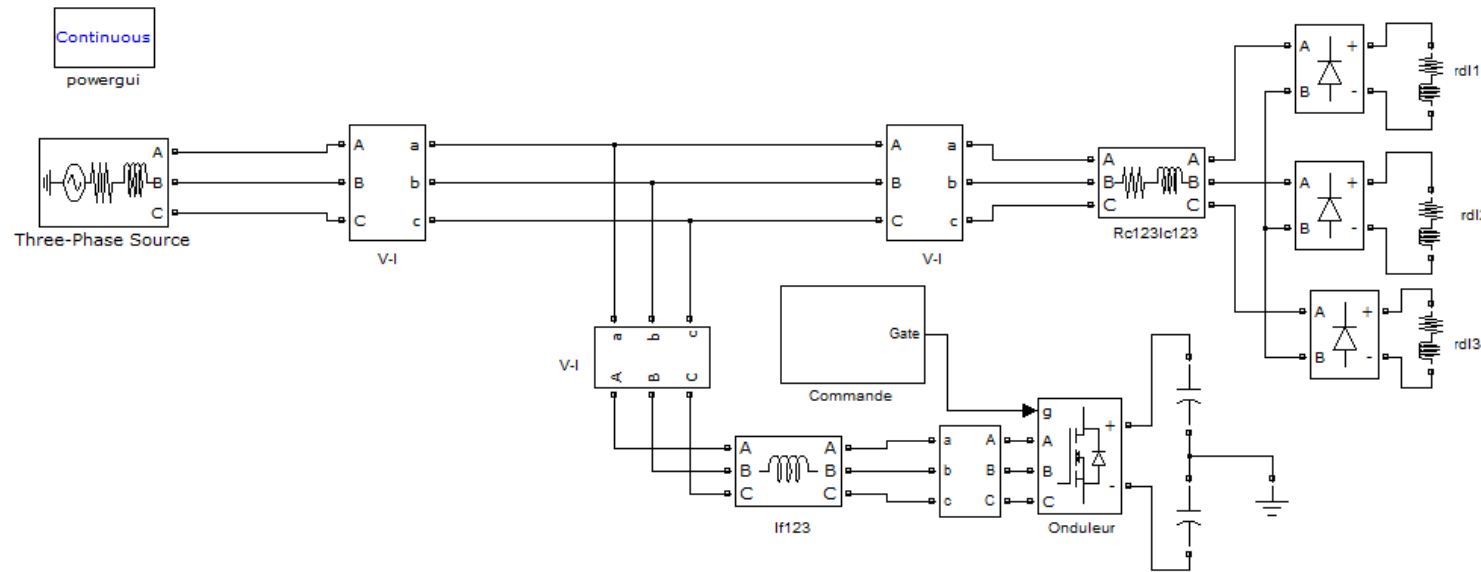


Fig. 23 : Réseau électrique déséquilibré, monophasé

Le courant coté source est sinusoïdal par contre, le courant coté charge est de la forme suivante :

## Résultats et Discussions (11/15)

Fig. 24 : Cour.

