

RISQUES D'INTOXICATION DES ANIMAUX AU PÂTURAGE SUITE À L'INVASION DES SURFACES HERBAGÈRES PAR LE SÉNEÇON DU CAP

Mise en situation

L'invasion de nos prairies par le Sénéçon du Cap nécessite d'évaluer les risques d'intoxication pour les herbivores par une quantification d'alkaloïdes dans la plante. La comparaison aux Sénéçons indigènes montre qu'il existe un vrai risque et qu'il est urgent d'en prendre conscience et ralentir l'invasion de cette plante.

Résumé

Comparer les taux d'alkaloïdes du Sénéçon du Cap (*Senecio inaequidens*), qui envahit les prairies d'Europe, avec ceux de 3 Sénéçons indigènes (*Jacobaea vulgaris*, *Jacobaea eruciflora* et *Senecio vulgaris*), permet d'évaluer le risque toxicologique qu'ils présentent pour les herbivores. Dans le Sénéçon du Cap, la sénéciphylline n'a pas pu être quantifiée, contrairement au Sénéçon commun. Par contre, des concentrations élevées en sénécionine et en rétrorsine ont été mesurées dans le Sénéçon du Cap, en comparaison aux 3 Sénéçons européens. Il est indispensable que tous les acteurs prennent conscience du risque lié à la dissémination du sénéçon du Cap pour les animaux.

Summary

Intoxication risks for grazing animals due to the invasion of the Cap ragwort in grasslands

The invasion of European grasslands by Cape ragwort motivated to study its contents in alkaloids in comparison to European ragworts, and to evaluate the toxicological risks for herbivorous animals. Seneciphylline could not be quantified in Cape Ragwort but was measured in notable amounts in Common Ragwort. Contrarily, Cape ragwort showed high concentrations in senecionine and especially retrorsine, clearly higher than those measured in *Jacobaea vulgaris*, *Jacobaea eruciflora* and *Senecio vulgaris*. It is essential that all stakeholders become aware of the risk linked to the spread of Cape ragwort for animals.

Auteurs

N. PRIYMENKO¹, P. MONTAGNE^{2,3},
F. DUPIRE⁴, S. JURJANZ^{2,5}

¹Université de Toulouse, INRAE, ENVT, INP-EIP, UPS, TOXALIM, 31076 Toulouse, France

² Association SPIGEst, 54505 Vandœuvre-lès-Nancy, France ³ Association Floraine, 54600 Villers-lès-Nancy, France ⁴Université de Lorraine, CNRS, L2CM, 54000 Nancy, France ⁵ Université de Lorraine, INRAE, UR Animal et Fonctionnalités des Produits Animaux (AFPA), 54000 Nancy, France

Auteur correspondant:

JURJANZ Stefan, Stefan.jurjanz@univ-lorraine.fr

Mots clés

Alcaloïdes, herbivores, intoxications, rétrorsine, sénécionine, sénéçons, sénéciphylline

Key words

Alkaloids, herbivorous, ragworts, retrorsine, senecionine, seneciphylline, toxic risk

Références de l'article

N. Priymenko, P. Montagne, F. Dupire, S. Jurjanz (2024). Risques d'intoxication des animaux au pâturage suite à l'invasion des surfaces herbagères par le Sénéçon du Cap, *Fourrages* 260, 7-15.

Introduction

Parmi les quarante espèces de Sénéçons présentes en France, quatre sont très courantes et d'un intérêt particulier pour la santé animale. Il s'agit du Sénéçon de Jacob (*Jacobaea vulgaris* Gaertn syn. *Senecio jacobaea* L.), du Sénéçon à feuilles de roquettes (*Jacobaea erucifolia* (L.) G. Gaertn., B. Mey. & Scherb.), du Sénéçon commun (*Senecio vulgaris* L.) et du Sénéçon du Cap (*Senecio inaequidens* DC.). Les trois premières espèces sont indigènes en France mais le Sénéçon du Cap a été introduit accidentellement en Europe et s'est avéré invasif (Muller, 2004).

Senecio inaequidens est un hémicryptophyte herbacé pérenne d'une hauteur de 30 à 100 cm (figure 1a). Les tiges dressées sont glabres, très ramifiées et feuillues. Les feuilles caulinaires, simples et alternes, sont linéaires-lancéolées (jusqu'à 15 cm long et de 0,3 à 1 cm large), ± plus ou moins dentées, parfois lobées, certaines semi-enveloppantes à apex aigu (figure 1b). Les inflorescences sont des capitules d'un diamètre de 15 à 25 mm, regroupant des fleurs

tubulaires et ligulées jaunes (figure 1c). Les bractées involucales, lancéolées et aiguës, et les bractées du calicule, irrégulières, sont à extrémité sombre. Les akènes sont cylindriques et surmontés d'un pappus blanc 2 à 3 fois plus long qu'eux (figure 1d). Ces graines légères sont dispersées par le vent sur de grandes distances, en particulier le long des routes et des voies ferrées (Ernst, 1998). La plante s'étend alors à partir de ses premiers sites colonisés et envahissent d'autres habitats proches tels que les espaces naturels et les pâturages.

Le Sénéçon du Cap a été identifié et décrit il y a un peu moins de 200 ans par De Candolle (1838). *Senecio inaequidens*, d'origine sud-africaine, a été introduit en Europe à la fin du XIX siècle de manière non intentionnelle avec des toisons de moutons brutes importées pour leur laine. Il a été observé d'abord autour des usines de traitement des laines (Kuhbier, 1996 ; Mosseray, 1936 ; Senay, 1944) mais il n'est pas mentionné dans les encyclopédies botaniques de référence comme la "Flore de France" de l'Abbé Coste (1937) ou celle de Guinochet & De Vilmorin (1982).

