

# Corrélation entre le nombre de taches solaires (Rz) et les événements de chocs au cours du cycle solaire 24

---

Nongobsom BAZIE<sup>1\*</sup>, Christian ZOUNDI<sup>1</sup>,  
Alfred Jean Stéphane DAMA<sup>1</sup>, Frédéric OUATTARA<sup>1</sup>

## Résumé

La corrélation entre Rz et les événements de chocs est étudiée en utilisant les profils temporels de Rz et de l'indice géomagnétique Aa. En évaluant l'activité des événements de chocs selon la classification de Legrand et Simon (1989) et Zerbo *et al.* (2012), l'étude a révélé une très faible corrélation entre les événements de chocs et Rz. Une prise en compte des données sur les éjections de masses coronales (CMEs) a permis d'isoler quatorze (14) cas de sudden storm commencement (SSC) qui ne sont pas provoqués par des CMEs. L'élimination de ces cas a permis d'obtenir une bonne corrélation entre Rz et l'activité de nuages magnétiques et entre Rz et les événements de chocs. Le coefficient de corrélation entre Rz et l'activité de chocs a évolué mais reste faible. Celui entre les événements de chocs est resté constant. Ces résultats, nettement en deçà de ceux de Zerbo *et al.* (2012) pour les cycles 11 à 23 pourraient trouver une explication dans la faible agitation du point de vue d'événements de chocs au cours du cycle 24.

**Mots clés :** CMEs, Activité de chocs, Nombre de taches solaires, Cycle solaire.

## Correlation between sunspot number (Rz) and shock events during the solar cycle 24.

### Abstract

The correlation between Rz and shock events is investigated using the temporal profiles of Rz and Aa geomagnetic index. By evaluating the activity of shock events according to the classification of Legrand et Simon (1989) and Zerbo *et al.* (2012), the study revealed a very low correlation between shock events and Rz. A consideration of coronal mass ejections (CMEs) data isolated fourteen (14) cases of sudden storm commencement (SSC) that were not caused by CMEs. The elimination of these cases resulted in a good correlation between Rz and magnetic cloud activity and between Rz and shock events. The correlation coefficient between Rz and shock activity has changed but remains low. That between shock events is constant. These results, clearly below those of Zerbo *et al.* (2012) for cycles 11 to 23, could be explained by the low agitation of shock events during cycle 24.

**Keywords :** CMEs, Shock activity, Sunspot number, Solar cycle.

---

<sup>1</sup> Laboratoire de Chimie Analytique, de Physiques Spatiale et Energétique (LACAPSE), Université Norbert Zongo, Koudougou, Burkina Faso.

\* **Auteur correspondant :** bazie.nongob21@gmail.com

# 1. Introduction

Dans le but d'identifier les sources solaires responsables des différentes perturbations géomagnétiques constatées, de nombreuses études ont été faites (Legrand et Simon, 1989; Richardson et al., 2000, 2002; Ouattara, 2009 ; Zerbo et al., 2011, 2012). Legrand et Simon (1989) proposèrent un découpage de l'activité géomagnétique en quatre (04) classes : l'activité calme, l'activité récurrente, l'activité de chocs et l'activité fluctuante. Zerbo et al. (2012) ont validé la classification de Legrand et Simon (1989) et l'ont améliorée en définissant trois (03) nouvelles classes d'activité à partir de l'activité fluctuante de la classification de Legrand et Simon (1989) : l'activité de co-rotation, l'activité de nuages magnétiques et l'activité non claire. En analysant l'activité géomagnétique des cycles 11 à 23, Zerbo et al. (2012) ont trouvé une bonne corrélation entre les deux (02) classes d'activité et le nombre de taches solaires (Rz). Dès lors, ils montrèrent que ces deux (02) classes d'activité constituent une et même classe d'activité d'évènements de chocs. Selon les études antérieures menées par des auteurs tels que Richardson et al. (2000), Richardson et al. (2002), Ouattara (2009) et Zerbo et al. (2012), l'activité d'évènements de chocs est liée aux éjections de masses coronales (CMEs). Elle est identifiée par les dates de SSC pour lesquelles les indices Aa sont supérieurs à 40 nT selon Legrand et Simon (1989) et  $Aa \geq 20$  nT selon Zerbo et al. (2012). Cependant, malgré la disponibilité des données sur les CMEs depuis 1996, aucune étude n'a été menée afin de savoir si tous les SSC identifiés au sens des critères ci-dessus et qui constituent l'activité de chocs de Legrand et Simon (1989) et l'activité de nuages magnétiques de Zerbo et al. (2012) sont des conséquences de CMEs. Le présent travail prolonge les travaux de Zerbo et al. (2012) sur l'activité géomagnétique mais ne s'intéresse qu'à l'activité géomagnétique liée aux éjections de masses coronales (CMEs). L'objectif de l'étude étant de restreindre ou de raffiner l'activité des évènements de chocs par la prise en compte des données sur les CMEs. Dans la section 2, les données et la méthodologie de l'étude sont présentées. Les résultats et les discussions sont présentés dans la section 3. Enfin, dans la section 4, est présentée la conclusion.

