



HAL
open science

Etude comparée de la réponse de la croissance foliaire à la sécheresse chez trois espèces de poacées

Cassandre Raynaud

► **To cite this version:**

Cassandre Raynaud. Etude comparée de la réponse de la croissance foliaire à la sécheresse chez trois espèces de poacées. Biologie végétale. 2021. hal-03312915

HAL Id: hal-03312915

<https://hal.inrae.fr/hal-03312915v1>

Submitted on 3 Aug 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Cassandre Raynaud

Rapport de stage de 1^{ère} année du Master

MENTION : BIODIVERSITÉ ÉCOLOGIE ET ÉVOLUTION
PARCOURS : PLANTES ET SOCIÉTÉ
CULTURE DURABLE, PAYSAGE ET PHYTOVALORISATION

Année 2020-2021

**ETUDE COMPAREE DE LA REPONSE DE LA CROISSANCE FOLIAIRE A LA SECHERESSE
CHEZ TROIS ESPECES DE POACEES**



Structure d'accueil : INRAE URP3F

Adresse : Le Chêne - RD 150 CS 80006, 86600 Lusignan

Maître de stage : Romain Barillot

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier ma responsable de master Madame Rossitza Atanassova professeure à l'Université de Poitiers qui a fortement contribué à la recherche de mon stage.

Je souhaite également remercier INRAE et l'Unité de Recherche Pluridisciplinaire Prairie et Plantes Fourragères (URP3F) de Lusignan pour m'avoir offert l'opportunité de réaliser ce stage, pour leur accueil chaleureux et la bonne ambiance qui règne dans les locaux. Je souhaite tout particulièrement remercier Franck Gelin et Marianne Van Peteghem qui ont fortement contribué à la mise en place de l'expérimentation ainsi qu'à sa réalisation.

Je remercie Jean-Louis Durand pour ses conseils, son partage de connaissance et pour sa bienveillance.

Et pour finir, je souhaite remercier Romain Barillot mon maître de stage sans qui ce stage n'aurait jamais pu être possible. Je le remercie dans un premier temps pour avoir retenu ma candidature et m'avoir fait confiance durant ce stage mais aussi pour sa qualité d'écoute, son temps accordé, ses conseils bien avisés et par-dessus tout pour sa bienveillance et sa pédagogie.

AVANT-PROPOS

INRAE, l'Institut National de la Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement, créé en janvier 2020 est un acteur majeur de la recherche et de l'innovation. Issu de la fusion entre l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) et Irstea (Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture), INRAE s'implique dans des projets de recherches au service des défis sociétaux actuels. Cela se traduit par leur investissement dans l'atténuation et l'adaptation au changement climatique, la transition des agricultures, la sécurité alimentaire et nutritionnelle, la préservation des ressources naturelles, mais aussi par la restauration de la biodiversité.

L'Unité de Recherche Pluridisciplinaire Prairies et Plantes Fourragères (URP3F) implantée à Lusignan, fait partie du centre de recherche Nouvelle Aquitaine Poitiers. Cette unité a pour projet de produire et d'enrichir les connaissances en écophysiologie ainsi qu'en amélioration des plantes pour optimiser la durabilité des prairies semées via l'amélioration génétique des cultivars ou des espèces et l'amélioration des pratiques des systèmes prairiaux.

ABREVIATIONS

BM : Brin maître

HS : Haun Stage

INRAE : Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement

PAR : Rayonnement Synthétiquement Actif

REGR : relative elemental growth rate

URP3F : Unité de Recherche Pluridisciplinaire Prairie et Plantes Fourragères

RÉSUMÉ

La croissance foliaire est un processus majeur dans le fonctionnement des plantes. Les feuilles jouent le rôle d'interface entre la plante et son environnement aérien et ont un intérêt tout particulier en agronomie. La croissance foliaire est dépendante de son environnement or le réchauffement climatique conduira à des périodes de sécheresse plus fréquentes et intenses. C'est dans cette optique que nous avons choisi d'effectuer une étude comparée de la morphogénèse aérienne chez 3 espèces de poacées face à une condition de sécheresse. Pour ce faire, 120 plantes de blé, fétuque élevée et de ray-grass anglais ont été étudiées lors d'une expérimentation en serre et exposées à une sécheresse à partir du stade feuille 7 ligulée. Des mesures d'allongement foliaire, de potentiel hydrique et osmotique ont été réalisées au niveau de la zone de croissance des feuilles. Un suivi de la dimension et de l'allongement de la zone de croissance a également été réalisé au cours de la sécheresse. Dans l'ensemble, les plantes exposées au traitement sécheresse ont vu leur vitesse d'allongement foliaire réduire tout comme la vitesse d'apparition de nouvelles feuilles quelle que soit l'espèce étudiée. Le potentiel hydrique des zones de croissance foliaire a peu varié chez les trois espèces en condition de sécheresse.