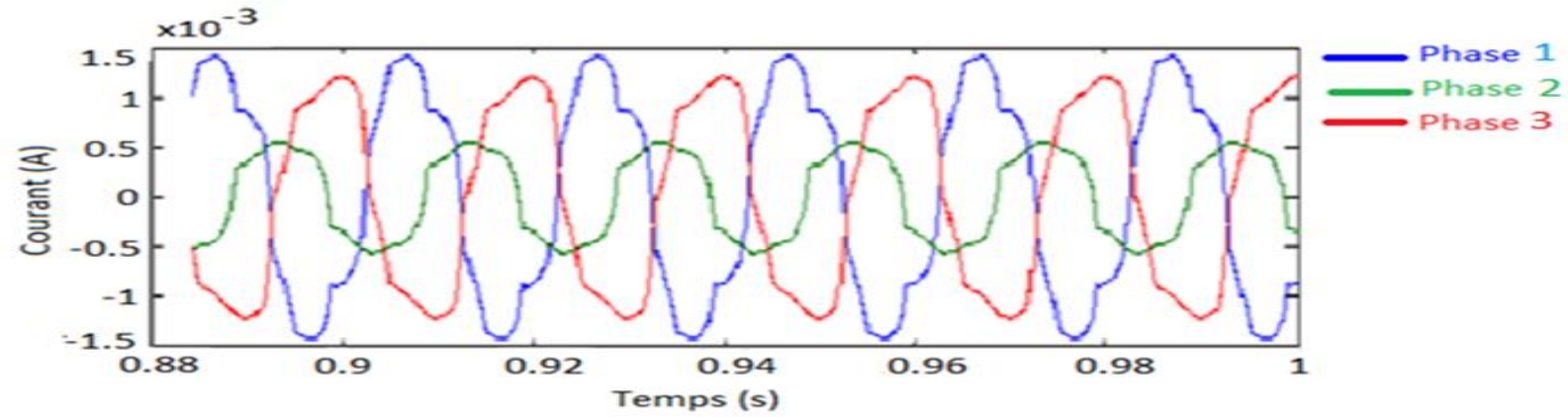
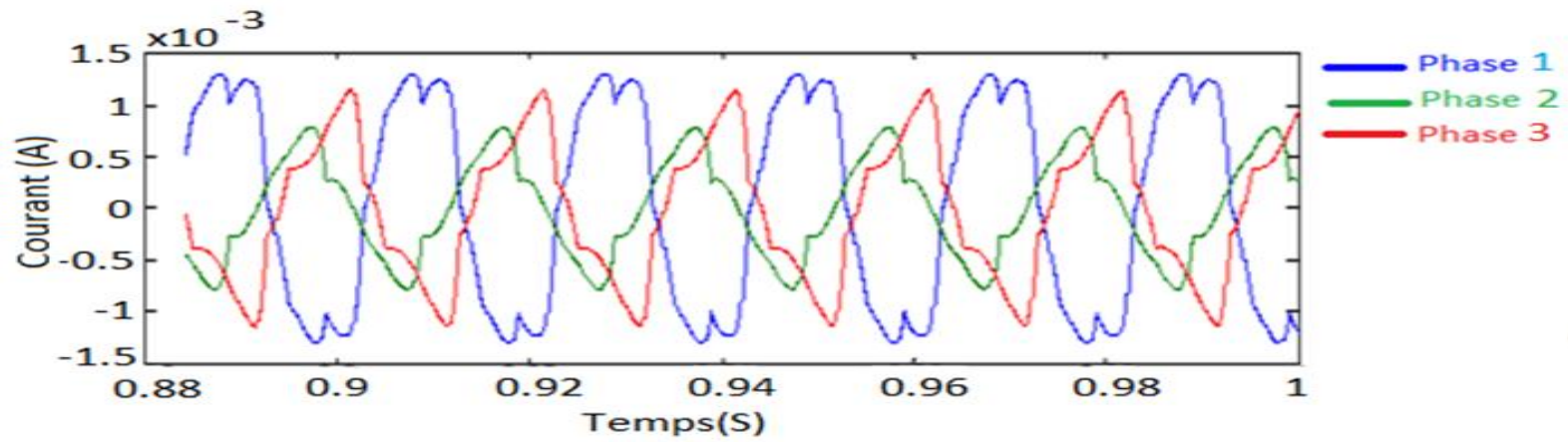
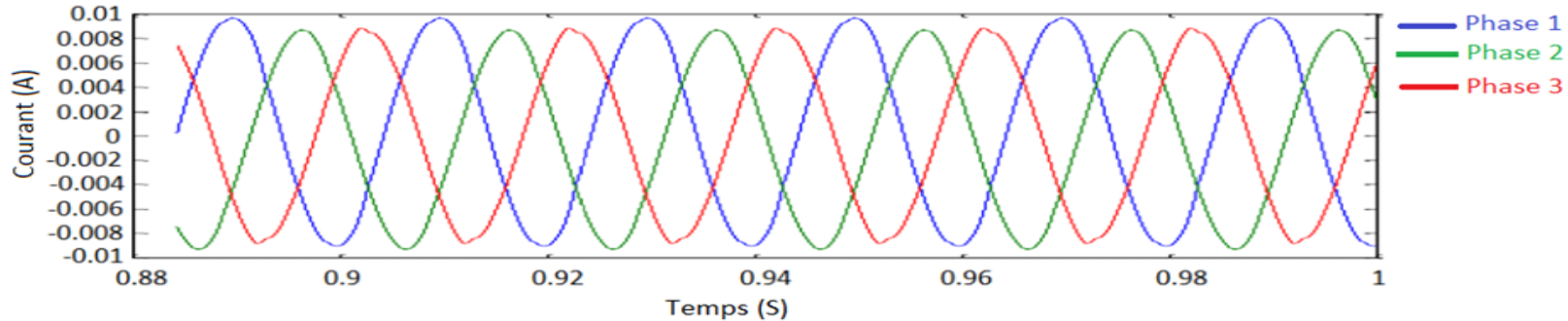


Fig. 25 : Cour.