## 2. Données et méthodes utilisées

### 2. 1. Données utilisées

Les dates de début brusque d'orages (SSC) sont utilisées pour l'identification des jours de chocs dus aux CMEs. Les valeurs journalières des indices géomagnétiques Aa sont utilisées pour la construction des diagrammes pixels et pour l'étude de la variabilité temporelle des évènements de chocs. Les dates de SSC et les valeurs des indices géomagnétiques Aa sont disponibles sur le site : [http://isgi.unistra.fr/data\\_download.php](http://isgi.unistra.fr/data_download.php). Le nombre de Wolf ou nombre de taches (Rz) utilisé, pour l'étude de la variabilité

temporelle du nombre de taches solaires ( $R_z$ ) provient du site : [www.sidc.oma.be/silso/datafiles](http://www.sidc.oma.be/silso/datafiles). Les données sur les CMEs sont utilisées pour l'identification des dates des CMEs ainsi que leurs caractéristiques (vitesse, nature, etc.). Elles sont disponibles depuis 1996 sur le site : [http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME\\_list](http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list).

## 2.2. Méthodologie

Notre méthodologie consiste à indiquer le processus utilisé pour sélectionner les différents types de chocs et de nuages magnétiques de la période d'étude et pour obtenir la somme annuelle des valeurs de Aa pour chaque classe d'activité d'événements de chocs.

### 2.2.1. Classification de Legrand et Simon 1989

La contribution des ondes de chocs à l'activité géomagnétique caractéristique de l'activité de chocs et l'étroite corrélation entre l'indice géomagnétique Aa (Mayaud, 1971 ; Mayaud, 1972 ; Mayaud, 1973 ; Mayaud, 1980) et le vent solaire (Svalgaard, 1977), ont permis à Legrand et Simon (1989) de classer l'activité géomagnétique en quatre (04) classes :

- ✓ **L'activité calme** : elle correspond aux jours dont les indices Aa  $< 20$  nT (Ouattara, 2009 ; Zerbo et *al.*, 2012). Elle est la manifestation des vents solaires lents ( $< 450$  km/s) soufflant continuellement au-delà de la magnétosphère (Ouattara, 2009 ; Zerbo et *al.*, 2012).
- ✓ **L'activité récurrente** : elle correspond aux jours ayant des indices Aa compris entre 40 nT et 60 nT sans SSC et qui présentent une évolution ininterrompue pendant une ou plusieurs rotations solaires ( Zerbo et *al.*, 2012). Elle est la manifestation des vents solaires rapides issus des trous coronaux (Ouattara, 2009 ; Zerbo et *al.*, 2012) .
- ✓ **L'activité de chocs** : elle correspond aux jours de SSC pour lesquels les indices restent  $> 40$  nT sur un (01), deux (02), trois (03) jours (Ouattara, 2009 ; Zerbo et *al.*, 2012). Elle est due aux éjections de masses coronales (CMEs) qui s'accompagnent des vents solaires rapides (Richardson et *al.*, 2000, 2002 ; Ouattara, 2009 ; Zerbo et *al.*, 2012).
- ✓ **L'activité fluctuante** : elle regroupe tous les jours ne faisant pas partie des trois (03) premières classes. Elle est due aux fluctuations engendrées au cours de l'écoulement des vents solaires modérés et rapides qui provoquent la fluctuation de la lame neutre du soleil (Ouattara, 2009 ; Zerbo et *al.*, 2012).

## 2.2.2. Classification de Zerbo et al. 2012

En analysant une longue série de données géomagnétiques Aa, Zerbo et al. (2012) ont validé la classification de Legrand et Simon (1989) et l'ont améliorée. En effet, en plus des trois (03) types d'activités (calme, récurrente et choc), Zerbo et al. (2012) ont défini trois (03) classes d'activité à partir de l'activité fluctuante de la classification de Legrand et Simon :

- ✓ L'activité de co-rotation : elle est définie comme la manifestation des vents solaires, stables en co-rotation et ayant des effets magnétiques modérés au voisinage de l'environnement terrestre. Elle est liée à l'énergie solaire stable co-rotatrice des vents solaires à faible effet géomagnétique. Les jours d'activité modérée co-rotatrice sont caractérisés par une valeur de Aa comprise entre 20 nT et 40 nT ( $20 \text{ nT} \leq Aa < 40 \text{ nT}$ ) sans SSC et s'étalant sur plusieurs rotations de Bartels.
- ✓ L'activité de nuages magnétiques : elle est engendrée par les éjections de masses coronales (CMEs) d'intensité faible et entraînant une augmentation modérée du niveau d'activité. Les jours d'activité de nuages magnétiques correspondent aux jours de SSC avec une valeur de l'indice Aa comprise entre 20 nT et 40 nT ( $20 \text{ nT} \leq Aa < 40 \text{ nT}$ ) et s'étalant sur deux (02) ou trois (03) jours y compris le jour de la date de SSC.
- ✓ L'activité non claire : cette activité transitoire est composée des jours non inclus dans aucune autre classe. Les jours d'activité non claire sont obtenus en soustrayant des données tous les jours des autres types d'activité.

Ainsi, nous obtenons six (06) classes d'activités géomagnétiques au lieu de quatre (04). Il importe de préciser que l'activité de choc dans la classification de Legrand et Simon (1989) et l'activité de nuages magnétiques dans la classification de Zerbo et al. (2012) constituent une et même classe d'activité d'évènements de chocs. De même l'activité récurrente et l'activité de co-rotation constituent une et même classe d'évènements récurrents.

