



La revue francophone sur les fourrages et les prairies

The French Journal on Grasslands and Forages

Cet article de la revue **Fourrages**,
est édité par l'Association Francophone pour les Prairies et les
Fourrages

Pour toute recherche dans la base de données
et pour vous abonner :

www.afpf-asso.fr



AFPF - Maison Nationale des Eleveurs - 149 rue de Bercy -75595 Paris Cedex 12
Tel. : +33.(0)1.40.04.52.00 - Mail : contact@afpf-asso.fr

Association Francophone pour les Prairies et les Fourrages

Réponses de la phytomasse herbacée aux fluctuations de la pluviométrie en milieu pâturé sahélien du Ferlo

O. Diatta^{1,2}, O. Ndiaye¹, D. Ngom², S. Diatta², R. Fensholt³, T. Tagesson^{3,4} et S. Taugourdeau^{5,6}

RESUME

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'influence de la saison des pluies sur quelques paramètres de la phytomasse herbacée. L'étude s'est déroulée dans une zone de libre pâturage où les mesures de phytomasse sont faites tous les dix jours et les pluies journalières relevées durant toute la saison des pluies pendant onze ans. Le test de corrélation de Spearman et l'analyse en composantes principales (ACP) ont été utilisés. Les résultats montrent que la production de phytomasse démarre à moins de 1000 kg/ha et atteint un niveau maximal de 2587 kg/ha en 21 jours de pluie pour une durée de 99 jours en moyenne. Cette production de phytomasse est positivement corrélée à la quantité totale de pluie, au nombre de pauses pluviométriques, au nombre de jours de pluie et à la fréquence des pluies journalières. Elle est négativement corrélée à la plus longue pause de la saison des pluies. La vitesse de croissance est liée positivement à la plus longue pause et négativement au nombre de pauses pluviométriques. Plus les pluies sont précoces, plus le pic de phytomasse est élevé alors que les pluies tardives font apparaître ce pic plus tôt. La période qui va du début de la saison des pluies jusqu'à la date d'apparition du pic de phytomasse fait ressortir plus de liens que pour toute la saison des pluies. L'efficacité d'utilisation de la pluie n'est pas liée à la saison des pluies. Elle n'a présenté de corrélation ni avec le test de Spearman ni avec l'ACP. Les résultats de l'ACP et ceux du test de Spearman ont été d'une complémentarité bénéfique dans cette étude. Pour étudier les liens entre les paramètres de la saison des pluies et ceux de la phytomasse herbacée, la meilleure période à considérer est celle allant du début de la saison des pluies jusqu'aux pics de phytomasse.

SUMMARY

Responses of the herbaceous phytomass to rainfall fluctuations in the Sahelian pasture environment of Ferlo

The objective of this study is to assess the influence of the rainy season on some parameters of the herbaceous phytomass. The study took place in a free-grazing area where phytomass measurements have been made every ten days and daily rains recorded throughout the rainy season for eleven years. The Spearman correlation test and principal component analysis (PCA) were used. The results show that the production of phytomass starts at less than 1000 kg/ha and reaches a maximum level of 2587 kg/ha in 21 days of rain for a duration of 99 days on average. This production of phytomass is positively correlated with the total amount of rain, the number of rain breaks, the number of rainy days and the frequency of daily rains. It is negatively correlated with the longest break in the rainy season. The growth rate is positively related to the longest break and negatively to the number of rain breaks. The earlier the rains are, the higher the phytomass peak is, whereas the late rains make this peak appear earlier. The period from the start of the rainy season until the date of the peak of the phytomass appearance brings out more links than the entire rainy season. The rain use efficiency is not related to the rainy season. It was not correlated with either the Spearman test or the PCA. The results of the PCA and those of Spearman's test were of complementary benefit in this study. In order to study the links between the parameters of the rainy season and those of the herbaceous phytomass, the best period to consider is from the beginning of the rainy season to the peaks of phytomass.

Le Sahel est une région qui s'étend sur près de 6000 km des côtes Atlantiques de la Mauritanie et du Sénégal à l'ouest, à celles de la mer Rouge au

Soudan à l'est, et sur une largeur de 400 à 600 km du sud du Sahara à la zone soudanienne (Hiernaux et Le Houérou, 2006). Ses pâturages occupent environ 1,5

AUTEURS

1 : Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, CRZ Dahra, Sénégal

2 : Université Cheikh Anta Diop, FST, Département de Biologie végétale, Dakar, Sénégal

3 : Department of Geosciences and Natural Resource Management, University of Copenhagen, Øster Voldgade 10, DK-1350 Copenhagen, Denmark

4 : Department of Physical Geography and Ecosystem Science, Lund University, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden

5 : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, UMR SELMET, Montpellier, France

6 : Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, LNERV DP PPZS, Dakar, Sénégal, simon.taugourdeau@cirad.fr

MOTS-CLES : dynamique, saison des pluies, phytomasse, strate herbacée

KEY-WORDS : dynamic, rainy season, phytomass, herbaceous layer

REFERENCE DE L'ARTICLE : Diatta O., Ndiaye O., Ngom D., Diatta S., Fensholt R., Tagesson T., Taugourdeau S., (2021). « Réponses de la phytomasse herbacée aux fluctuations de la pluviométrie en milieu pâturé sahélien du Ferlo ». Fourrages, 246, 97-105.

million de km² entre le Sahara et l'Equateur. Environ un quart des superficies des Etats sahéliens s'y trouve. Dans les six pays (Burkina Faso, Mali, Mauritanie, Niger, Sénégal et Tchad) du Sahel, **il y aurait 8 117 929 ânes, 70 501 436 bovins, 12 310 809 camélidés, 108 104 042 caprins, 1 933 308 chevaux et 91 758 612 ovins d'après les données de la FAO en 2018 ; soit un total de 292 726 136 animaux pour ces races.** La surface totale de ces six pays est d'environ 5,3 millions de km², soit environ 55 têtes par km² en moyenne.

En zone sahélienne, la pluviométrie varie en moyenne de **100 mm par an à la frontière du désert à 600 mm** par an à la limite sud du Sahel (Le Houérou, 1980). La végétation au Sahel se compose d'une strate herbacée principalement composée de plantes annuelles et d'une strate ligneuse peu dense dominée par des épineux (Diawara *et al.*, 2018).