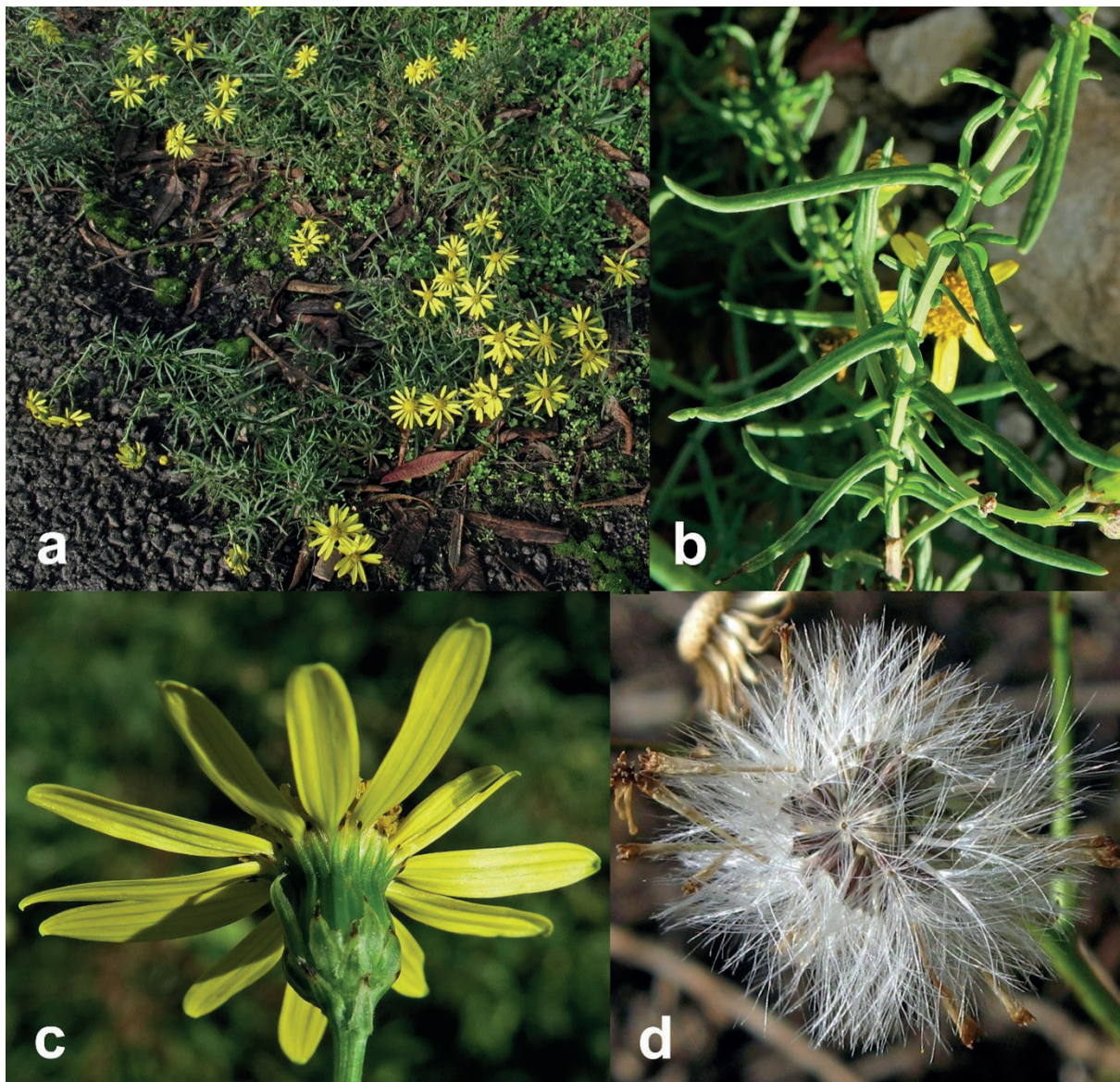


FIGURE 1 : Morphologie du *Senecio inaequidens* : (a) plante, (b) feuilles caulinaires, (c) inflorescences, (d) akènes. Photos des auteurs.

FIGURE 1: Morphology of *Senecio inaequidens*: (a) plant, (b) cauline leaves, (c) capitulum, (d) achenes. Photos of the authors.

Le Sénéçon du Cap s'installe facilement sur des sols avec peu de compétition végétale et croît ensuite au dépend des espèces indigènes. Il se diffuse le long des voies de communication, et résiste à la sécheresse (Vetter *et al.*, 2020). Cette invasion est favorisée par des moyens réduits pour la contenir par une moindre utilisation d'herbicides systémiques suite à la Directive Européenne de 2009 (2009/128/CE) traduite en loi nationale (en France la loi 2014-110 dite « loi Labbé »). Aujourd'hui, *Senecio inaequidens* est très répandu dans beaucoup de pays européens (EPP0, 2021 ; GBIF, 2008 ; INPN, 2024).

Le Sénéçon du Cap modifie les paysages et couvre de grandes surfaces, réduisant la valeur des pâturages envahis (Brunel, 2003). Son invasion a pris une autre dimension depuis que la toxicité pour le bétail et les humains de certains de ses alcaloïdes a été démontrée. La question du risque toxique lié à cette plante se pose non seulement dans les pâtures mais aussi dans les fourrages conservés, car elle contient des alcaloïdes pyrrolizidiniques (AP) (Biocchi *et al.*, 1989), principalement de la sénécionine, de la sénéciphylline et de la rétorsine, qui semblent rémanentes dans les foins et les ensilages (Crews et Anderson, 2009 ; Klevenhusen *et al.*, 2019).

Des intoxications cliniques ont été rapportées avec les sénéçons indigènes surtout chez les équidés et un peu moins souvent chez les bovins (Cockburn *et al.*, 1955 ; Giles, 1983). La rareté des cas décrits chez les ovins ne reflète pas forcément une certaine résistance de cette espèce aux AP (Cheeke, 1984) mais probablement plus le fait que peu d'éleveurs ovins investissent dans des analyses histologiques permettant de caractériser les lésions du foie pour élucider la perte d'un individu qui a une valeur marchande modeste. Ainsi, le nombre réel des cas d'intoxications est probablement nettement plus élevé que les rapports publiés laissent apparaître.

Lorsque l'ingestion est massive sur une courte période, on observe des signes cliniques d'encéphalopathie ou d'encéphalose hépatique (EH) avec amaurose, somnolence, incoordination motrice, tourner en rond et pousser au mur, ce qui est lié à la toxicité de l'ammoniaque qui n'est plus éliminé. L'animal meurt en quelques heures (Giles, 1983).

Cependant, les intoxications évoluent le plus souvent sous une forme chronique avec d'abord une perte de poids sans perte d'appétit (à ce stade de la maladie, on n'observe qu'une augmentation des concentrations circulantes des enzymes hépatobiliaires (AST, SDH, ALP, γ GT) et des concentrations sériques en bilirubine et en sels biliaires), suivie par une perte d'appétit, un amaigrissement marqué puis l'apparition des symptômes nerveux et finalement la mort de l'animal (Craig *et al.*, 1991 ; Craigmill, 1981 ; Giles, 1983 ; Milne *et al.*, 1990). La défaillance hépatique peut aussi s'accompagner d'autres symptômes comme par exemple une crise hémolytique, une photosensibilisation secondaire ou encore des coliques (Dewes et Lowe, 1985 ; Leyland, 1985 ; Milne *et al.*, 1990). Les lésions hépatiques dues aux AP sont caractéristiques, avec de la

mégaloctose, une cirrhose péri-cellulaire, une nécrose périportale, ou encore une hyperplasie biliaire avec une prolifération des canaux biliaires (Betty et Markson, 1954 ; Craig *et al.*, 1991).