## 2.2.3. Méthodes de détermination des jours d'activités de chocs et de nuages magnétiques

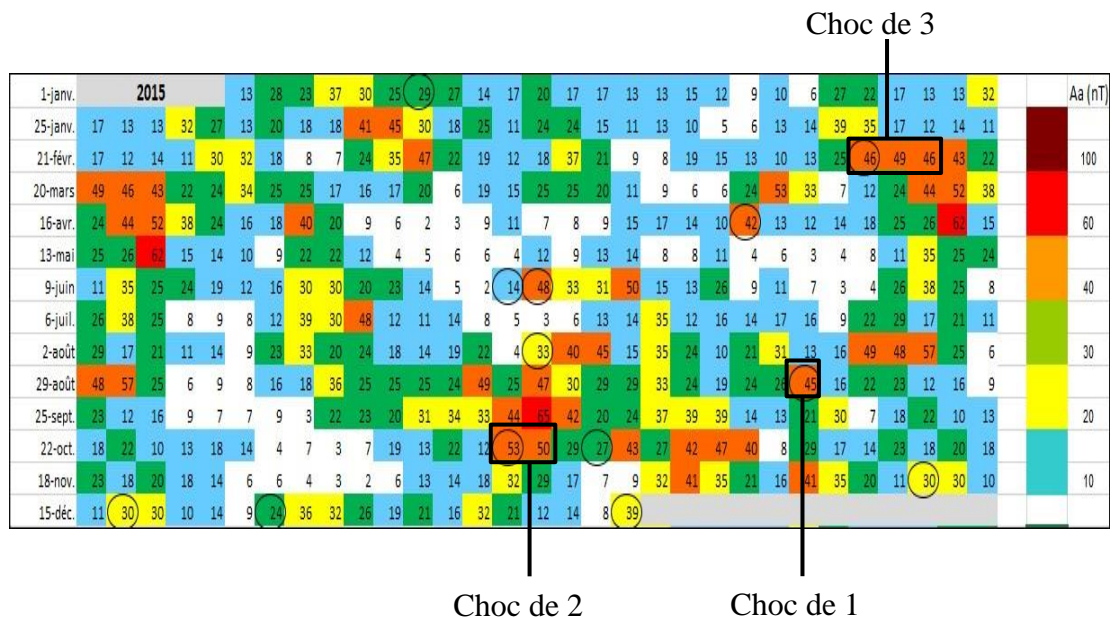
Pour la sélection des jours d'activité de choc, nous avons utilisé les douze (12) diagrammes pixels des années concernées (2008-2018) que nous avons construits. Les diagrammes sont construits en procédant au filtrage par couleur des valeurs des indices géomagnétiques Aa suivant le code de couleur défini par Legrand et Simon (1989) et Ouattara et al., (2009)

## Détermination des jours d'activités de chocs

Les trois (03) types d'activités de jours de chocs sont identifiés suivant la durée de leur action (Gyébré et *al.*, 2015; Ouattara et *al.*, 2015) :

- ✓ Le choc d'un (01) jour correspond au seul jour où apparaît le commencement brusque d'orage (SSC : sudden storm commencement) : l'indice Aa  $\geq 40$  nT sur un seul jour (jour correspondant au commencement brusque d'orage) ;
- ✓ Le choc de deux (02) jours est identifié par le SSC et le jour suivant : l'indice Aa reste supérieur à 40 nT sur deux (02) jours ;
- ✓ Le choc de trois (03) jours est identifié par le SSC et les deux (02) jours suivants : l'indice Aa reste supérieur à 40 nT sur trois (03) jours.

Dans notre étude, nous avons sélectionné au total dix-neuf (19) chocs dont douze (12) chocs de durée un (01) jour (choc de 1 jour), trois (03) chocs de durée deux (02) jours (choc de 2 jours et quatre (04) chocs de durée trois (03) jours (choc de 3 jours). **La figure 1** donne un exemple de chaque type de chocs de CMEs.



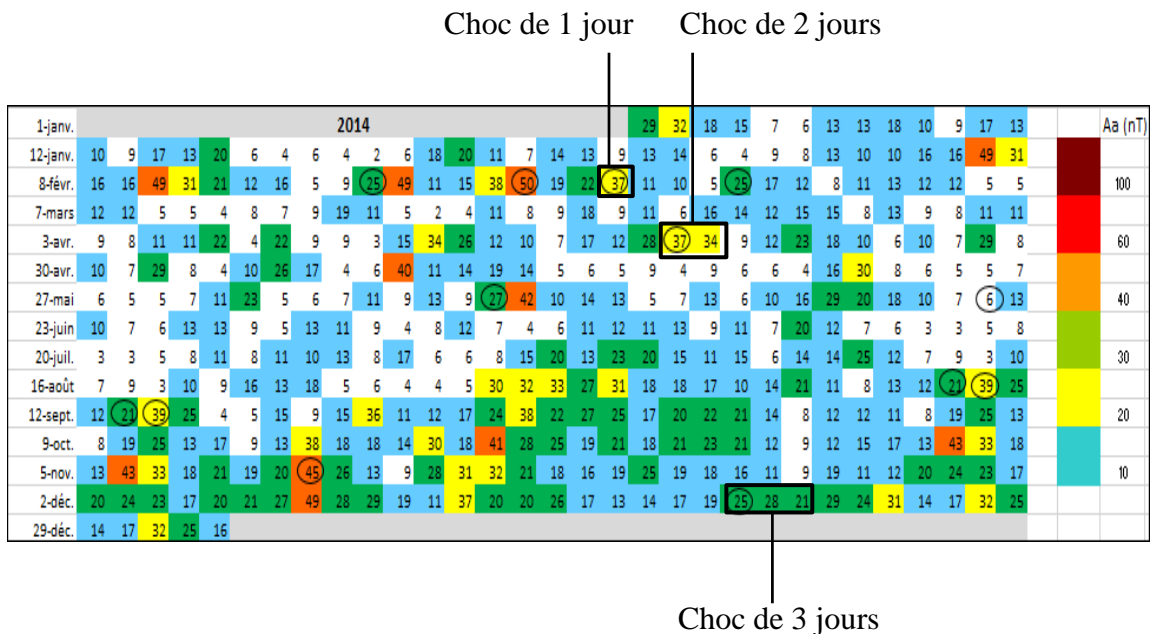
**Figure 1:** Diagramme pixel de 2015 dans lequel sont illustrés les trois (03) types de jours de choc.