Les variations des facteurs du milieu et les réponses des espèces végétales sous l'influence de ces variations déterminent de fortes fluctuations de la végétation au Sahel. Ainsi, la régularité des pluies est un aspect essentiel dans la variation de la quantité de phytomasse (Penning de Vries et Djitéye, 1982).

Il apparaît dans nombre d'études que la quantité de pluie est un des éléments majeurs qui déterminent la production de phytomasse (Cissé, 1986; Ndiaye, 2015; Penning de Vries et Djitéye, 1982; Taugourdeau *et al.*, 2017; Tracol, 2004). Cependant Ndiaye *et al.*, (2015), ont observé que certaines années moins pluvieuses affichent des quantités de biomasse supérieures à celles d'autres années de pluviométrie plus élevée à Matam (nord-est du Sénégal). Des études se sont ainsi intéressées à divers paramètres de la pluviométrie. D'après Salack *et al.*, (2012), les épisodes intra saisonniers de « jour sans pluie » ou **pauses pluviométriques** sont des événements néfastes pour le système agricole au Sahel Ouest-africain. Sané *et al.*, (2008), ont étudié des aspects tels le nombre de jours pluvieux, la durée de la saison pluvieuse, et la fréquence des épisodes secs au cours de l'hivernage. La répartition dans le temps des quantités de pluies, la précocité ou le prolongement de la saison des pluies et les pauses pluviométriques semblent expliquer l'observation de Ndiaye *et al.*, (2015).

D'une étude à l'autre, les paramètres décrivant la saison des pluies sont différents. Ainsi, le travail présenté dans cet article a pour objectif de définir quels paramètres de la saison des pluies influencent la phytomasse herbacée. Pour décrire la saison des pluies, les événements pluvieux ont été pris en compte sur deux périodes : l'ensemble de la saison des pluies et uniquement les événements de pluies avant le pic de phytomasse. L'hypothèse étant que les événements de pluies après le pic de biomasse n'influencent plus la croissance de l'herbe et donc ne sont pas importants pour la phytomasse.

1. Matériel et méthodes

1.1. Présentation de la zone d'étude

Dahra est une zone à activité pastorale prédominante située entre 15°20 de latitude Nord et 15°29 de longitude Ouest dans la moitié nord du Sénégal et dans la partie ouest du Ferlo (Figure 1).

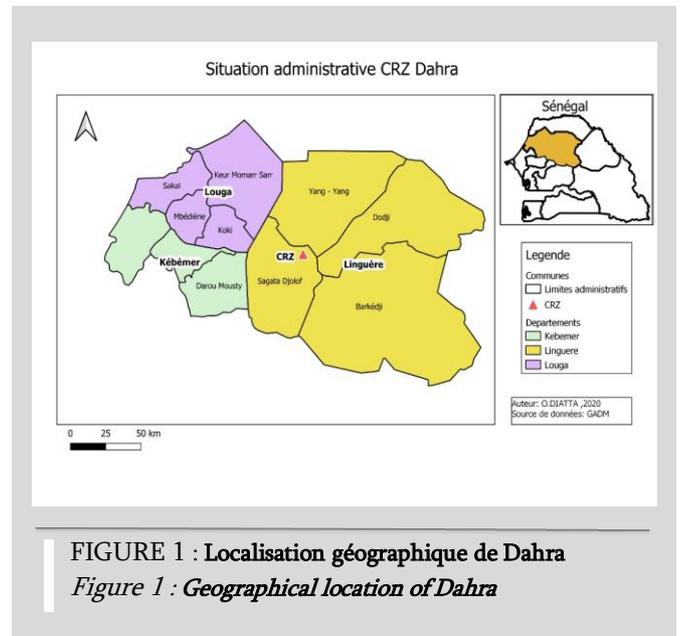


FIGURE 1 : Localisation géographique de Dahra
Figure 1 : Geographical location of Dahra

Par rapport au reste du couvert végétal de la zone, la végétation du Centre de Recherches Zootechniques (CRZ) de Dahra se singularise par une plus grande stabilité et une plus forte densité des arbres et des arbustes qui se régénèrent assez bien (Pontanier *et al.*, 2003). Cette situation a été favorisée par la protection partielle contre le surpâturage et l'exploitation assurée depuis 1954. Cependant, cette apparente stabilité est sérieusement compromise aujourd'hui du fait qu'une bonne partie du centre n'est plus clôturée. Ainsi, la strate herbacée, au-delà de sa ressemblance physiologique et taxonomique avec le reste de la zone, est exploitée par endroit de la même manière et par des animaux autres que ceux du centre, ce qui fait du CRZ une zone où les pâturages sont semblables au reste des pâturages de la zone.

1.2. Dispositif de collecte de données

Les données de phytomasse utilisées sont issues du suivi intra-saisonnier allant de 2008 à 2018 dans la zone de libre pâturage du centre, dans sa partie nord.

Les mesures sont faites le long de deux transects perpendiculaires de 1000 mètres tous les dix jours (Figure 2). Elles commencent dix jours après la première pluie d'une quantité au moins égale à 0,1 mm et s'arrêtent à la fin de la saison des pluies (fin du mois d'octobre). Sur chaque transect, 14 points de collecte ont été prédéfinis. Les transects sont installés dans un carré de 750 mètres de côté divisé en 9 sous-carrés. A

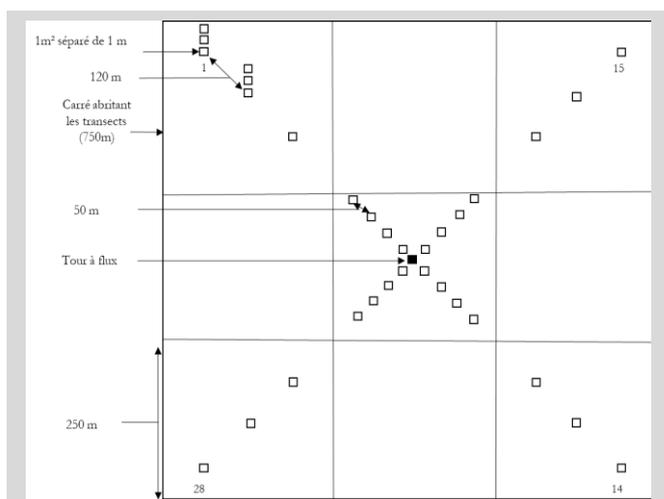


FIGURE 2 : Dispositif de suivi de la phytomasse herbacée
 Figure 2: Monitoring device for the herbaceous phytomass

l'intérieur du carré central, les points de collecte sont distants de 50 mètres et à l'extérieur de 120 mètres. Cela, pour permettre d'avoir assez de données effectivement mesurées pour la calibration des données mesurées par la tour à flux.