Mots Clés : blé, fétuque, ray-grass anglais, sécheresse, potentiel hydrique, potentiel osmotique, zone de croissance

SOMMAIRE

I.	Introduction	1
II.	Matériel et méthodes	5
	A. Matériel végétal	5
	1. <u>Semis</u>	5
	2. <u>Sélection de plantes homogènes</u>	5
	3. <u>Dispositif expérimental</u>	7
	B. Condition de culture	7
	1. <u>Serre</u>	7
	2. <u>Traitement hydrique</u>	7
	C. Mesures	9
	1. <u>Mesure de la vitesse d'allongement foliaire des 3 espèces</u>	9
	2. <u>Mesures du potentiel hydrique et de ses composantes</u>	9
	2.1. <u>Mesure de potentiel hydrique</u>	11
	2.2. <u>Mesure du potentiel osmotique</u>	13
	3. <u>Mesure de la zone de croissance</u>	13
	D. Variables	15
III.	Résultats	15
	A. Haun Stage	17
	B. Vitesse d'allongement des feuilles	17
	C. Longueurs des feuilles moyennées	19
	D. Potentiel hydrique	21
	E. Zone de croissance foliaire	23
IV.	Discussion	23
V.	Conclusion	25
VI.	Bibliographie	27

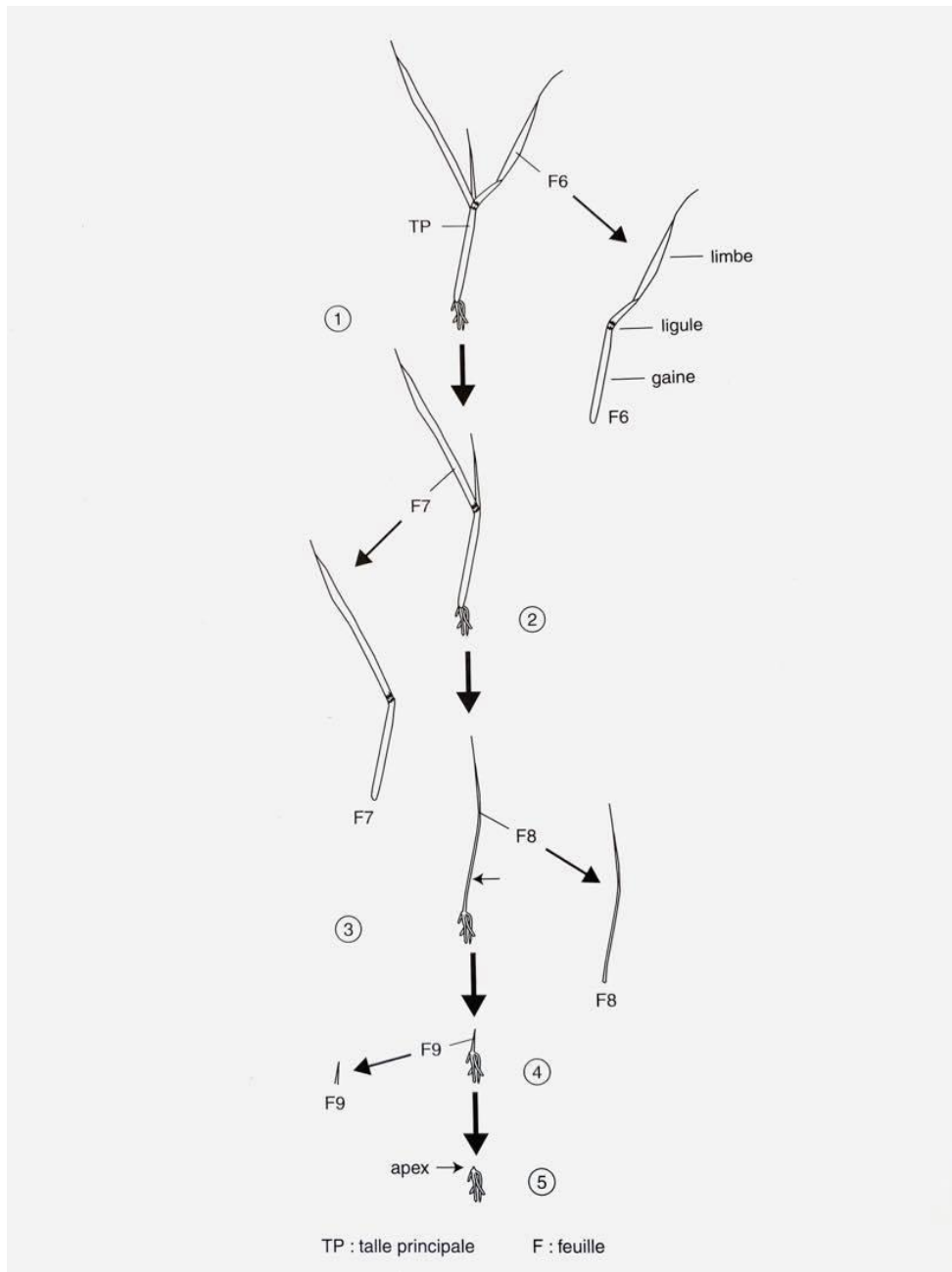


Figure 1 : Dissection d'une poacée en ses feuilles successives, lesquelles enveloppent son apex. (LAFARGE M. et DURAND J.L. 2011. Comment l'herbe pousse Développement végétatif, structures clonales et spatiales des graminées.)

I. INTRODUCTION

La croissance foliaire est un processus majeur dans le fonctionnement des plantes. En effet, les feuilles jouent le rôle d'interface entre la plante et son environnement aérien. Les feuilles sont capables de percevoir les plantes voisines grâce à des signaux lumineux de qualité spectrale variable. Les feuilles interviennent aussi dans le processus de photosynthèse et par conséquent dans la synthèse de matière organique indispensable au développement des plantes (U. Schurr et al. 2006).

Sur le plan agronomique, la croissance foliaire est primordiale dans la conception des réserves carbonées chez les poacées annuelles par le biais de la photosynthèse. Concernant les poacées pérennes, la croissance foliaire constitue directement la biomasse qui est récoltée pour nourrir le bétail.