## Résultats et Discussions (12/15)



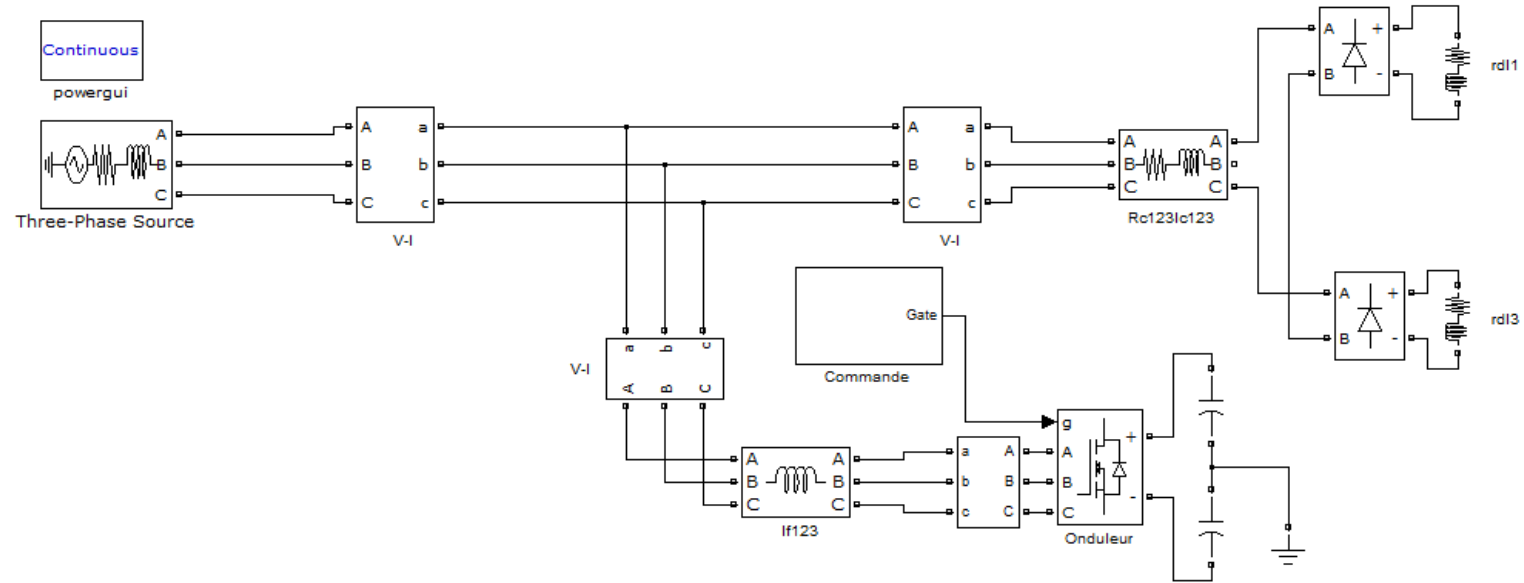
- **Harmoniques de courant de charge de chaque phase ont été compensés (THD<5%).**

**Nous remarquons également que le déséquilibre de courant a été corrigé.**

- **Energie réactive compensée par conséquent la forme du courant est redevenue sinusoïdale.**