## Détermination des jours de nuages magnétiques

Les trois (03) types de jours de nuages magnétiques sont identifiés suivant la durée de leur action ( Zerbo et *al.*, 2012 ; Kaboré et *al.*, 2021) :

- ✓ Le choc d'un (01) jour correspond au seul jour où apparaît le commencement brusque d'orage (SSC : sudden storm commencement) : l'indice Aa > = 20 nT sur un seul jour (jour correspondant au commencement brusque d'orage) ;
- ✓ Le choc de deux (02) jours est identifié par le SSC et le jour suivant : l'indice Aa reste supérieur ou égal à 20 nT et inférieur à 40 nT sur deux (02) jours ;
- ✓ Le choc de trois (03) jours est identifié par le SSC et les deux (02) jours suivants : l'indice Aa reste supérieur à 20 nT et inférieur à 40 nT sur trois (03) jours.

Dans notre étude, nous avons sélectionné au total quarante-sept (47) chocs dont vingt-six (26) chocs de durée un (01) jour (choc de 1 jour), quatorze (14) chocs de durée deux (02) jours (choc de 2 jours) et sept (07) chocs de durée trois (03) jours (choc de 3 jours). **La figure 2** donne un exemple de chaque type de chocs de CMEs.



**Figure 2 :** Diagramme pixel de 2014 dans lequel sont illustrés les trois types (03) de jours de nuages magnétiques.

Dans la suite de nos travaux nous analyserons la contribution de ces deux (02) classes d'activités de chocs à l'activité géomagnétique globale en se basant sur les données géomagnétiques Aa.

### 2.2.3. Restriction des jours d'activités de chocs et de nuages magnétiques

Pour restreindre les jours de chocs obtenus selon les classifications de Legrand et Simon (1989) et Zerbo et *al.* (2012) telles que définies dans les sections précédentes, nous avons analysé les données sur les CMEs durant la période d'étude (cycle solaire 24) afin de savoir si les jours sélectionnés sur la base des critères de Legrand et Simon (1989) et de Zerbo et *al.* (2012) sont effectivement impactés par des CMEs. Cette analyse consiste, après avoir identifié un SSC remplissant les conditions de Legrand et Simon (1989) ou de Zerbo et *al.* (2012) pour être un jour de choc ou de nuage magnétique, à vérifier s'il y a eu une CME en amont à même d'être la cause de ce SSC. Les CMEs susceptibles d'impacter l'environnement terrestre sont celles qui se dirigent vers la Terre. Elles sont de deux (02) types : les CMEs partielles (partial halo CMEs) et les CMEs complètes (halo CMEs). Si une CME susceptible de générer un choc sur l'environnement terrestre est repérée en amont d'un jour de SSC, nous identifions sa date d'émission et sa vitesse moyenne de propagation. Et dès lors nous sommes à mesure d'estimer sa date d'arrivée sur l'environnement terrestre et à même de savoir si cette CME est effectivement la cause du SSC. Si tel n'est pas le cas, ce jour de SSC n'est pas considéré comme un jour de choc ou de nuage magnétique. Aussi, lorsqu'une CME susceptible de générer un choc n'a été observé en amont du jour de SSC, ce jour n'est pas compté pour un jour de choc ou de nuage magnétique. Dans le paragraphe suivant nous présentons un exemple de vérification.

Considérons les SSC du 14/07/2012, 26/01/2017 et 20/04/2018. Sur le site web de la NASA, [http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME\\_list](http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list), nous trouvons que la seule CME qui correspond à l'événement du 14/07/2012 est celle du 12/07/2012. Pour l'événement du 26/01/2017, nous observons une CME de type « partial halo » le 10/01/2017 mais cette CME n'est pas responsable du SSC car elle arrive sur la magnétosphère terrestre plutôt d'après nos calculs. Pour l'évènement du 20/04/2018, nous n'observons aucune CME en amont. Les évènements du 26/01/2017 et 20/04/2018 qui ne sont pas causés par des CMEs ne sont pas des jours de chocs. Par contre le 14/07/2012 est un jour de choc car l'évènement qui y survenu est la conséquence d'une CME. Le tableau ci-après récapitule les caractéristiques des CMEs que nous avons considérées. La prise en compte des données sur les CMEs nous a permis d'isoler quatorze (14) cas de chocs dont trois (03) cas pour l'activité de chocs et onze (11) cas pour l'activité de nuages magnétiques majoritairement localisés dans la phase descendante (2015-2018) du cycle. Ces quatorze (14) cas éliminés correspondent à un pourcentage d'environ 21% par rapport au nombre total de chocs enregistrés sur l'ensemble du cycle 24 selon les critères de Legrand et Simon (1989) et de Zerbo et *al.* (2012). Le tableau II donne la répartition des évènements de chocs par phases du cycle solaire