Une tour à flux située au centre du carré central est installée par l'université de Copenhague en collaboration avec l'université de Lund pour effectuer différentes mesures de paramètres climatiques et de phytomasse qui ont besoin d'être calibrées avec des mesures directes.

1.3. Collecte des données

Pour évaluer la phytomasse herbacée, la **méthode de la récolte intégrale** de Levang et Grouzis (1980) a été utilisée. Elle consiste à récolter toute la matière végétale (coupe à ras du sol) à l'aide d'une cisaille à chaque date de mesure et sur chaque point de collecte. Les carrés de prélèvement ont une surface de 1m². Pour effectuer la mesure suivante sur un point, un espace de 1 mètre est laissé (Figure 2). Vingt-huit échantillons sont donc prélevés à chaque date de mesure. La matière fraîche obtenue est pesée sur le terrain à l'aide d'une balance électronique. La teneur en matière sèche est déterminée sur les 28 échantillons après passage à l'étuve à 60° C jusqu'à l'obtention du poids constant.

Des données de pluies journalières collectées au niveau du centre par les chercheurs de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA) sur la période 2008-2018 ont aussi été mises à notre disposition.

1.4. Paramètres de la saison des pluies

Stern *et al.*, (2006), indiquent qu'une des tâches préliminaires lors de l'examen des périodes sèches est de définir ce qui doit être considéré comme un jour sans pluie. Il a donc fallu adopter un seuil de quantité de pluie journalière en dessous duquel un jour est

considéré comme sec. Ces auteurs soulignent que selon les applications, différents seuils peuvent être appliqués. Un seuil de 0,1 mm/jour a été choisi (le même que celui de Salack *et al.*, (2012)). Ce seuil permet de prendre en considération presque toutes les pluies observées au sol.

A partir des données de pluies, un certain nombre de variables ont été définies pour décrire la saison :

- **Début saison** (deb.saison) : c'est la date à laquelle la première pluie d'une quantité au moins égale à 0,1 mm est enregistrée. Les années sont ensuite classées en fonction de leur date : la plus précoce porte le numéro 1 et la plus tardive le numéro le plus grand.
- **Fréquence des pluies journalières** (freq.pluie) : elle est calculée en faisant le ratio entre le nombre de jours de pluie et la longueur de la saison (en nombre de jours) porté en pourcentage.
- **Jours sans pluie** (jrs.sans.pluie) : il s'agit du total de jours sans aucune pluie pendant la saison des pluies.
- **Longueur de la saison des pluies** (long.saison) : en nombre de jours, c'est le temps qui va du premier jour de pluie au dernier.
- **Variance des pluies journalières** (moy.variance) : pour une année elle est égale à :

$$\frac{1}{N} \sum (x_i - \bar{x})^2$$

Cette variance renseigne sur l'importance de la différence de quantité des pluies journalières.

N = quantité totale de pluie ; x_i = quantité de pluie du jour i ; \bar{x} = la quantité moyenne de pluie journalière.

- **Nombre de jours de pluie** (nbr.jrs.pluies) : c'est le nombre de jours pendant lesquels une pluie d'au moins 0,1 mm a été enregistrée.
- **Nombre de pauses pluviométriques** (nbr.pauses) : le nombre d'épisodes sans pluie séparant les jours de pluie.
- **Plus longue pause** (plus.long.pause) : la séquence la plus longue en nombre de jours sans pluie.
- **Total des pluies** (tot.pluies) : c'est la quantité totale de pluie enregistrée au cours de la saison des pluies en mm.

Ces variables ont donc été calculées pour l'ensemble de la saison et uniquement sur la période entre le début de la saison et la date où le maximum de biomasse a été mesuré.

1.5. Paramètres de la phytomasse herbacée

Pour décrire la dynamique de la phytomasse, plusieurs variables permettant de caractériser les dynamiques de la phytomasse ont été définies.

Pic de phytomasse (pic phyto) : c'est la plus grande quantité moyenne de phytomasse des dates de mesure.

Maximum de taux de croissance (max rgr) : c'est le plus grand taux de croissance des dates de mesure. Sa formule selon Hoffmann et Poorter (2002) est :

$$r = \frac{\ln(w2) - \ln(w1)}{t2 - t1}$$

Avec r (ou rgr) = taux de croissance relatif ; w1 = quantité de phytomasse sèche au temps 1 (en grammes) ; w2 = quantité de phytomasse sèche au temps 2 (en grammes) ; t1 = temps 1 (en jours) ; t2 = temps 2 (en jours).

Efficienc e d'utilisation de la pluie (RUE) : l'efficienc e d'utilisation de la pluie est définie comme le rapport entre la production primaire nette et les quantités de précipitations (Dardel et al., 2014).

1.6. Analyses statistiques

Le test de corrélation de Spearman entre les variables de la saison des pluies et celles de la phytomasse a été réalisé. **Une analyse en composante principale (ACP)** entre ces mêmes paramètres a été effectuée en considérant les variables de la phytomasse comme supplémentaires.

Les liens entre les paramètres sont étudiés sur **toute la saison** et sur la période qui va du **début de la saison jusqu'à la date d'apparition du pic de phytomasse**. Ces deux calculs devraient permettre de déduire la meilleure période à considérer pour étudier l'influence de la saison des pluies sur la phytomasse herbacée.

2. Résultats

2.1. Dynamique interannuelle de la phytomasse herbacée

La dynamique saisonnière de la phytomasse herbacée a été suivie de 2008 à 2018 (Figure 3). La