Les ruminants sont moins sensibles que le cheval à cette intoxication en raison d'une dégradation des AP dans le rumen (Shull *et al.*, 1976 ; Swick *et al.*, 1983 ; Wachenheim *et al.*, 1992) mais surtout par des différences de métabolisme hépatique entre les espèces (Cheeke, 1984 ; Mattocks, 1986). Sur un autre plan, il a été retrouvé des AP dans des œufs de poules ayant ingéré des AP et dans le lait, ce qui pose ainsi la question de la sécurité sanitaire des denrées alimentaires pour l'Homme (Mulder *et al.*, 2015 ; Patrick *et al.*, 2020). Ces publications ont incité notamment l'Australie à proposer une dose maximale sans effet (NOAEL) de 10 μ g/kg poids corporel (pc). De nombreuses données toxicologiques ont été publiées comme par exemple le BMDL10 (« benchmark dose lower confidence limite » ou limite de confiance inférieure de la dose de référence pour un risque de cancer en excès de 10%) estimé par le groupe CONTAM de l'EFSA (2011) à 70 μ g d'AP totales per kg pc chez le rat. Néanmoins, les différentes formes d'AP étudiées et la composition très hétérogènes des mélanges d'AP étudiés, de plus principalement sur des rongeurs de laboratoire, rendent difficile une détermination claire des valeurs toxicologiques pour les animaux d'élevage.

L'évaluation des risques dus à la présence des AP pour des animaux au pâturage nécessite de connaître mieux les AP présents dans les quatre principales espèces de Sénéçon des prairies européennes. Ainsi, cette étude vise d'abord à déterminer les concentrations de trois AP majeurs, à savoir la sénécionine, la sénéciphylline et la rétorsine dans les différents organes aériens du Sénéçon du Cap et à les comparer à celles de trois Sénéçons historiquement présents en France. Ces données permettront de montrer le risque toxicologique pour les herbivores du Sénéçon du Cap, nouveau dans nos prairies, en comparaison des espèces européennes de Sénéçon déjà couramment gérées.

Matériel et méthodes

Echantillonnages des plantes

Les quatre espèces de Sénéçons ont été collectées autour de Nancy (54).

Le Sénéçon du Cap (*Senecio inaequidens* DC.) a été collecté à Chaudeney-sur-Moselle, 25 km à l'ouest de Nancy (GPS 48°65'17° N, et 5°90'05° E) pendant deux périodes aux stades de développement phénologique (échelle BBCH, Meier *et al.*, 2009) de l'apparition des inflorescences (stade 5) et floraison (stade 6) respectivement le 19 juin et le 12 septembre 2019 correspondant à la présence de ces stades physiologiques de cette plante dans les conditions locales.

La collecte a été complétée le 10 mai 2020 proche du village Pierre-la-Treiche à 32 km à l'ouest de Nancy (GPS 48°64'61° N,

et 5°9'34"30" E) par le Sénéçon à feuilles de roquette (*Jacobaea erucifolia*) et le Sénéçon de Jacob (*Jacobaea vulgaris*) le 10 juin 2020, les deux au stade floraison (stade 6, échelle BBCH).

Finalement, le Sénéçon commun (*Senecio vulgaris*) a été prélevé 23 juin 2020 au village de Malleloy, situé à 20 km au nord de Nancy (GPS 48°47'37" N, et 6°09'54" E). Ces plantes étaient en pleine floraison (stade 6 sur l'échelle BBCH, Meier *et al.*, 2009). A chaque point, 5 à 10 individus par espèce au même endroit ont été coupés à hauteur du sol sur une surface proche du point GPS mentionné.

Les organes des plantes collectées (tiges, feuilles et inflorescences) ont été séparés immédiatement après la collecte et congelés séparément. Ensuite, ils ont été lyophilisés et broyés sur un tamis de 1,5 mm (broyeur à fléau Retsch SK100, Haan, Allemagne).

Préparation des échantillons et dosages

Chaque échantillon a été analysé en trois répliques. Les alcaloïdes ont d'abord été extraits après l'ajout de 0,3 mL du standard interne de hyoscyamine (200 µg/mL) dans un échantillon de 0,1 g avec 10 mL de méthanol pendant une nuit. Ensuite, les extraits ont été purifiés par une procédure SPE selon Saliba *et al.* (2016). La purification spécifique des alcaloïdes a été réalisée dans une cartouche SCX (Interchim SCX-500/6), conditionnée auparavant avec 3 mL d'acétonitrile et ensuite 3 mL de méthanol/HCOOH (95/5). La cartouche SCX a été lavée avec 6 mL de méthanol/HCOOH et puis 3 mL d'acétonitrile. Les alcaloïdes ont été élués de la cartouche SCX avec 15 mL d'acétonitrile/NH₄OH (95/5). A la fin, le solvant a été évaporé jusqu'à ce que l'échantillon se trouve dans une solution de 3 mL contenant les alcaloïdes et le standard interne à hauteur de 20 µg/mL.

L'extrait purifié a été analysé par GCMS (Shimadzu QP2010) après une injection split/splitless à une température de 280°C, sur une colonne DB-5MS UI (Agilent) et d'une source EI. La phase mobile a été réglée à 1,1 mL d'hélium/min. La température initiale du four de 60°C a été tenue pendant 1 min puis augmentée de 25°C/min jusqu'à 190°C et finalement redescendue de 5°C/min jusqu'à 210°C. A la fin, la température du four a été à nouveau augmentée de 25°C/min jusqu'à 320°C. Le programme Scan a été utilisé pour obtenir le spectre caractéristique de la fragmentation permettant d'identifier les différents alcaloïdes par comparaison avec la base de données NIST08.