**Tableau I : Caractéristiques de CMEs et leurs dates probables d'arrivée sur l'environnement terrestre.**

Date de CME	TU : Heure d'émission	Type de CME	Vitesse linéaire (km/s)	Date et Heure d'arrivée
12/07/2012	16 : 48 : 05	Halo	885	14/07/2012 (15 :52 :57)
10/01/2017	11 : 00 : 05	Partial Halo	150	21/01/2017 (23 : 46 :45)

**Tableau II : Répartition des évènements de chocs par phases du cycle solaire 24.**

phases	minimum	ascendante	maximum	descendante
Nombre de chocs	0	2	6	8
Nuages magnétiques	0	11	16	9
Evènements de Chocs	0	13	22	17

#### 2.2.4. Détermination de la somme par an du niveau de chaque classe d'activité

Nous obtenons la somme de l'activité géomagnétique globale  $\Sigma Aa$  pour chaque année en utilisant la formule suivante :

$$\Sigma Aa = \Sigma Aa (\text{calme}) + \Sigma Aa (\text{récurrent}) + \Sigma Aa (\text{choc}) + \Sigma Aa (\text{fluctuant}) \quad (1)$$

$\Sigma Aa$  (calme) est la somme des indices  $Aa$  journaliers pour tous les jours calmes,  $\Sigma Aa$  (récurrent) représente la somme des indices  $Aa$  journaliers pour tous les jours récurrents,  $\Sigma Aa$  (choc) traduit la somme des indices  $Aa$  journaliers pour tous les jours de chocs et  $\Sigma Aa$  (fluctuant) désigne la somme des indices  $Aa$  des jours fluctuants.

La contribution de chaque activité d'évènements de chocs à l'activité géomagnétique globale annuelle, exprimée ici, en pourcentage % est donnée par les formules ci-après :

$$\%(\text{Activité de chocs}) = \frac{\Sigma Aa (\text{choc})}{\Sigma Aa} \times 100 \quad (2)$$

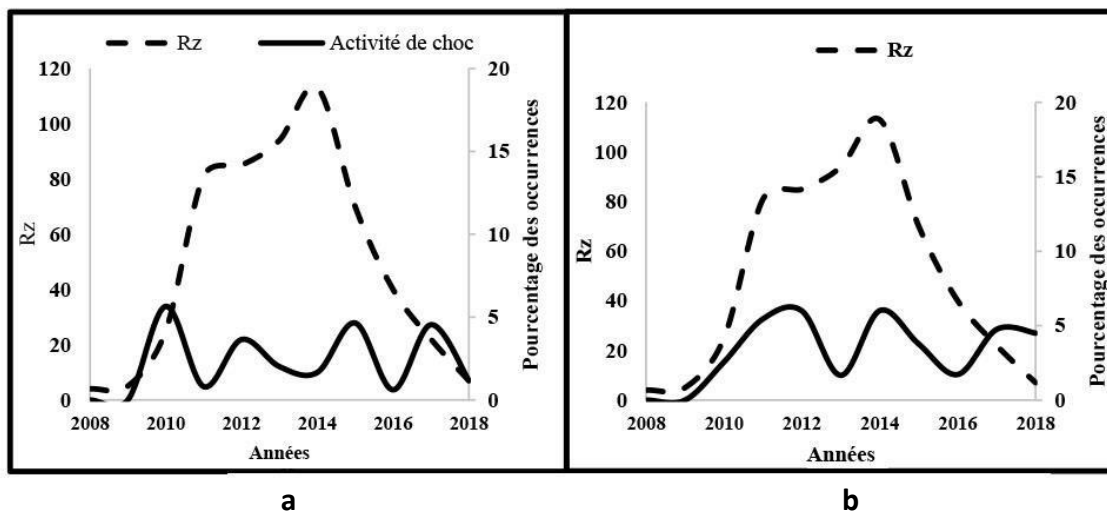
$$\%(\text{Nuages magnétiques}) = \frac{\Sigma Aa (\text{Nuages magnétiques})}{\Sigma Aa} \times 100 \quad (3)$$

$$\%(\text{Chocs} + \text{Nuages magnétiques}) = \frac{\Sigma Aa (\text{choc}) + \Sigma Aa (\text{Nuages magnétiques})}{\Sigma Aa} \times 100 \quad (4)$$