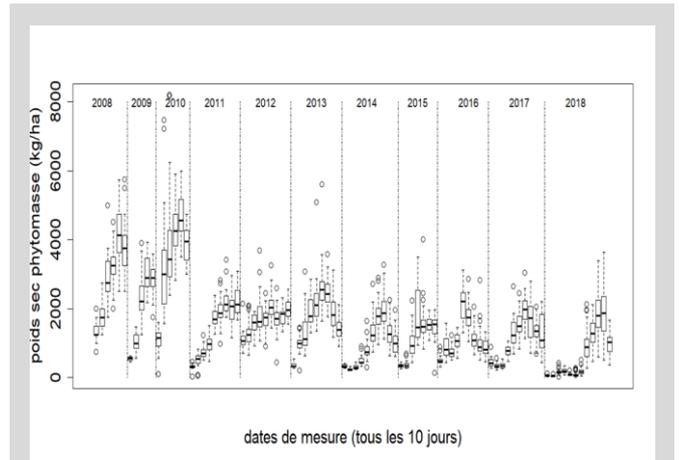


FIGURE 3 : Dynamique interannuelle de la phytomasse herbacée de 2008 à 2018

Figure 3: Interannual dynamics of herbaceous phytomass from 2008 to 2018

production de phytomasse obéit à un même rythme au cours des années : elle commence à un niveau donné, évolue pour atteindre son pic et entame une phase de décroissance. La plupart des années démarrent avec une production faible (moins de 500 kg/ha) contrairement à 2008, 2010 et 2012 qui démarrent avec une production supérieure à 1000 kg/ha. **La production annuelle de phytomasse ne dépasse pas souvent 2500 kg/ha** sauf pour 2008, 2009 et 2010 dont les pics dépassent 3000 kg/ha. Les données de 2011 n'ont pas permis d'observer la phase de décroissance qui devrait faire apparaître en même temps le pic de phytomasse.

2.2. Corrélation pluies-phytomasse

◆ Sur toute la saison

Les coefficients de corrélation de Spearman (rho) et les p-value issus des tests entre paramètres de la saison des pluies et paramètres de la phytomasse pris sur toute la saison sont contenus dans le tableau 1.

	Pic de phytomasse (pic phyto)		Maximum de taux de croissance (Max rgr)		Efficienc e d'utilisation de la pluie (RUE)	
	p-value	Rho	p-value	Rho	p-value	Rho
Deb. saison	0,55	-0,2	0,61	0,17	0,79	0,08
Plus.long.pause	0,09	-0,52	0,14	0,46	0,75	0,1
Nbr.jrs.pluies	0,48	0,23	0,78	-0,09	0,82	-0,07
Tot.pluies	0,04	0,62	0,53	-0,2	0,67	-0,14
Nbr.pause s	0,23	0,39	0,23	-0,38	0,69	-0,13
Jrs.sans.pluies	0,73	-0,11	0,55	0,2	0,3	0,34
Long.saison	0,92	0,03	0,46	0,24	0,27	0,36
Moy.variance	0,75	0,1	0,55	-0,2	0,98	-0,01
Freq.pluie	0,29	0,34	0,5	-0,22	0,45	-0,25

TABLEAU 1 : Coefficients de corrélation et p-value (rho) du test de corrélation de Spearman entre paramètres de la saison des pluies et paramètres de la phytomasse sur toute la saison

Table 1: Correlation coefficients and p-value (rho) of the Spearman correlation test between rainy season parameters and phytomass parameters over the whole season

Il a été considéré qu'il y a corrélation lorsque la p-value est inférieure à 0,05 %. Il y a tendance à la corrélation lorsque la p-value est comprise dans l'intervalle [0,05-0,1 %].

◆ Sur la période qui s'arrête aux pics de phytomasse

Les coefficients de corrélation et les p-value du test de corrélation de Spearman entre paramètres de la saison des pluies et paramètres de la phytomasse pris sur la période qui s'arrête aux pics de phytomasse sont présentés dans le tableau 2.

	Pic de phytomasse (pic phyto)		Maximum de taux de croissance (Max rgr)		Efficience d'utilisation de la pluie (RUE)	
	p-value	Rho	p-value	Rho	p-value	Rho
Deb. saison	0,55	-0,2	0,61	0,17	0,79	0,08
Plus.long. pause	0,09	-0,52	0,14	0,46	0,75	0,1
Nbr.jrs. pluies	0,48	0,23	0,78	-0,09	0,82	-0,07
Tot.pluies	0,04	0,62	0,53	-0,2	0,67	-0,14
Nbr.pauses	0,23	0,39	0,23	-0,38	0,69	-0,13
Jrs.sans. pluies	0,73	-0,11	0,55	0,2	0,3	0,34
Long.saison	0,92	0,03	0,46	0,24	0,27	0,36
Moy.variance	0,75	0,1	0,55	-0,2	0,98	-0,01
Freq.pluie	0,29	0,34	0,5	-0,22	0,45	-0,25

TABLEAU 2 : Coefficients de corrélation et p-value (rho) du test de corrélation de Spearman entre paramètres de la saison des pluies et paramètres de la phytomasse sur la période qui s'arrête aux pics de phytomasse.

Table 2: Correlation coefficients and p-value (rho) of Spearman's correlation test between rainy season parameters and phytomass parameters over the period ending at phytomass peaks.

La figure 4 présente les diagrammes à barres faits à partir des coefficients de corrélation de Spearman entre paramètres sur toute la saison (a) et sur la période qui s'arrête aux pics de phytomasse (b).

La figure 4a montre que seule la pluie totale est corrélée (p-value=0,04) positivement à la production de phytomasse. La plus longue pause tend à être positivement corrélée à la vitesse de croissance et négativement à la production de phytomasse.

La figure 4b révèle que :

La production de phytomasse est corrélée positivement à la pluie totale (p-value=0,02) et au nombre de pauses pluviométriques (p-value=0,01). Cette production tend à la corrélation positive avec le nombre de jours de pluie et à la corrélation négative avec la plus longue pause.

La vitesse de croissance est négativement corrélée (p-value=0,02) au nombre de pauses et tend à être positivement corrélée à la plus longue pause (Figure 4b).