Les alcaloïdes ont été quantifiés par le module SIM. Hyoscyamine a été détecté m/z 124 Da et sénécionine, sénéciophylline ainsi que rétrorsine ont été détectés par le même fragment à m/z 120 Da. Les limites de détection (LD) et de quantification (LQ) ont été calculées à partir des blancs comme la moyenne plus respectivement trois et dix écart-types. La LQ obtenue ainsi était de 0,52 µg/mL (ou 15 µg/g MS) pour la sénécionine, 0,72 µg/mL (ou 22 µg/g MS) pour la sénéciophylline et à 1,11 µg/mL (ou 33 µg/g MS) pour la rétrorsine. La LD a été fixée à un tiers de la LQ pour chacun des trois AP.

Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le paquet multcomp du logiciel R (version 3.6.1; R Development Core Team, Vienne, Autriche, 2019). La concentration de chaque alcaloïde dans un organe donné des plantes à une date donnée a été comparée de manière suivante : si l'analyse d'un réplica a été inférieure à la LQ, la moitié de cette dernière a été utilisée pour calculer la moyenne correspondante, si tous les trois réplicas ont été inférieurs à la LQ, aucune moyenne n'a été calculée et la mention « <LQ » a été indiquée.

Premièrement, les concentrations de chaque alcaloïde dans le Sénéçon du Cap ont été comparées entre les deux dates de collecte par une ANOVA à deux facteurs : date de collecte (deux niveaux), organe de la plante (trois niveaux) et leur interaction. Deuxièmement, les concentrations de chaque alcaloïde des quatre espèces de Sénéçon ont été comparées par une deuxième ANOVA à deux facteurs : espèce de Sénéçon (quatre niveaux), organe de la plante (trois niveaux) et l'interaction des deux facteurs.

L'individu statistique était le réplica analytique. La normalité des résidus a été vérifiée par un test de Shapiro-Wilk et le seuil de signification de $p < 0,05$ a été utilisé même si des tendances à $p < 0,10$ ont été également indiquées. Les comparaisons multiples pour chaque facteur ont été réalisées en utilisant la correction de Tukey.

Collecte des données

Au niveau de la collecte des données, les observations ont porté principalement sur la croissance des plantes, la production de biomasse et la capacité de charge.

Résultats

Variations des concentrations d'AP dans le Sénéçon du Cap

La concentration de sénécionine dans le Sénéçon du Cap est significativement ($p < 0,001$) plus élevée dans les plantes collectées en septembre qu'en juin mais aussi dans les feuilles et inflorescences en comparaison aux tiges (Tableau 1). L'augmentation de la concentration de juin à septembre est plus élevée dans les feuilles et les inflorescences (2,7 et 2 fois respectivement pour les feuilles et les inflorescences) en comparaison aux tiges (seulement 1,1 fois) ce qui entraîne une interaction significative entre les facteurs organe de la plante et période de collecte (Tableau 1). Les concentrations en sénéciophylline sont systématiquement sous la LD (<22 mg/kg de MS) dans tous les échantillons du Sénéçon du Cap, indépendamment de la saison ou de l'organe de la plante échantillonnée. Les concentrations de rétrorsine varient significativement ($p < 0,001$) en fonction de l'organe de la plante

mais la saison de collecte n'a affecté cette concentration qu'en interaction avec l'organe de la plante ($p < 0,01$, Tableau 1). Les concentrations en rétroisine dans le Sénéçon du Cap sont les plus élevées dans les inflorescences collectées en septembre et dans les feuilles collectées en juin avec respectivement 1949 et 1931 mg/kg, suivies des inflorescences collectées en juin (1372 mg/kg). Les concentrations dans les feuilles récoltées en septembre sont significativement ($p < 0,01$) inférieures à celles de juin. Les concentrations dans les feuilles et tiges en septembre sont très proches (respectivement, 905 et 912 mg/kg). Finalement, une concentration très faible en rétroisine a été observée dans les tiges récoltées en juin avec seulement 156 mg/kg, ce qui est très significativement différent de celles observées dans les feuilles de la même période (Tableau 1).

Comparaison des concentrations des AP dans les quatre espèces de Sénéçon

Les comparaisons suivantes entre les trois taxons européens et le Sénéçon du Cap sont basées sur la collecte de septembre, comme *Senecio inaequidens* est à cette période au même stade de développement (stade 6: floraison) que les espèces européennes.

Les concentrations en sénécionine dans les feuilles et les tiges des Sénéçons de Jacob et à feuilles de roquettes ont été inférieures seuil de quantification, et celle dans les inflorescences très faibles. Ainsi, l'analyse statistique des concentrations en sénécionine a été

limitée à la comparaison entre les organes du Sénéçon commun et du Sénéçon du Cap dont les résultats sont présentés dans le tableau 2a.

La concentration en sénécionine (Tableau 2a) est significativement ($p < 0,001$) plus élevée dans les espèces du genre *Senecio* que dans celles du genre *Jacobaea*. Dans les espèces de *Jacobaea*, la sénécionine n'est mesurée que dans les inflorescences contrairement aux espèces de *Senecio* où elle a pu être déterminée dans les trois organes des plantes. Parmi ces dernières, *Senecio inaequidens* montre des concentrations en sénécionine significativement plus élevées dans des feuilles et les inflorescences que *Senecio vulgaris*, mais non dans les tiges. En effet, les concentrations les plus élevées avec plus de 2300 mg/kg ont été mesurées dans les feuilles et les inflorescences du Sénéçon du Cap tandis que les concentrations dans les tiges étaient assez semblables à celles constatées dans les différents organes du Sénéçon commun (400 à 600 mg/kg MS) (Tableau 2a).

La sénéciphylline est principalement observée dans *Senecio vulgaris* même si quelques concentrations très faibles ont été détectées dans des inflorescences des autres taxons (Tableau 2b). Néanmoins, les concentrations de sénéciphylline entre les trois organes du Sénéçon commun ne sont pas statistiquement différentes et très proches. Ces données n'ont donc pas été comparées à cause de l'absence de concentrations quantifiables dans plusieurs organes des plantes.