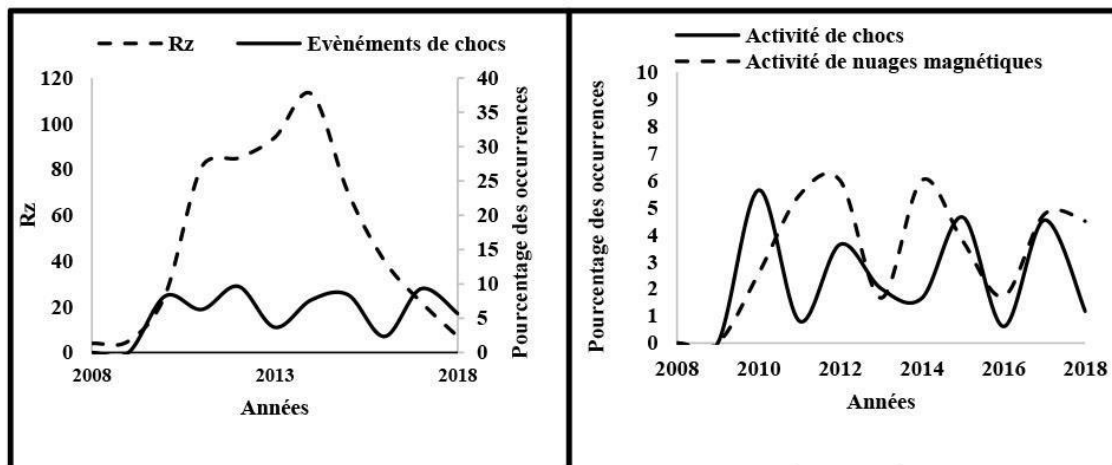
### 3. Résultats et Discussions

Les figures 3.a et 3.b superposent le profil du nombre de taches (Rz) et les profils de l'activité de choc et l'activité de nuages magnétiques respectivement sur la période allant de 2008 à 2018. Elles montrent que l'activité de chocs et de nuages magnétiques suivent le cycle solaire. Ce résultat a été déjà prouvé par des auteurs tels que Ouattara (2009), Zerbo *et al.* (2012), Ouattara *et al.* (2015) et Gyébré *et al.* (2015) en analysant les données géomagnétiques Aa des cycles 11 à 23. L'investigation des données géomagnétiques Aa des cycles 11 à 23 par ces mêmes auteurs a révélé une très bonne corrélation entre l'activité de chocs et le nombre de taches (Rz). Cette corrélation semble être hypothéquée pour le cycle 24. En effet, dans notre étude nous trouvons un coefficient de corrélation de 0,15 entre l'activité de chocs et le nombre de taches (Rz) (figure 3.a) et un coefficient de corrélation de 0,57 entre l'activité de nuages magnétiques et le nombre de taches (Rz) (figure 3.b). Ouattara (2009) a lié le déphasage entre l'activité de choc et le nombre de taches (Rz) à une erreur provenant de la méthode de détermination des jours de chocs.



**Figure 3:** Couplage nombre de taches (Rz) avec (a) chocs, (b) nuages magnétiques.

Les figures 4.a et 4.b présentent d'une part la superposition des profils temporels des événements de chocs (activité de chocs + activité de nuages magnétiques) et du nombre de taches (Rz) et d'autre part celle des profils de l'activité de chocs et de nuages magnétiques au cycle solaire 24. Les événements de chocs présentent des pics importants au maximum du cycle. Ce qui est bien concordant avec les conclusions des travaux de Zerbo *et al.* (2012). Cependant, les événements liés à l'activité de chocs ne corrént pas très bien avec le nombre de taches (Rz). Le coefficient de corrélation est de 0,45.



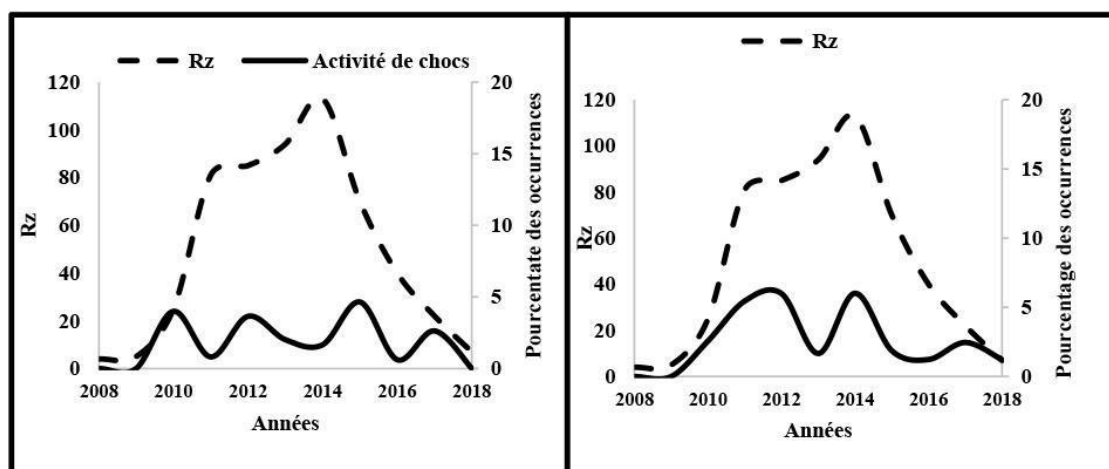
a

b

**Figure 4 :** a) Couplage nombre de taches (Rz) et Evènement de chocs et b) Profils temporels de l'activité de choc et l'activité de nuages magnétiques.

L'analyse de la figure 4.b révèle également une très faible corrélation entre les deux (02) activités d'événements de chocs pour tout le cycle solaire 24 (le coefficient de corrélation vaut 0,39). Ce résultat est aussi en désaccord avec les travaux de Zerbo *et al.* (2012) qui ont trouvé un coefficient de corrélation supérieur à 0,79 pour les cycles solaires 11 à 23.