La croissance foliaire dépend des facteurs environnementaux typiquement représentés par la lumière, l'eau ou l'azote (J.L. Durand. 1995). Dans un contexte de changement climatique, une élévation des températures globales ainsi que des distributions de pluies annuelles pouvant varier risquent de tendre vers des hivers de plus en plus pluvieux et des étés de plus en plus secs dans les années futures (J.M. Soubeyroux et al. 2020). Il est par conséquent important d'étudier la croissance de feuilles en fonction des différents facteurs de l'environnement. Le déficit hydrique est le facteur numéro un de la diminution des rendements des cultures dans le monde (S. Yates et al. 2019) et pour déterminer si une plante souffre ou non de sécheresse, il est nécessaire d'établir un bilan entre le facteur eau entrant, c'est-à-dire l'absorption d'eau par les racines et le facteur eau sortant qui se traduit par l'évapotranspiration de la plante. Lorsqu'il y a une dégradation de ce bilan, la plante est en condition de sécheresse (J.L. Durand. 2007).

Les poacées, ou graminées sont une famille de plantes faisant partie des monocotylédones. Leur morphologie et leur façon de croître diverge des plantes dicotylédones. En effet, chez les poacées les feuilles sont composées d'un limbe et d'une gaine et sont engainées les unes dans les autres. Les feuilles matures présentent un angle net entre la base du limbe et la gaine visible où se situe la ligule (figure 1). Le méristème apical caulinaire produisant les nouvelles feuilles se situe à la base de la plante. Les feuilles juvéniles vont ainsi s'allonger à l'intérieur des gaines des feuilles matures.



Figure 2 : Image des trois poacées utilisées lors de l'expérimentation (A) Blé (B) Ray-Grass Anglais (C) Fétuque élevée.

Cette structure de croissance ne nous permet donc pas de voir directement la première phase d'allongement des feuilles, c'est-à-dire avant qu'elles n'émergent hors de la plus haute gaine de la talle. La figure 1 montre l'anatomie caractéristique des poacées qui décrit la structure d'emboîtement des feuilles les plus juvéniles dans les gaines des feuilles les plus âgées (M. Lafarge et J.L. Durand. 2011).