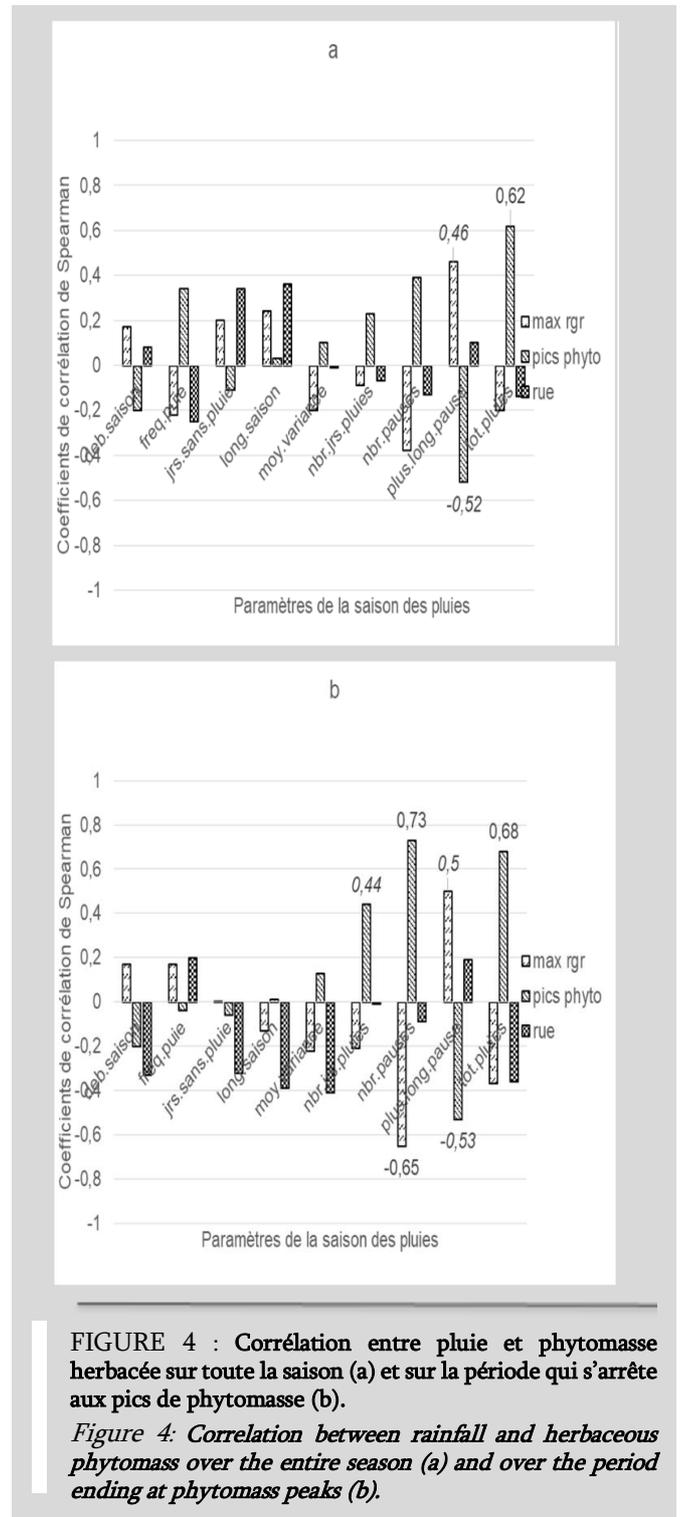


FIGURE 4 : Corrélation entre pluie et phytomasse herbacée sur toute la saison (a) et sur la période qui s'arrête aux pics de phytomasse (b).

Figure 4: Correlation between rainfall and herbaceous phytomass over the entire season (a) and over the period ending at phytomass peaks (b).

Le total de pluie garde le même lien positif avec la production de phytomasse, mais ce lien est plus fort lorsque la quantité de pluie est calculée uniquement entre le début de la saison des pluies et le pic de phytomasse (Figure 4b).

La plus longue pause a la même tendance positive avec la vitesse de croissance et négative avec la production de phytomasse. Aussi, garde-t-elle presque les mêmes tendances sur toute la saison que sur la période qui s'arrête aux pics de phytomasse.

Le nombre de pauses et le nombre de jours de pluie n'agissent que lorsque les critères décrivant la saison des pluies sont pris sur la période qui s'arrête aux pics.

2.3. ACP pluies-phytomasse

◆ Sur toute la saison

La qualité de représentation (déterminée par les cosinus carrés) des variables sur les dimensions est illustrée par le tableau 3. **Ce tableau permet de voir que toutes les variables sont mieux représentées sur les dimensions 1 et 2.** Les dimensions 1 et 2 seront donc utilisées pour la représentation graphique.

	Dim. 1	Dim. 2	Dim. 3	Dim. 4	Dim. 5
Deb.saison	0,131	0,532	0,132	0,103	0,094
Plus.long.pause	0,766	0,058	0,006	0,016	0,118
Nbr.jrs.pluies	0,541	0,339	0,005	0,101	0,005
Tot.pluies	0,544	0,018	0,387	0,026	0,013
Nbr.pauses	0,630	0,247	0,001	0,038	0,041
Jrs.sans.pluies	0,448	0,501	0,034	0,002	0,005
Long.saison	0,198	0,745	0,041	0,001	0,002
Var.moy.pluie	0,002	0,868	0,035	0,032	0,029
Freq.pluie	0,888	0,006	0,006	0,075	0,019

TABLEAU 3 : Qualité de représentation des variables de la saison des pluies sur les dimensions sur toute la saison.

Table 3: Representation quality of the rainy season variables on the dimensions over the entire season.

◆ Sur la période qui s'arrête à l'apparition du pic de phytomasse

Les cosinus carrés sont présentés dans le tableau 4. Ce tableau montre que presque **toutes les variables sont mieux représentées sur les dimensions 1 et 2.** Les variables début saison et variance moyenne des pluies journalières ont une meilleure qualité de représentation sur la dimension 3. Les deux premières dimensions seront utilisées pour la représentation graphique.

	Dim. 1	Dim. 2	Dim. 3	Dim. 4	Dim. 5
Deb.saison	0,303	0,022	4,211e-01	0,150	0,102
Plus.long.pause	0,108	0,475	2,196e-01	0,151	0,027
Nbr.jrs.pluies	0,722	0,122	1,479e-02	0,129	0,0003
Tot.pluies	0,605	0,012	3,1e-01	0,042	0,015
Nbr.pauses	0,877	0,0002	3,995e-02	0,033	0,031
Jrs.sans.pluies	0,189	0,801	2,276e-04	0,001	0,0003
Long.saison	0,343	0,645	7,351e-05	0,001	0,0003
Var.moy.pluie	0,103	0,003	7,909e-01	0,005	0,094
Freq.pluie	0,020	0,894	4,136e-02	0,029	0,009

TABLEAU 4 : Qualité de représentation des variables de la saison des pluies sur les dimensions sur la période qui s'arrête aux pics de phytomasse.

Table 4: Representation quality of rainy season variables on dimensions over the period ending at phytomass peaks.

Les cercles de corrélation entre paramètres sur toute la saison (a) et sur la période qui s'arrête aux pics de phytomasse (b) sont représentés sur la figure 5.