TABLEAU 1 : Concentrations d'alcaloïdes (mg/kg matière sèche) dans du Sénéçon du Cap collecté à deux périodes

TABLE 1: Alkaloid concentrations (mg/kg dry matter) in Cap Ragwort sampled at two different periods

	Moyennes		Effets (p-value)		
	Juin	Septembre	Organe	Période	Organe x période
Sénécionine					
Feuilles	860 ^b	2301 ^a	<0,001	<0,001	<0,01
Tiges	579 ^b	658 ^b			
Sénéciphylline	Toutes les moyennes < LQ [†]				
Rétroisine					
Feuilles	1931 ^a	905 ^{bc}	<0,001	0,59	<0,01
Tiges	156 ^c	912 ^{bc}			
Inflorescences	1372 ^{ab}	1949 ^a	ETR [‡]		397

Moyennes avec différentes lettres minuscules sont différentes à $P < 0,05$

[‡] ETR Ecart-type résiduel du modèle

[†] LQ à 30 mg/kg MS

TABLEAU 2a : Concentrations de sénécionine dans les organes de différentes espèces de Sénéçon (mg/kg matière sèche)

TABLE 2a: Senecionine concentrations (mg/kg dry matter) in organs of different ragwort species

	Sénéçon de Jacob	Sénéçon à feuilles de roquette	Sénéçon commun	Sénéçon du Cap [†]	Effets
	<i>J. vulgaris</i>	<i>J. erucifolia</i>	<i>S. vulgaris</i>	<i>S. inaequidens</i>	p-value
Moyennes					Espèce <0,001
Feuilles	<LQ	<LQ	589 ^b	2301 ^a	Organe <0,001
Tiges	<LQ	<LQ	404 ^b	657 ^b	Es*Org. <0,001
Inflorescences	50	50	555^b	2394^a	ETR[‡] 312

Moyennes avec différentes lettres minuscules sont différentes à $P < 0,05$

[†] échantillons collectés de septembre

LQ à 24 mg/kg MS

[‡] ETR : écart-type résiduel du modèle

TABLEAU 2b : Concentrations de sénéciphylline dans les organes de différentes espèces de Sénéçon (mg/kg matière sèche)

TABLE 2b: Seneciphylline concentrations (mg/kg dry matter) in organs of different ragwort species

	Sénéçon de Jacob	Sénéçon à feuilles de roquette	Sénéçon commun	Sénéçon du Cap [†]
	<i>J. vulgaris</i>	<i>J. erucifolia</i>	<i>S. vulgaris</i>	<i>S. inaequidens</i>
Moyennes				
Feuilles	<LQ	<LQ	786	<LQ
Tiges	<LQ	<LQ	446	<LQ
Inflorescences	86	41	321	<LQ

[†] échantillons collectés de septembre

LQ à 30 mg/kg MS

TABLEAU 2c : Concentrations de rétroisine dans les organes de différentes espèces de Sénéçon (mg/kg matière sèche)

TABLE 2c: Retrorsine concentrations (mg/kg dry matter) in organs of different ragwort species

	Sénéçon de Jacob	Sénéçon à feuilles de roquette	Sénéçon commun	Sénéçon du Cap [†]	Effets
	<i>J. vulgaris</i>	<i>J. erucifolia</i>	<i>S. vulgaris</i>	<i>S. inaequidens</i>	p-value
Moyennes					Espèce <0,001
Feuilles	161 ^c	426 ^{bc}	50 ^c	905 ^{bc}	Organe <0,001
Tiges	154 ^c	318 ^c	46 ^c	912 ^{bc}	Es*Org. <0,05
Inflorescences	1712^{ab}	1465^{ab}	97^c	1949^a	ETR[‡] 369

Moyennes avec différentes lettres minuscules sont différentes à $P < 0,05$

[†] échantillons collectés de septembre

[‡] ETR : écart-type résiduel du modèle

Les concentrations en rétroisine varient dans le sens opposé à la sénéciphylline : elles ont tendance à être plus faibles dans le Sénéçon commun (<100 mg/kg) et plus élevées dans le Sénéçon du Cap (>900 mg/kg) avec des concentrations intermédiaires dans les espèces de *Jacobaea* (Tableau 2c). De plus, les concentrations dans les inflorescences sont majoritairement plus élevées que dans les feuilles et tiges, se situant entre 1,5 et 2 g/kg MS, sauf pour *Senecio vulgaris*. Les concentrations ne varient pas entre les feuilles et les tiges pour les 4 taxons. Cependant, la concentration de rétroisine est significativement affectée par les deux facteurs étudiés (taxon et organe de plante) ainsi que leur interaction ($p < 0,05$) (Tableau 2c).

Discussion

Evaluation des risques pour des animaux au pâturage

La toxicité aiguë de la sénécionine, exprimée par sa DL50, a été estimée sur des rongeurs de laboratoire à 65 mg/kg pc (Stegelmeier *et al.*, 2016), mais des intoxications létales due à une exposition chronique ont été également reportée (McQueen, 2010) avec des symptômes qui variaient en fonction de la dose et de la durée d'exposition.

La toxicité de la sénéciphylline est moins documentée mais la société Carl Roth mentionne sur la fiche de sécurité accompagnant la vente de la sénéciphylline une dose de 77 mg/kg pc assez similaire, sans indiquer l'origine de cette DL50. Finalement, White (1976) reporte une toxicité aiguë (DL50) de la rétroisine à 42 mg/kg pc. Ces données semblent indiquer que la rétroisine est plus problématique que la sénécionine et la sénéciphylline, ce qui est très important pour l'évaluation du Sénéçon du Cap.

En absence de valeurs toxicologiques de référence spécifiques aux herbivores, la DL50 établie sur des rats est appliquée avec un facteur de sécurité de 10, soit 4,2 mg de rétroisine par kg de poids corporel. Il existe donc un risque d'empoisonnement aigu après ingestion de 4,7 g de MS de Sénéçon du Cap pur par kg de poids corporel (contenant 900 mg de rétroisine/kg de plante sèche, soit 5,5 mg de rétroisine/kg pc) ou de 55 g de matière brute de foin/kg pc contenant 10% de Sénéçon du Cap (contenant 60 mg de rétroisine /kg MS de foin, soit 4,2 mg/kg pc). Cette estimation se base uniquement sur la concentration en rétroisine du Sénéçon du Cap sans tenir compte des éventuels effets d'autres AP. Selon ces calculs, l'empoisonnement direct d'un cheval adulte de 500 kg devrait donc être supposé après la consommation de 2,75 kg de Sénéçon de Cap pur ($4,7 * 500 / 0,85$ pour passer en kg de MB de séneçon séché) ou de 27,5 kg de foin contenant 10% de séneçon. Si cette quantité de foin paraît élevée pour un cheval, il faut rappeler que la vraie dose d'une intoxication aiguë est probablement plus faible due à la présence simultanée de concentrations élevées non seulement en rétroisine mais aussi en sénécionine, dans cette plante. De même, une exposition chronique (de plusieurs jours) est susceptible d'entraîner des dommages, notamment hépatiques, à des doses bien plus faibles.