L'allongement foliaire d'une feuille suit typiquement une cinétique sigmoïdale qui s'explique par la présence de trois zones cellulaires distinctes au niveau de la zone de croissance située à la base des feuilles :

- La zone de division est située à la base de la talle. C'est ici, que la division cellulaire a lieu.
- La zone d'allongement cellulaire, se situe après la zone de division. C'est dans cette zone que résident les cellules en cours d'allongement. L'allongement des cellules est lié au potentiel de turgescence qui induit par l'intermédiaire de l'eau une force sur les parois des cellules, induisant ainsi un allongement cellulaire.
- La zone mature, se situe entre la zone d'allongement et la pointe du limbe.

Afin de mieux comprendre l'impact de la sécheresse sur la croissance foliaire il apparaît donc important de caractériser l'état hydrique des zones de croissance ainsi que leur dimension. Il est important de noter que l'eau se déplace vers les potentiels hydriques les plus négatifs. Elle suit donc un gradient la conduisant du sol aux racines puis des feuilles à l'atmosphère. La croissance foliaire est dépendante de l'eau entrant dans les zones de croissance et la quantité d'eau arrivant dans ces zones de croissance dépend du gradient de potentiel hydrique de la plante. Tout élément perturbant le gradient du potentiel hydrique tel que l'élévation de l'évapotranspiration des feuilles matures, alternance jour/nuit ou la sécheresse est susceptible de modifier la croissance foliaire.

L'objectif principal de ce stage est l'étude comparée de la réponse de la croissance foliaire à la sécheresse chez 3 espèces de poacées.

Pour e faire, nous avons réalisé nos tests sur trois Poacées (figure 2) :



Figure 3 : Mise en place de la germination des 3 espèces de poacée (blé, ray-grass anglais et fétuque élevée)

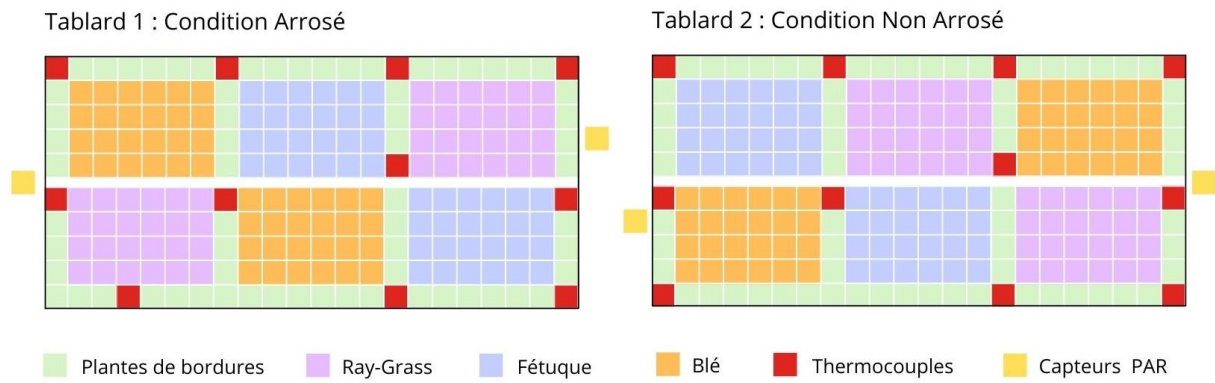


Figure 4 : Schéma du dispositif expérimental des plantes en serre.

- Une annuelle, le blé tendre d'hiver (*Triticum aestivum L.*), cv Soissons. Le blé est fortement représenté dans nos cultures puisque c'est la deuxième céréale la plus cultivée dans le monde après le maïs (McCormick. 2020). Le blé tendre est également la céréale la plus cultivée en France.
- Et deux pérennes, le ray-grass anglais cv Bronsyn (*Lolium perenne L.*) et la fétuque élevée cv Iliade (*Festuca arundinacea*) qui sont deux espèces de poacées très utilisées en France pour leur fourrage et présentant une réponse à la sécheresse contrastée.

II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

A. Matériel végétal

Lors de notre expérimentation, 516 plantes ont été utilisées. Parmi ces plantes, 360 ont été étudiées tandis que 156 plantes ont constitué les bordures. Au total, 120 plantes de chaque espèce ont été étudiées et analysées.


1. Semis

Les fétuques ont été mises en germination une semaine avant les blés et les ray-grass anglais car le développement des fétuques est plus lent que les deux autres espèces. Les trois espèces ont été mises à germer dans six plaques de germination de 140 godets soit l'équivalent de 840 semis par espèce (figure 3).