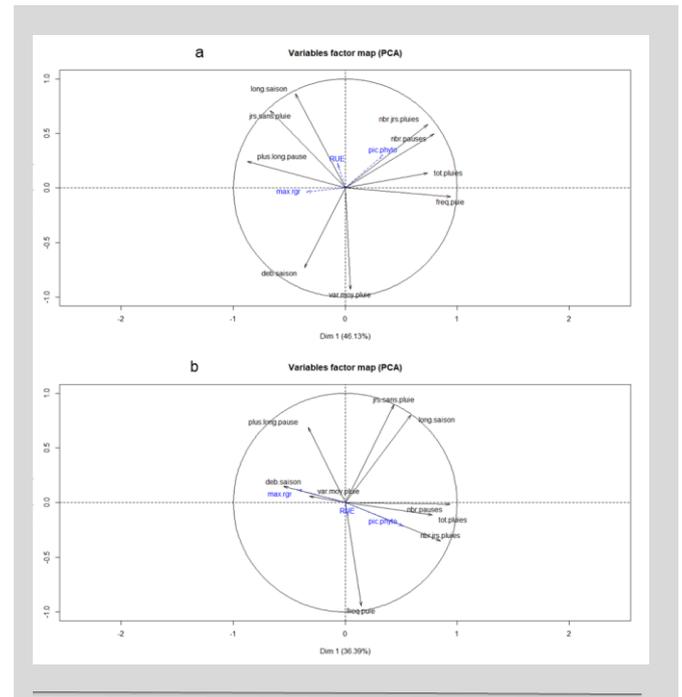


FIGURE 5 : Cercle de corrélation entre pluie et paramètres de la phytomasse sur toute la saison (a) et sur la période qui s'arrête aux pics de phytomasse (b).

Figure 5: Correlation circle between rainfall and phytomass parameters over the whole season (a) and over the period ending at phytomass peaks (b).

La figure 5a permet de voir que les deux dimensions portent 83 % de l'information de départ soit 46,13 % pour la dimension 1 et 36,87 % pour la dimension 2.

Il en ressort que la **production de phytomasse est corrélée positivement avec le nombre de jours de pluie, le nombre de pauses, le total et la fréquence des pluies. La corrélation est négative entre la production de phytomasse et la plus longue pause, le début tardif de la saison et la variance moyenne des pluies journalières.** La longueur de la saison et le nombre de jours sans pluie n'ont pas de lien avec la production de phytomasse.

Les paramètres sans lien et ceux liés négativement avec la production de phytomasse (sauf la variance de pluies journalières) sont positivement liés à la vitesse de croissance. **Cette vitesse de croissance est négative à la production et ne présente pas de liens avec la variance des pluies journalières.**

Les flèches de l'efficacité d'utilisation de la pluie sont courtes pour être prises en compte dans l'analyse.

La figure 5b montre que l'information portée par les deux dimensions est de 69,47 % avec 36,39 % pour la dimension 1 et 33,08 % pour la dimension 2.

Sur cette période, la production de phytomasse est liée positivement au nombre de jours de pluie, au total de pluie, au nombre de pauses et à la fréquence des pluies journalières.

La production de phytomasse est négativement liée à la plus longue pause et n'affiche pas de lien avec la longueur de la saison et les jours sans pluie.

L'efficacité d'utilisation de la pluie ne peut être analysée à cause de la taille courte de sa flèche.

La vitesse de croissance est liée positivement à la plus longue pause et négativement à la production de phytomasse.

Considérant les deux périodes étudiées, le nombre de jours de pluie, la quantité totale de pluie, le nombre de pauses et la fréquence des pluies restent positifs à la production de phytomasse. Cette dernière est négative seulement avec la plus longue pause lorsqu'elle est calculée sur la période qui s'arrête aux pics. Toujours sur cette même période, la vitesse de croissance est positive avec seulement la plus longue pause.

Discussion

L'objectif de ce travail est de mettre en évidence l'influence des paramètres de la saison des pluies sur les paramètres de la phytomasse herbacée.

La quantité totale de pluie est positivement liée à la production de phytomasse sur les deux périodes considérées. Ces résultats corroborent ceux d'autres études réalisées au Sahel (Cissé, 1986; Ndiaye, 2015; Penning de Vries et Djitéye, 1982; Taugourdeau *et al.*, 2017; Tracol, 2004). D'après Hiernaux et Le Houérou (2006), la distribution des précipitations au cours de la saison des pluies et leur redistribution par ruissellement à la surface des sols sont les facteurs prépondérants de la diversité du couvert végétal et de sa production. Cornet et Rambal (1981), ajoutent que l'eau est le facteur le plus limitant pour la teneur en eau dans la zone d'enracinement dans la région semi-aride du Sahel. Le déficit hydrique constitue l'un des facteurs limitants de la production agricole en zone sahélienne (Son et Compaore, 2011).

Les résultats ont également révélé une corrélation positive du nombre de pauses et du nombre de jours de pluie sur la production de phytomasse herbacée. Le nombre de pauses semble être plus élevé les années où le nombre de jours de pluie est élevé. En effet, beaucoup de pauses pluviométriques sur une saison signifient qu'il a plus souvent plu, et des pluies régulières ne peuvent que favoriser la production de phytomasse herbacée. **Le fait que le lien soit plus fort pour le nombre de pauses que pour le total de pluie montre l'importance de la distribution temporelle des pluies dans la production de matière végétale.** C'est d'ailleurs ce que soulignent Penning de Vries et Djitéye (1982) qui pensent qu'en dehors d'une augmentation dans la hauteur des pluies, c'est surtout l'intensification

de la fréquence des pluies qui est importante. **La répartition et la régularité des précipitations sont des paramètres assez importants pour la production de biomasse** de parcours, **plus que la somme des précipitations** dans l'année (Taugourdeau *et al.*, 2017). D'après Cissé (2016), le cumul de pluie et les pauses de pluie dont la durée est comprise entre 5 et 7 jours affectent plus le maximum d'indice de surface foliaire (LAI) souvent utilisé par la télédétection dans les études de la végétation.

Davantage de liens se sont créés sur la période qui va jusqu'au pic parce que le maximum de pluie est reçu sur cette période. D'après les conclusions de Cissé *et al.*, (2015), le cumul des précipitations sur la période de croissance (juin à septembre) montre des corrélations élevées et significatives.