La toxicité de chaque AP pris séparément pour des animaux d'élevage est inconnue à ce jour. Les données toxicologiques des AP ne peuvent être déduites que des cas cliniques publiés et de quelques données expérimentales. Les cas décrits et étudiés concernant principalement le Sénéçon de Jacob (*Jacobaea vulgaris*) pour des bovins et des équins (Betty et Markson, 1954 ; Cartwright, 1936 ; Cockburn *et al.*, 1955 ; Dewes et Lowe, 1985 ; Giles, 1983 ; Milne *et al.*, 1990). Ce fait est probablement lié à leur comportement d'ingestion mais aussi à la sensibilité de l'espèce. En effet, la sensibilité à l'empoisonnement varie de manière considérable entre les espèces en fonction des caractéristiques de l'absorption des AP, de la capacité de la flore ruminale à les métaboliser et du métabolisme hépatique des AP (Cheeke, 1984 ; Shull *et al.*, 1976). Les porcs et les poules sont des espèces hautement sensibles tandis que bovins, équins et rats sont modérément sensibles et les souris et les petits ruminants apparaissent relativement résistants (Cheeke, 1984 ; Hooper, 1978 ; Shull *et al.*, 1976 ; Wacheheim *et al.*, 1992). De plus, très peu de cas ont été décrits avec une estimation de la quantité ingérée des plantes et un dosage des AP dans ces plantes au moment de leur ingestion.

Quelques essais d'intoxications chroniques ont été réalisés : Duby (1975) a démontré qu'une ingestion quotidienne d'environ 1 g de Sénéçon de Jacob par kg pc entraînait la mort de veaux après une exposition entre 55 et 167 jours, ce qui correspond à 0,04-0,13 kg/kg pc in toto. La dose chronique létale du Sénéçon de Jacob pour les chèvres se situerait entre 1,25 et 4,0 kg/kg pc (Goeger *et al.*, 1982). Douze pour cent de *Jacobaea vulgaris* dans l'alimentation de vaches gestantes de 30 à 45 jours n'a entraîné que des changements sériques minimes chez les vaches et a été suivi par des naissances de veaux tout à fait normaux (Johnson et Smart, 1983). Une réponse bimodale a été observée lors du développement de maladie chronique chez des chevaux, avec la mort de la moitié d'entre eux entre 6 et 22 semaines d'exposition tandis que l'autre moitié présentait un développement de maladie retardé au cours duquel les animaux restaient cliniquement normaux jusqu'à quelques jours avant leur mort à 38 à 58 semaines, et cela quelle que soit la dose ingérée des AP du Sénéçon de Jacob, comprise entre 77 et 243 mg de AP/kg pc (Craig *et al.*, 1991). Ces résultats démontrent des variations individuelles fortes quant à la sensibilité à l'empoisonnement par des AP, au moins chez les équidés.

Il n'y a que peu de cas publiés d'intoxications spontanées d'animaux domestiques avec *Senecio vulgaris*, *Senecio inaequidens* and *Jacobaea erucifolia*. Même en Afrique du Sud, les cas décrits sont rares et peu documentés, comme la suspicion d'intoxication de vaches avec le Sénéçon du Cap (Dimande *et al.*, 2007). *Senecio vulgaris* a causé des problèmes cliniques spontanés, chez des chevaux, mais sans mortalité (Lessard *et al.*, 1986) et sa toxicité a été expérimentalement confirmée chez 9 chevaux après l'ingestion de $233 \pm 9,2$ mg d'AP totaux/kg pc (Mendel *et al.*, 1988). En Europe, aucune intoxication spontanée n'a été publiée avec le Sénéçon du Cap, mais sa population invasive en Europe montre

des concentrations plus élevées en AP que dans celle native d'Afrique du Sud avec une variabilité entre les pays beaucoup plus élevée qu'au sein d'un même pays (Caño *et al.*, 2009). La présence de concentrations d'AP si élevées, surtout en rétroisine, ainsi que l'absence d'identification et de dosages des composés responsables des empoisonnements cliniquement identifiés posent de vraies questions pour les herbivores au pâturage.

Conséquences pour la gestion des prairies

Le Centre de Ressources des Espèces Exotiques Envahissantes (CREEE, 2021) propose des moyens efficaces pour limiter la dispersion d'espèces exotiques invasives : l'arrachage et le fauchage sont les interventions de gestion les plus fréquemment appliquées.

L'arrachage peut être réalisé quand la colonisation débute et que seulement quelques pieds sont présents ou quand la surface envahie n'est guère accessible avec des moyens mécaniques. Il doit être réalisé avant la fructification. Les pieds déracinés doivent être stockés dans des sacs (les fleurs encore en boutons d'un pied déraciné peuvent fructifier en 2-3 jours). Après l'arrachage, les graines des années précédentes conservées dans le sol peuvent germer. Ainsi il est recommandé de répéter l'arrachage au moins une fois ou, si plusieurs cycles de végétation se développent annuellement, plusieurs fois par an. Il est utile aussi de semer, après l'arrachage des sénéçons, des espèces végétales indigènes avec une grande capacité de couverture du sol afin de concurrencer la repousse invasive (CREEE, 2021).

Le fauchage n'élimine pas la plante mais limite sa propagation en l'empêchant de produire des semences. Il peut être fait sur des larges surfaces colonisées mais doit être réalisé avant la fructification. Le fauchage doit être répété plusieurs années tant que de nouveaux individus apparaissent. A cause de sa toxicité, le produit de fauche ne doit pas être utilisé comme fourrage pour les animaux, ni pour le foin ni pour l'ensilage.

En résumé, les détenteurs d'animaux et toute la filière des herbivores doivent être conscients de ces problèmes et contenir l'invasion du Sénéçon du Cap par des moyens agronomiques appropriés. Des formations pour reconnaître aisément cette plante et les moyens de son contrôle devraient être mises en place pour sensibiliser les éleveurs et qu'ils choisissent bien les surfaces dédiées aux animaux ainsi que les moyens de leur gestion. Finalement, une attention accrue des vétérinaires permettrait d'améliorer l'identification des cas lors des consultations afin de prodiguer aux animaux concernés les soins les plus adaptés. La méconnaissance de la plante et l'inaction contre sa propagation, ainsi que la sous-estimation de ces dommages chez les herbivores et dans les écosystèmes, ont pour conséquence la progression de l'invasion propagation du Sénéçon du Cap dans nos prairies.