2. Sélection de plantes homogènes

Pour obtenir 120 plantules les plus homogènes possibles par espèce, une sélection a été réalisée sur les plaques de germination. Pour ce faire, les troisièmes feuilles (F3) des plantules ont été mesurées pour chaque plante et leurs longueurs moyennes ont été calculées par espèce. Pour le blé et le ray-grass anglais, les plantes sélectionnées présentaient une variation de 12 % autour de la longueur moyenne de la F3 contre 15 % pour la fétuque.

Une fois sélectionnées, les 360 plantules ont été repiquées dans des pots de 0,7 litre remplis de vermiculite. Ce substrat a une faible capacité de rétention d'eau et permet ainsi d'induire une sécheresse plus rapide. Les pots de vermiculites ont tous été pesés pour connaître les quantités d'eau présentes au moment des mesures.

 INRA <small>Institut National de la Recherche Agronomique</small>	MODE OPERATOIRE	Référence :	
		Centre de recherches Poitou-Charentes	Version : 1 / 1
		UEPF 86600 Lusignan	SOLUTIONS NUTRITIVES Date : 25 01 /2006 Page : 6/6

Respecter impérativement l'ordre des mélanges ci-dessous
Solution Finale : rincer l'éprouvette à l'eau déminéralisée après chaque flacon

N°0 Standard Habituelle N+++ à 8 µm de N								
N° du flacon	composition de 1 litre de solution mère			SOLUTION FINALE			concentration finale	
	(1) MACRO-ELEMENTS <small>After Gastal and Saugier (1986)</small>	quantité en Gr pour 1 L de solution mère	volume de solution mère en ml			de l'élément		
			pour 10litres	pour 100 litres	pour 120 litres	élément	en µM	
1	KNO₃ M: 101,1 gr/mol	191,9	10 ml	100 ml	120ml	K	2,6	
2	Ca (NO₃)₂ 4H₂O M: 236,15 gr/mol	129,8	10 ml	100 ml	120ml	N	8	
3	NH₄NO₃ M: 80,04 gr /mol	200	10 ml	100ml	120ml	P	0,55	
4	CaCl₂.2H₂O M:110,99 gr/mol	27,5	10 ml	100ml	120ml	Na	0,1	
	NaCl M: 58,44 gr/mo	5,85				Mg	0,25	
5	MgSO₄.7H₂O M: 246,37 gr/mol	61,5	10 ml	100ml	120ml	Ca	0,8	
6	KH₂PO₄ M: 136,09 gr/mol	54,4	10 ml	100ml	120ml	S	0,25	
	K₂HPO₄ M: 174,18 gr/mol	26,1				CL	0,6	
(2) MICRO-ELEMENTS <small>After Hoagland (1957) modifiée par I. Maurice et al. (1997)</small>								
7	H₃BO₃ M: 61,83 gr/mol	3,1	5 ml	50ml	60ml	B	2,5	
	CuSO₄, 5H₂O M: 249,71 gr/mol	0,25				Cu	0,5	
	MnSO₄, H₂O M: 169,01 gr/mol	0,676				Mn	2	
	ZnSO₄ , 7H₂O M: 287,55 gr/mol	1,15				Zn	2	
	Na₂MoO₄, 2H₂O M: 241,90 gr/mol	0,242				Mo	0,5	
8	FeSO₄, H₂O M:169,92 gr/mol	16,99	3 ml	30ml	36ml	Fe	20	
	HEDTA, HEEDTA M: 344,2 gr/mol <small>N-(2-HYDROXYETHYL)-ETHYLENEDIAMINE6 TRIACETIC ACID</small>	38,02						
FORMULE utilisée par : B.Onillon 1989-1992 ; H.Gautier:1993-1996 R.Schauffe:1995 ; I.Maurice :1995-1996 H.Gautier /C.Varlet-Grancher:1993-1996 ; P. Martre: 1997-1998 ; L.Dawson : 1996-1997 F.Tabourel :1998 ; A.Christophe & CVG 1998-1999 ; L.Combe 2003 ; Gastal/A.Verdenal 2004/05								

FIN DU MODE OPERATOIRE

Tableau1 : Fiche du mode opératoire pour concevoir la solution nutritive

3. Dispositif expérimental

Après sélection, les plantules ont été réparties sur deux tablards. Le tablard 1 comprenait les plantes n'ayant pas subi de stress hydrique (condition 'Arrosé') tandis que le tablard 2 comprenait les plantes ayant subi un stress hydrique (condition 'Non Arrosé'). Sur chaque tablard, les trois espèces étaient réparties en deux blocs de 30 plantes par bloc, soit l'équivalent de 60 plantes par espèce et par tablard (figure 4). Pour éviter l'hétérogénéité liée aux conditions sous serre, plusieurs dispositifs ont été mis en place. Pour commencer, une randomisation des plantes en deux blocs par espèce et par tablard a été effectuée (figure 4) puis des plantes de bordures ont été disposées autour des blocs afin d'éviter les disparités entre nos plantules. Ce dispositif permet de limiter la compétition entre les différentes espèces mais aussi de limiter l'excédent de lumière des plantes de bordures.