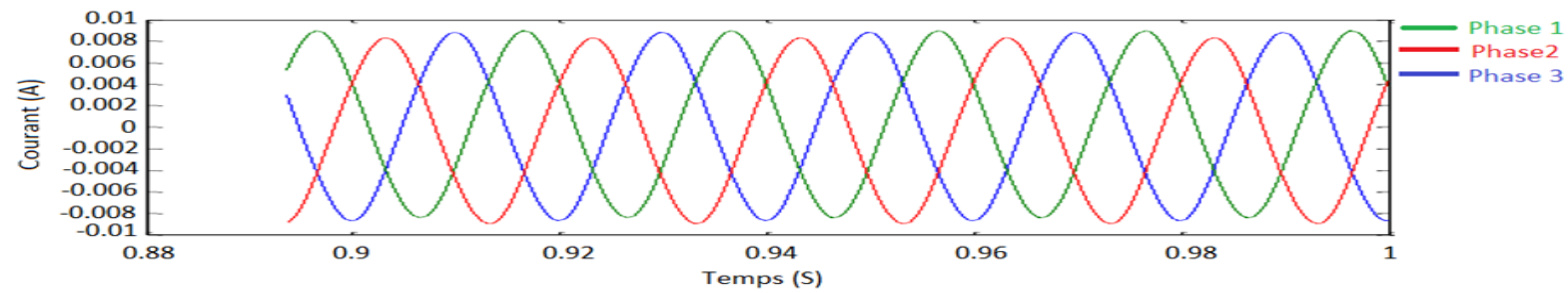
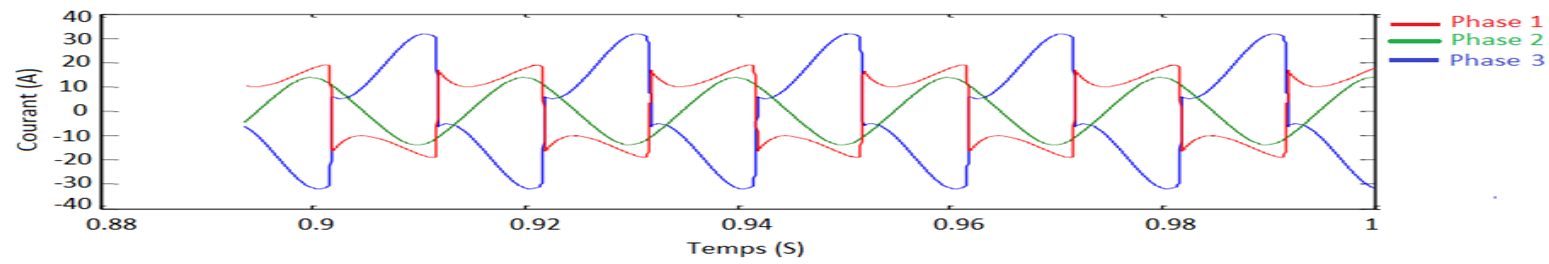
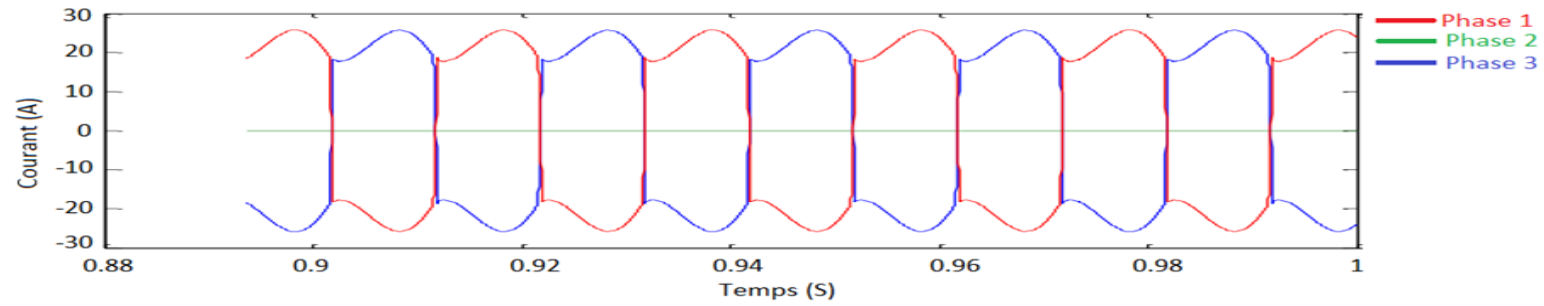
# Résultats et Discussions (13/15)

## ➤ Réseau électrique déséquilibré, défaut de phase 02 :



Le courant cote source est sinusoïdal par contre le courant coté charge est de la forme ci-dessous.

# Résultats et Discussions (14/15)



## Résultats et Discussions (15/15)

- **Harmoniques de courant de charge de chaque phase ont été compensés (THD<5%).**
- **Nous remarquons également que le déséquilibre de courant a été corrigé.**
- **Energie réactive compensée par conséquent la forme du courant est redevenue sinusoïdale.**

Tableau 6 : Le THD des courants sources après filtrage

	Réseau électrique équilibré	Réseau électrique déséquilibré, charge monophasée différente	Réseau électrique déséquilibré, défaut de phase
Phase1	2.21%	2.98%	2.34%
Phase2	2.21%	2.00%	2.14%
Phase3	2.21%	2.16%	2.00%

## 5-Conclusion et Perspectives

- THD<5%
- Compensation de l'énergie réactive
- Stockage (Tension non régulée) par conséquent facile à implémenter
- En perspective : montage série, hybride( parallèle - série) ou UPQC (Unified power Quality Controller)

**Merci de votre attention!**