Conclusion

L'étude présentée démontre que le Sénéçon du Cap qui a progressivement envahi les prairies françaises, contient de

concentrations très fortes d'AP dans tous ses organes aériens, notamment de la sénécionine et de la rétroisine. L'absence de travaux complets ne permet pas de prouver un lien de cause à effet entre la présence accrue du Sénéçon du Cap dans les prairies et les cas d'intoxications des herbivores, mais de nombreux éléments toxicologiques tendent à indiquer un tel lien. Pour cette raison, les études scientifiques à venir devraient se focaliser sur la régulation de l'invasion du Sénéçon du Cap dans des prairies françaises et européennes mais aussi examiner plus systématiquement l'exposition (composés et doses) des animaux présentant des pathologies qui peuvent être associées à l'empoisonnement. Finalement, une prise de conscience collective de tous les acteurs comme les agriculteurs, les écologues, mais aussi les vétérinaires devraient permettre d'améliorer la prise en compte de ce nouvel aspect dans la gestion des prairies.

Remerciements

Les auteurs remercient la plateforme MassLor de l'Université de Lorraine (Nancy, France) pour le soutien technique lors des analyses ainsi que les associations « Synergie Plantes Invasives Grand Est » (SPIGEst) et « Floraine » pour leurs soutiens financiers..

Références bibliographiques

- Abbé Costes (1937) Flore descriptive et illustrée de la France, de la Corse et des contrées limitrophes. vol. I, II et III ; Blanchard ed., Librairie des Sciences et des Arts, Paris. 1852 pp.
- Betty R.W., Markson L.M. (1954). "Liver biopsy in the diagnosis of ragwort (*Senecio jacobea*) poisoning in a herd of cattle". *Veterinary Record*, 28(66), 398-400.
- Biocchi C., Rubiolo P., Frattini C. (1989). "Capillary gas chromatography Fourier transform infrared spectroscopy of pyrrolizidine alkaloids of *Senecio inaequidens* DC". *Journal of Chromatography*, 473, 161-170.
- Brunel S (2003) Plantes envahissantes de la région méditerranéenne. Agence Méditerranéenne de l'Environnement. Consultable : <https://www.arbe-regionsud.org/17376-plantes-envahissantes-de-la-region-mediterraneenne.html?parentId=6312>
- Caño L., Escarré J., Vrieling K., Sans F.X. (2009). "Palatability to a generalist herbivore, defence and growth of invasive and native *Senecio* species: testing the evolution of increased competitive ability hypothesis". *Oecologia*, 159(1),95-106.
- Cartwright CW (1936). An outbreak of poisoning by ragwort (*Senecio jacobea*). *Veterinary Record* 26(48),817-18.
- Cheeke P.R. (1984) "Comparative toxicity and metabolism of pyrrolizidine alkaloids in ruminants and nonruminant herbivores". *Canadian Journal of Animal Sciences*, 64(suppl), 201-202.
- Cockburn S., Eaton G., Hudson J.R., Morgan K.G., Wood E.C., Worden A.N. (1955) "Acute poisoning of cattle by common ragwort (*Senecio jacobea*)". *Veterinary Record*, 67, 640.
- Craig A.M., Pearson E.G., Meyer C., Schmitz J.A. (1991). "Serum liver enzyme and histopathology changes in calves with chronic and chronic-delayed *Senecio jacobaea* toxicosis". *American Journal of Veterinary Research*, 52(12), 1969-1978.
- Craigmill A.L. (1981). "Toxic plants II. Pyrrolizidine alkaloids. Cooperative Extension, University of California". *Environmental Toxicology Newsletter*, 1(4). http://extoxnet.orst.edu/newsletters/n14_81.htm
- Crews C., Anderson W.A.C. (2009). "Detection of ragwort alkaloids in toxic hay by liquid chromatography/time-of-flight mass spectrometry". *Veterinary Record*, 165, 568-569