Plus le début de la saison est tardif, moins la quantité de phytomasse est élevée. Ce résultat ne confirme pas celui de Cissé *et al.*, (2015) qui n'ont pas observé d'impact de l'avance/retard par rapport à la moyenne sur la date du maximum de végétation ni sur sa valeur. Cissé (2016) rapporte aussi que la date de début de la saison des pluies n'a pas d'impact sur le maximum de croissance de la végétation. En revanche, ce résultat confirme les propos de Penning de Vries et Djitéye, (1982), qui affirment que des pluies précoces ou tardives ont pour effets soit une germination précoce, soit une pourriture de la végétation. Cornet, (1981), et Cissé, (1986), argumentent dans le même sens et disent que la plupart des espèces sont susceptibles de raccourcir leur cycle et d'assurer une fructification malgré un développement très réduit. Ce raccourcissement de cycle explique la baisse de la quantité de phytomasse qui est produite. De façon générale, les pluies précoces ou tardives induisent soit la perte d'une partie des jeunes plantes, soit un retard dans la germination. Donc lorsque les pluies sont précoces, les jeunes plantes qui survivront aux longues pauses auront eu un temps de croissance plus long que quand les pluies sont tardives. Ce qui fait que la quantité produite au maximum de végétation sera plus élevée pour une année de saison des pluies précoce.

Une forte vitesse de croissance est obtenue quand la différence de phytomasse entre deux points est importante. Cette situation s'obtient quand les deux périodes sont séparées par des pauses assez longues ou bien par des quantités de pluie bien différentes. Ce sont ces situations que semblent décrire la plus longue pause, les jours sans pluie, le début tardif de la saison, la variance moyenne des pluies journalières et la longueur de la saison.

Le nombre de pauses impacte négativement la vitesse de croissance pour les données de pluviométrie calculées entre le début et le pic de biomasse. Cette période se compose d'une première phase durant laquelle les pauses sont habituellement longues, suivie d'une phase de régularité des pluies. **La vitesse de croissance est souvent plus élevée sur la transition**

entre ces deux phases et entre les points séparés par les plus longues pauses. Donc s'il y a plusieurs pauses, il y en aura moins de longues et la transition entre les deux phases évoquées peut être plus courte. Cela peut expliquer le fait que plus il y a de pauses pluviométriques, moins la vitesse de croissance s'élève. Selon Salack *et al.*, (2012), les pauses entre 8 et 14 jours et supérieures ou égales à 15 jours apparaissent entre mai et septembre, ce qui fait que l'influence du nombre de pauses sur la vitesse de croissance n'apparaît que sur la période qui va jusqu'au pic de phytomasse. De plus, tous ces paramètres ne permettront pas d'une certaine façon d'avoir des écarts longs de temps ou de quantité de pluie qui permettraient d'avoir une bonne vitesse de croissance.

L'efficacité d'utilisation de la pluie des pâturages étudiés varie de 4,8 à 12,8 kg MS/mm/ha. Elle est très proche de celle trouvée par Hiernaux et Le Houérou (2006), qui est en moyenne de 3 kg MS/mm/ha/an pour la strate herbacée au Sahel. Le Houérou (2005), a montré que, le coefficient d'efficacité pluviale (CEP ou RUE) semblait beaucoup plus sensible à la dynamique de la végétation et au fonctionnement des écosystèmes qu'à la saisonnalité des précipitations. Il conclue que les écosystèmes en bon état dynamique, correspondant à des végétations peu dégradées, réhabilitées ou restaurées, montrent des CEP de l'ordre de 4 à 8 kg MS/mm/ha. Inversement, les végétations dégradées par un surpâturage intense et prolongé, combiné ou non avec d'autres pratiques destructives telles que la culture épisodique, la cueillette abusive du bois de feu, les incendies répétés et les feux de brousse, aboutissent à des CEP inférieurs à l'unité. Les travaux de Le Houérou et Hoste (1977), concernant une synthèse de l'ensemble des données disponibles pour les pays sahéliens indiquent qu'en zone sahélienne et soudanienne, chaque millimètre de pluie produit en moyenne 2 kg de matière sèche consommable par hectare. Un essai pluvial réalisé par Bellague *et al.*, (2008), en zone semi-aride algérienne sur des cultivars de luzerne pérenne a donné une variation de 0,74 à 3,4 kg MS/m³. Cet essai montre aussi que l'efficacité varie en fonction des cultivars et des coupes.

Les résultats ont aussi montré trois phases dans l'évolution de la phytomasse au cours des années. Une première phase où la quantité de phytomasse est faible, une deuxième où elle croît jusqu'à son maximum et une dernière où elle décroît. Grouzis (1992) divise la période pluvieuse en trois phases : établissement du couvert herbacé ; croissance, fleurissement et fructification ; dessèchement et dissémination des diaspores. Les trois phases que montrent nos résultats semblent correspondre à ces phases.

La quantité annuelle de phytomasse est en moyenne de 2587 kg MS/ha. Ce résultat corrobore celui trouvé par Akpo (1998), au Ferlo qui varie entre 2310 et 4360 kg MS/ha et ceux de Ngom *et al.*, (2012), qui ont trouvé 3300 kg MS/ha dans la réserve de

biosphère du Ferlo. Penning de Vries et Djitéye (1982), parlent d'une biomasse faible d'une manière générale au Sahel, de 1000 à 3000 kg/ha. Ndiaye (2015) évoque une phytomasse herbacée qui varie en moyenne de 450 (1979) à 1880 kg/ha (1988) à Dahra.

Conclusion

Bien que mesurées, les pluies qui tombent après le pic de phytomasse n'ont pas d'effet sur les paramètres de la phytomasse. Il est donc plus opportun de considérer la période qui va du début de la saison des pluies jusqu'aux pics de phytomasse pour étudier les liens entre les paramètres de la saison des pluies et ceux de la phytomasse herbacée.

Des pluies précoces suivies de pluies régulières entraînent un pic de phytomasse plus élevé alors que des pluies tardives permettent d'obtenir le pic plus tôt.

L'efficacité d'utilisation de la pluie ne dépend pas de la saison des pluies. Elle devrait être étudiée en lien avec d'autres paramètres qui ne sont pas pris en compte dans ce travail.

Une meilleure connaissance de la relation pluie-phytomasse herbacée est d'une grande importance pour une meilleure compréhension de la dynamique des herbacées en milieu sahélien. A travers la dynamique de la phytomasse, les éleveurs, les structures de développement et les Etats sont renseignés sur les périodes pendant lesquelles le fourrage peut faire défaut. L'éleveur sait à quelles périodes de l'année prévoir l'achat d'aliment tandis que les Etats et leurs partenaires savent à quels moments en distribuer aux éleveurs. Ces derniers ont également des informations sur la période de disponibilité du fourrage durant laquelle ils pourraient faucher pour faire face à la période de soudure. La corrélation entre pluie et phytomasse est utile aux conseillers et à l'Etat pour aider les éleveurs et les agriculteurs à faire face aux saisons peu pluvieuses.