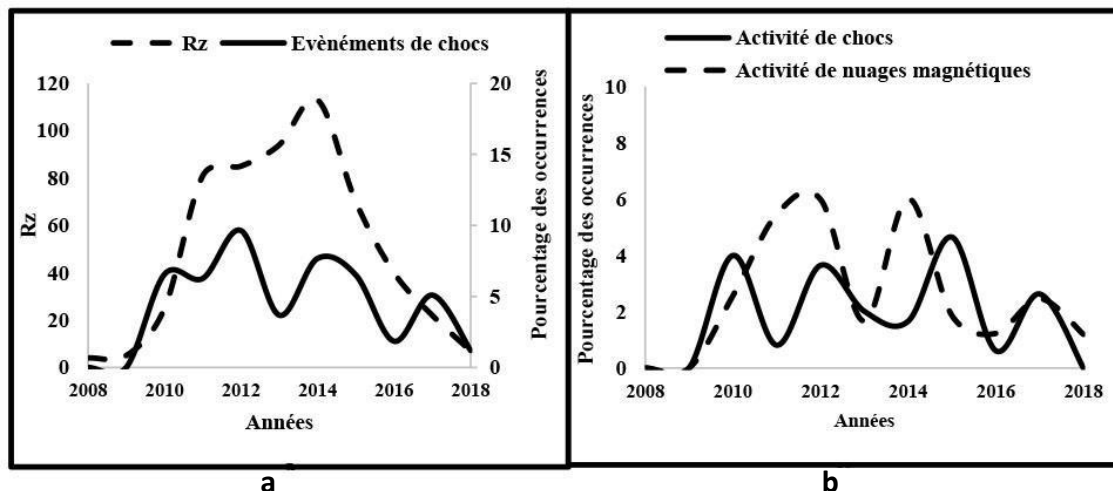
Les figures 5 et 6 présentent les profils temporels de l'évolution des niveaux annuels de chaque classe d'activité de chocs (activité de chocs et activité de nuages magnétiques après avoir éliminé les quatorze (14) cas de chocs en prenant en compte le critère de restriction) et du nombre de taches (Rz) de 2008-2018.



a

b

**Figure 5 :** Couplage nombre de taches (Rz) avec (a) chocs, (b) nuages magnétiques.



**Figure 6 : a) Couplage nombre de taches (Rz) et Evénement de chocs et b) profils temporels de l'activité de choc et l'activité de nuages magnétiques.**

La figure 5.a, montre que l'activité de chocs suit le cycle des taches et présente quatre (04) pics : un (01) pic en 2010, un (01) pic 2012, un (01) pic 2015 et un (01) pic 2017. Ces résultats sont presque similaires à ceux de la figure 3.a, seulement que la plus grande contribution de l'activité de chocs sur la figure 6.a est maintenant enregistrée en 2015 et non en 2010 comme l'illustre la figure 3.a. Nous observons également une baisse du niveau de contribution de l'activité de chocs en 2017. Ces disparités sont dues à l'élimination des jours qui ne sont pas impactés par des CMEs. Le coefficient de corrélation du nombre taches (Rz) et l'activité de chocs est passé de 0,15 à 0,39. Certes, le coefficient de corrélation entre le nombre de taches (Rz) et l'activité de chocs a connu une évolution très significative mais reste tout de même faible. La faible corrélation entre le nombre de taches (Rz) et l'activité de chocs pourrait trouver une explication sur le fait que le cycle solaire 24 n'a pas été magnétiquement perturbé en général et n'a pas enregistré des chocs sévères en particulier.

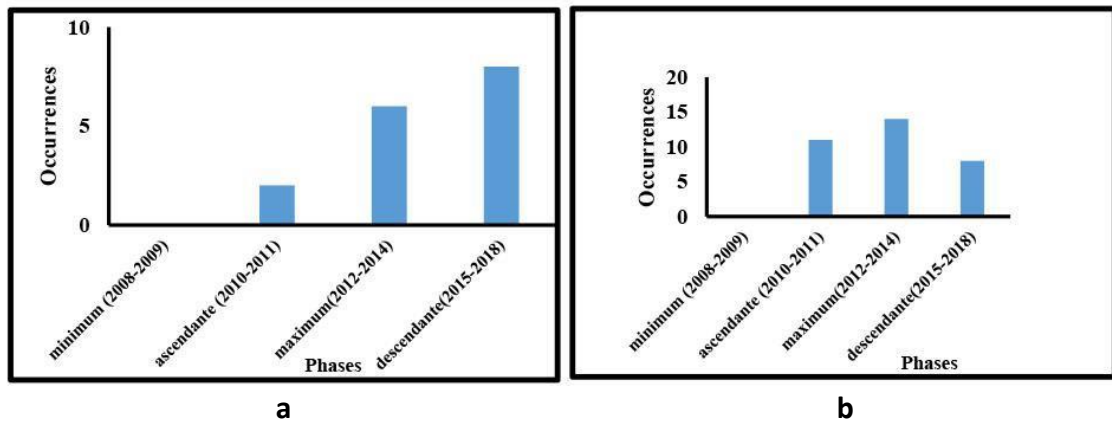
La figure 5.b, garde presque la même morphologie que la figure 3.b. Cependant, l'élimination des jours n'ayant pas été impactés par des CMEs a entraîné une baisse du niveau de la contribution de l'activité de nuages magnétiques surtout à la fin de la phase descendante du cycle solaire. Nous enregistrons une très bonne corrélation entre le nombre de taches (Rz) et l'activité de nuages magnétiques. Le coefficient de corrélation sensiblement égal à 0,8 est en parfait accord avec les résultats de Zerbo et *al.* (2012).

La figure 6.a montré que la plus grande contribution des événements liés à l'onde de chocs est enregistrée en 2012 (début de la phase maximum). Elle révèle aussi un coefficient de corrélation de 0,72. Cela traduit une bonne corrélation entre l'activité des

événements de chocs (activité de chocs + activité de nuages magnétiques). La figure 6.b montre que la plus grande contribution de l'activité de nuages magnétiques est prépondérante en 2012 et 2014. Le niveau maximal de la contribution de l'activité de chocs est enregistré en 2010. Le coefficient de corrélation entre les deux (02) activités n'a pas connu d'évolution. Ce résultat est nettement en deçà de celui de Zerbo et *al.* (2012). En effet, ils ont trouvé un coefficient de corrélation supérieur ou égal 0,79 pour les cycles 11 à 23. La nette différence est peut-être due à la faible agitation du point de vue d'événements de chocs au cours du cycle solaire 24.