- CREEE (2021). Centre de Ressources Espèces Exotiques Envahissantes. <http://especies-exotiques-envahissantes.fr/espece/senecio-inaequidens/>. Téléchargé le 21 juillet 2021
- Dewes H.F., Lowe M.D. (1985). "Haemolytic crisis associated with ragwort poisoning and rail chewing in two thoroughbred fillies". *New Zealand Veterinary Journal*, 33(9), 159-60. doi: 10.1080/00480169.1985.35213. PMID: 16031207.
- Dimande A.F., Botha C.J., Prozesky L., Bekker L., Rösemann G.M., Labuschagne L., Retief E. (2007). "The toxicity of *Senecio inaequidens* DC.". *Journal of the South African Veterinary Association*, 78(3), 121-9. doi: 10.4102/jsva.v78i3.302. PMID: 18237033
- Duby G.D. (1975). "Tansy ragwort: a toxic threat to livestock". *Modern Veterinary Practice*, 56(3), 185-8.
- EFSA (2011). "Scientific Opinion on Pyrrolizidine alkaloids in food and feed. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM)". *EFSA Journal*, 9(11), 2406.
- EPPO (2021). EPPO Global Database. <https://gd.eppo.int>. Téléchargé le 21 juillet, 2021.
- Ernst W.H.O. (1998). "Invasion, dispersal and ecology of the South African neophyte *Senecio inaequidens* in the Netherlands: from wool alien to railway and road alien". *Acta Botanica Neerlandica*, 47:131-151.
- Fiche de Données de Sécurité : Sénéciophylline. ROTICROM@<https://www.carlroth.com> %2Fdownloads%2Fsd%2Ffr%2F1%2FSDB_1214_FR_FR.pdf&usg=AOvVaw2R2z-YCWETYHH8neDM2RAo&opi=89978449. Consulté le 23/02/2024
- GBIF: Global Biodiversity Information Facility (2008). Delivering Alien Invasive Species. *Handbook of alien species in Europe*. Vol. 3. Springer Science & Business Media, 2008. Fiche 159509427
- Giles C.J. (1983). "Outbreak of ragwort (*Senecio jacobaea*) poisoning in horses". *Equine Veterinary Journal*, 15(3), 248-50.
- Goeger D.E., Cheeke P.R., Schmitz J.A. (1982). "Toxicity of tansy ragwort (*Senecio jacobaea*) to goats". *American Journal of Veterinary Research*, 43(2), 252-254.
- Guinochet M., De Vilmorin R. (1982). Flore de France, ed. CNRS Paris, 1595 pp.
- Hooper P.T. (1978). "Pyrrolizidine alkaloid poisoning-pathology with particular reference to differences in animal and plant species". In *Effects of Poisonous Plants on Livestock*; Keeler, R.F., Ed.; Academic Press: New York, NY, USA; pp. 161-176.
- INPN : Inventaire National du patrimoine Naturel (2024). https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/122630. Consulté le 5 Janvier 2024
- Johnson A.E., Smart R.A. (1983). "Effects on cattle and their calves of tansy ragwort (*Senecio jacobaea*) fed in early gestation". *American Journal of Veterinary Research*, 44:1215-1219
- Klevenhusen F., Pieper R., Winter J., Ronczkac S., Speerc K. (2019). "Stability of pyrrolizidine alkaloids from *Senecio vernalis* in grass silage under different ensilage conditions". *Journal of Science in Food and Agriculture*, 99, 6649-6654.
- Kuhbier H. (1996). "100 years of *Senecio inaequidens* in Bremen". *Abhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins zu Bremen*. 43:531-536.
- Lessard P., Wilson W.D., Olander H.J., Rogers Q.R., Mendel V.E. (1986). "Clinicopathologic study of horses surviving pyrrolizidine alkaloid (*Senecio vulgaris*) toxicosis". *American Journal of Veterinary Research* 47(8), 1776-80. PMID: 2875683.
- Leyland A. (1985). "Ragwort poisoning in horses". *Veterinary Record*, 117(18), 479.
- Mattocks A.R., Driver H.E., Barbour R.H., Robins D.J. (1986). "Metabolism and Toxicity of synthetic analogs of macrocyclic diester pyrrolizidine alkaloids". *Chemical and Biological Interactions* 58, 95-108. Doi: 10.1016/S0009-2797(86)80089-8.
- McQueen C.A. (2010). "Comprehensive Toxicology". 2nd edition, Elsevier, Oxford (UK).
- Meier U., Bleiholder H., Buhr L., Feller C., Hack H., Heß M., Lancashire P.D., Schnock U., Stauß R., van den Boom T., Weber E., Zwerger Z. (2009). "The BBCH system to coding the phenological growth stages of plants – history and publications". *Journal für Kulturpflanzen*, 61(2), 158p.
- Mendel V.E., Witt M.R., Gitchell B.S., Gribble D.N., Rogers Q.R., Segall H.J., Knight H.D. (1988). "Pyrrolizidine alkaloid-induced liver disease in horses: an early diagnosis". *American Journal of Veterinary Research*, 49(4):572-8. PMID: 3377320.
- Milne E.M., Pogson D.M., Doxey D.L. (1990). "Secondary gastric impaction associated with ragwort poisoning in three ponies". *Veterinary Record*, 126(20) 502-504.
- Mosseray R. (1936). Matériaux pour une flore de Belgique. V. Genre *Senecio*. *Bulletin du Jardin Botanique de Belgique*, 14, 57-82.
- Mulder P.P.J., López Sánchez P., These A., Preiss-Weigert A., Castellari M. (2015). "Occurrence of Pyrrolizidine Alkaloids in food". *EFSA supporting publication*, 2015:EN-859, 116 pp.
- Muller, S. (coord.) 2004. Plantes invasives en France. Museum national d'Histoire naturelle, Paris (*patrimoine naturel*, 62). 168 pp.
- Patrick P.J., Mulder M.D., Klijnstra R.M.A., Goselink A.M., van Vuuren J.W., Cone G.S., Hoogenboom R.L.A.P. (2020). "Transfer of pyrrolizidine alkaloids from ragwort, common groundsel and viper's bugloss to milk from dairy cows". *Food Additives & Contaminants: Part A*, 37(11), 1906-1921. doi: 10.1080/19440049.2020.1798028
- Saliba S., Ptak A., Boisbrun M., Spina R., Dupire F., Laurain-Mattar D. (2016). "Stimulating effect of both 4'-O-methylnorbelladine feeding and temporary immersion conditions on galanthamine and lycorine production by *Leucojumaestivum* L. bulblets". *English Life Science*, 16, 731-739.
- Senay P (1944). Le séneçon adventice de Mazamet. *Bulletin de la Société Botanique de France*, 91,111-113.
- Shull L.R., Buckmaster G.W., Cheeke P.R. (1976). "Factors Influencing Pyrrolizidine (*Senecio*) Alkaloid Metabolism : Species, Liver Sulfhydryls and Rumen Fermentation". *Journal of Animal Science*, 43(6), 1247-1253. doi: 10.2527/jas1976.4361247x
- Stegelmeier B.L., Colegate S.M., Brown A.W. (2016). "Dehydropyrrolizidine Alkaloid Toxicity, Cytotoxicity, and Carcinogenicity". *Toxins*, 8 (12): 356. doi: 10.3390/toxins8120356.
- Swick R.A., Cheeke P.R., Ramsdell H.S., Buhler D.R. (1983) "Effect of sheep rumen fermentation and methane inhibition on the toxicity of *Senecio jacobaea*". *Journal of Animal Science* 56, 645-651. Doi: 10.2527/jas1983.563645x.
- Vetter, V. M. S., Kreyling, J., Dengler, J., Apostolova, I., Arfin Khan, M. A. S., Berauer, B., Berwaers, S., De Boeck, H. J., Nijs, I., Schuchardt, M. A., Sopotlieva, D., von Gillhausen, P., Wilfahrt, P., Zimmermann, M., Jentsch, A. (2020). "Invader presence disrupts the stabilizing effect of species richness in plant community recovery after drought". *Global Change Biology*, 26 (6), 3539-3551. doi : 10.1111/gcb.15025.
- Wachenheim D.E., Blythe L.L., Craig A.M. (1992). "Characterization of rumen bacterial pyrrolizidine alkaloid biotransformation in ruminants of various species". *Veterinary and Human Toxicology*, 34(6):513-517. PMID: 1287970.
- White I.N. (1976). "The role of liver glutathione in the acute toxicity of retrorsine to rats". *Chemical and Biological Interactions*, 13(3-4), 333-342. doi: 10.1016/0009-2797(76)90085-5.
- pâturages au sahel. In *Horizons nomades en Afrique sahélienne*. Sociétés, développement et démocratie. Ouvrage coordonné par Bourgeot A, Edition Karthala, 377-394
- Yapi-Gnaoré C.V., Toure G., Kouadja G.S., Kouadio K.E. (2010). Rapport annuel des activités de recherche du programme Productions d'Élevage, 38 p.
- Yoro G. R. (2000). Les principaux sols de Côte d'Ivoire et leur corrélation avec les groupes de référence de la Base Mondiale de données de sols (WRB), 19 p.