Article accepté pour publication le 04 décembre 2020

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Akpo L. E., (1998). "Effet de l'arbre sur la végétation herbacée dans quelques phytocénoses au Sénégal. Variation selon un gradient climatique". *Thèse de doctorat d'Etat en sciences naturelles*, Université Cheikh Anta Diop.
- Bellague D., Chedjerat A., Khedim A., Khelifi H. E., M' Hammedi. Bouzina M., Merabet B. A., Laouar M., Abdelguerfi A., (2008). "Comportement et efficacité d'utilisation de l'eau de quelques cultivars de luzerne pérenne dans une région semi-aride en Algérie". *Options Méditerranéennes*, 268(79), 265-268.
- Cissé A. M., (1986). "Dynamique de la strate herbacée des pâturages de la zone sud-sahélienne". *Thèse*, Landbouw Universiteit, Wageningen.
- Cissé S., Eymard L., Ndione J. A., Gaye A. T., (2015). "Analyse statistique des relations pluie-végétation au Ferlo (Sénégal)". *Actes Du XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, Liège 2, 307-312.
- Cissé S., (2016). "Etude de la variabilité intra saisonnière des précipitations au Sahel: impacts sur la végétation (Cas du Ferlo au Sénégal)". *Thèse de doctorat*, Université Pierre et Marie Curie, Université Cheikh Anta Diop.

- Cornet A., (1981). "Le bilan hydrique et son rôle dans la productivité de la strate herbacée de quelques phytocénoses sahéliennes au Sénégal". *Thèse de doctorat*, Université des sciences et techniques du Languedoc.
- Cornet A., Rambal S., (1981). "Simulation de l'utilisation de l'eau par une phytocénose de la zone sahélienne au Sénégal : test de deux modèles". *Proceedings of the 9th Symposium Informatique et Biosphère on hydrologie, Cycle de l'eau et Informatique*, 156-179.
- Dardel C., Kergoat L., Hiernaux P., Grippa M., Mougou E., Ciais P., Nguyen C. C., (2014). "Rain-use-efficiency: What it tells us about the conflicting sahel greening and sahelian paradox". *Remote Sensing*, 6(4), 3446-3474.
- Diawara M. O., Hiernaux P., Mougou E., Grippa M., Delon C., Diakité H. S., (2018). "Effets de la pâture sur la dynamique de la végétation herbacée au Sahel (Gourma, Mali): une approche par modélisation". *Cahiers Agricultures*, 27(1), 15010.
- Grouzis M., (1992). "Germination et établissement des plantes annuelles sahéliennes". Dans : A. Cornet, E. Le Floch, M. Grouzis, *L'aridité, une contrainte au développement*. ORSTOM, Paris, 267-282.
- Hiernaux P., Le Houérou H. N., (2006). "Les parcours du Sahel." *Sécheresse*, 17(1-2), 51-71.
- Hoffmann W. A., Poorter H., (2002). "Avoiding bias in calculations of relative growth rate". *Annals of Botany*, 90(1), 37-42.
- Le Houérou H. N., (1980). *Browse in Africa: the current state of knowledge*. Addis Ababa, Ethiopia: ILCA, 491p.
- Le Houérou H. N., (2005). "Problèmes écologiques du développement de l'élevage en région sèche". *Sécheresse*, 16(2), 89-96.
- Le Houérou H. N., Hoste C. H., (1977). "Rangeland production and annual rainfall relations in the mediterranean basin and in the african sahel-sudanian zone". *Journal of Range Management*, 30(3), 181.
- Levang P., Grouzis M., (1980). "Methods of studying the herbaceous biomass of Sahelian formations: application to the Oursi pond, Upper Volta". *Acta Oecol/Oecol Plant*, 15(3), 231-244.
- Ndiaye C., Guèye E. F., Ngom S., Traoré E. H., Akpo L. E., (2015). "Impact of rainfall on grassland biomass production in the Sahel: a case in Matam Region, Northern Senegal". *Livestock Research for Rural Development*, 27(3).
- Ndiaye O., (2015). "Déterminants de la dynamique de la végétation d'un milieu pâturé en région sahélienne du Sénégal". *Thèse de doctorat*, Université Cheikh Anta Diop.
- Ngom D., Bakhom A., Diatta S., Akpo L. E., (2012). "Qualité pastorale des ressources herbagères de la réserve de biosphère du Ferlo (Nord-Sénégal)". *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6(1), 186-201.
- Penning de Vries F. W. T., Djitéye M. A., (1982). *La productivité des pâturages sahéliens - une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle*. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, 525p.
- Pontanier R., Diouf M., Zaafouri M. S., (2003). "Écologie et régime hydrique de deux formations à Acacia raddiana au nord et au sud du Sahara (Tunisie, Sénégal)". Dans M. Grouzis, E. Le Floch, *Un arbre au désert*, IRD Editions, 79-101.
- Salack S., Muller B., Gaye A. T., Hourdin F., Cisse N., (2012). "Analyses multi-échelles des pauses pluviométriques au Niger et au Sénégal". *Science et Changements Planétaires - Sécheresse*, 23(1), 3-13.
- Sané T., Diop M., Sagna P., (2008). "Etude de la qualité de la saison pluvieuse en Haute-Casamance (Sud Sénégal)". *Sécheresse (Montrouge)*, 19(1), 23-28.
- Son D., Compaore E., (2011). "Effet du stress hydrique sur la croissance et la production du sésame (*Sesamum indicum*)". *Journal of Applied Biosciences*, 37, 2460-2467.
- Stern R., Rijks D., Dale I., Knock J., (2006). *Instant Climatic Guide*. University of Reading, United Kingdom, 322p.
- Taugourdeau S., Ndiaye O., Diatta O., Assouma M. H., (2017). "Dynamic of herbaceous biomass during the wet season in the Sahel". *Sustainable Meat and Milk Production from Grasslands*, 23, 676-678.
- Tracol Y., (2004). "Etude des variations interannuelles de la production herbacée des pâturages sahéliens : Exemple du Gourma malien". *Thèse de doctorat*, Université Toulouse III - Paul Sabatier.