Les figures 7.a et 7.b présentent respectivement les occurrences de l'activité de choc et de l'activité de nuages magnétiques sans distinction du type de CMEs suivant les phases du cycle des taches solaires.

La figure 7.b montre que l'activité de nuages magnétiques présente son niveau maximal en même temps que le maximum d'évolution du nombre de taches solaires. La figure 7.a montre que l'activité de choc enregistre son niveau maximal à la phase descendante du cycle solaire. Ce résultat confirme les travaux de Zerbo et *al.* (2012), Ouattara et *al.* (2015), Gyébré et *al.* (2015) qui ont trouvé aussi des cycles au cours desquels le niveau maximal de l'activité de chocs n'est pas enregistré à la phase maximum. Autre fait important à noter est que, du cycle 11 au cycle 23, le cycle solaire 24 est le cycle le moins actif en activité de chocs avec un nombre de chocs enregistré égal à seize (16).



**Figure 7 :** Occurrences a) Activité de chocs et b) Activité de nuages magnétiques au cours du cycle 24 suivant les phases du cycle des taches solaires.

## 4. Conclusion

Nous avons analysé la variabilité des occurrences des activités de chocs et de nuages magnétiques au cours du cycle solaire 24, évaluées suivant les critères de Legrand et Simon (1989) et Zerbo et *al.* (2012). Nous avons obtenu une très faible corrélation entre

les événements liés à l'onde de choc et le nombre de taches solaires ( $R_z$ ) contrairement aux cycles solaires 11 à 23. Il en résulte donc que tous les jours considérés comme ayant été impactés par des CMEs dans la sélection de Legrand et Simon (1989), et Zerbo et *al.* (2012) ne le sont pas forcément. Nous avons donc proposé une prise en compte des données sur les CMEs dans la sélection de l'activité de chocs et de nuages magnétiques. Cela nous a permis d'avoir une bonne corrélation entre le nombre de taches ( $R_z$ ) et les événements liés à l'onde de choc.

## Références bibliographiques

Gyébré A. M. F., Ouattara F., Kaboré S. et Zerbo J. L., 2015. Time variation of shock activity due to moderate and severe CMEs from 1966 to 1998. *British Journal of Science*, 13(1), 1-7.

Kaboré S., Guibula K., Zerbo J. L. et Ouattara F., 2021. Solar activities and geomagnetism : Long-term statistical study of magnetic clouds activity day's occurrence as a function of the phases of solar cycles 11 to 24. *International Journal of Physical Sciences*, 16(4), 180-187.

Legrand J. P. et Simon P. A., 1989. Solar cycle and geomagnetic activity : A review for geophysicists. Part I. The contributions to geomagnetic activity. *Annales geophysicae*, 7(6), 565-578.

Mayaud P., 1973. A hundred year series of geomagnetic data, 1868-1967 : Indices aa, storm sudden commencements. *Iaga Bulletin*, 33, 256.

Mayaud P. N., 1971. Une mesure planétaire d'activité magnétique, basée sur deux observatoires antipodaux. *Ann. Geophys*, 27(1), 67-70.

Mayaud P. N., 1980. Derivation, Meaning, and Use of Geomagnetic Indices. *Washington DC American Geophysical Union Geophysical Monograph Series*, 22, 607.

Mayaud P.-N., 1972. The aa indices : A 100-year series characterizing the magnetic activity. *Journal of Geophysical Research*, 77(34), 6870-6874.

Ouattara F., 2009. Relationship between geomagnetic classes' activity phases and their occurrence during the sunspot cycle. *Annals of Geophysics*, 52(2), 107-116.

Ouattara F., Amory-Mazaudier C., Menvielle M., Simon P. et Legrand J.-P., 2009. On the long term change in the geomagnetic activity during the 20th century. *Annales Geophysicae*, 27(5), 2045-2051.

Ouattara F., Kaboré S., Gyébré A. M. F. et Zerbo J. L., 2015. CMEs' shock occurrences from solar cycle 11 to solar cycle 23. *European Journal of Scientific Research*, 130(01), 153-159.

Richardson I. G., Cane H. V. et Cliver E. W., 2002. Sources of geomagnetic activity during nearly three solar cycles (1972–2000). *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 107(A8), SSH 8-1-SSH 8-13.

Richardson I. G., Cliver E. W. et Cane H. V., 2000. Sources of geomagnetic activity over the solar cycle : Relative importance of coronal mass ejections, high-speed streams, and slow solar wind. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 105(A8), 18203-18213.

Svalgaard L., 1977. Geomagnetic activity : Dependence on solar wind parameters. In « Coronal Holes and High Speed Wind Streams », J.B. Zirker, Colorado Associated University Press, Boulder, p. 371-441.

Zerbo J. L., Amory Mazaudier C., Ouattara F. et Richardson J. D., 2012. Solar wind and geomagnetism : Toward a standard classification of geomagnetic activity from 1868 to 2009. *Annales Geophysicae*, 30(2), 421-426.

Zerbo J. L., Ouattara F., Zoundi C. et Gyébré A., 2011. Solar cycle 23 and geomagnetic activity since 1868. *La Revue CAMES : La Série A*, 12(2), 255-262.

## Remerciements

Nous remercions the international service of geomagnetic indices (ISGI) pour les données des indices Aa et des dates de SSC, the sunspot index and long-term solar observations(SILSO) pour les données de Rz. Nous remercions également la NASA pour les données sur les CMEs.