B. Conditions de culture

1. En serre

Notre expérimentation s'est déroulée en serre donc en conditions semi-contrôlées. La serre possède un système d'ouverture permettant son aération lorsque la température est trop élevée. De plus, un écran se déployait automatiquement au-dessus des plantes pour une meilleure régulation de la température.

Afin de connaître les conditions subies par les plantes, des thermocouples ont été installés dans chaque bloc pour mesurer la température de l'air à la hauteur des plantes (figure 4). Des capteurs PAR (Rayonnement Photosynthétiquement Actif, 400-700nm) ont aussi été installés de part et d'autre des tablards.

2. Traitement hydrique

Dans un premier temps, toutes les plantes ont été arrosées à la lance deux fois par jour à l'eau du robinet pendant une période de deux semaines. Ensuite, un système de goutte-à-goutte a été élaboré permettant ainsi l'apport de 16,86 g de solution nutritive par plante, deux fois par jour. Pour finir, les plantes du deuxième tablard ont cessé d'être arrosées au stade feuille 7 (F7).

Une solution nutritive complète a été élaborée (Tableau 1) assurant ainsi une croissance optimale des plantes. Dans un premier temps, une série de huit solutions mères d'un litre a été

réalisée puis à partir de ces solutions, une solution finale a été conçue pour un volume final de 300 litres.

C. Mesures

1. Mesure de la vitesse d'allongement foliaire des 3 espèces

Tous les matins, des mesures d'allongement foliaire ont été réalisées sur 5 plantes par bloc, soit l'équivalent de 10 plantes par espèce et par condition hydrique (Arrosé et Non Arrosé). Les mesures ont été effectuées à la règle (précision de l'ordre du mm), de la pointe de la feuille en croissance jusqu'à la gaine de la feuille précédente. Lorsqu'une feuille est ligulée, les mesures sont arrêtées sur la feuille concernée.

En général, la feuille en croissance devient plus longue que la feuille la précédant. Dans le cas contraire, les feuilles en croissance ont été mesurées de la pointe de la feuille à la gaine la plus haute, c'est-à-dire la gaine n-2.

Une moyenne des cinétiques des longueurs foliaires a été établie pour toutes les feuilles de chaque plante mesurée. Cette figure permet d'observer la dynamique de la longueur des feuilles en fonction des traitements appliqués aux plantes.

Le Haun Stage (HS) a également été calculé afin d'analyser les différences de développement entre espèces et conditions hydriques. Le HS est calculé grâce à la formule suivante :

$$HS = \left(\text{Nombre de feuilles ligulées} + \frac{\text{longueur de la feuille en croissance}}{\text{longueur finale de la feuille}} \right)$$

La vitesse d'allongement foliaire a été également représentée à l'échelle de la talle pour mieux déterminer s'il existe des différences notables entre les traitements. En effet, la détection de variations d'allongement foliaire dues à la sécheresse est difficile à intégrer à partir des cinétiques de feuilles individuelles car (i) celles-ci varient fortement au cours de leur ontogénie et (ii) les plantes des différents traitements et espèces ont présentées des différences de développement rendant difficile la comparaison à rang de feuilles équivalent. Ce graphique a été réalisé en cumulant l'allongement des feuilles visibles du BM.

2. Mesures du potentiel hydrique et de ses composantes

Le potentiel hydrique (Ψ_w) et osmotique (Ψ_0) sont deux composantes de l'état hydrique que nous avons régulièrement mesuré au cours de notre expérimentation. Les mesures de potentiels

hydriques et osmotiques ont été réalisées à des périodes de temps bien précises au cours de l'expérimentation sur les trois espèces. En effet, une première mesure a été effectuée au jour 0, c'est-à-dire avant l'effet de la sécheresse. Puis la seconde mesure a été réalisée lorsque la vitesse d'allongement des feuilles des plantes Non Arrosées a diminué d'environ 40 % par rapport aux plantes Arrosées (52, 38, 33 % pour blé, fétuque et ray-grass, respectivement). Puis la dernière mesure a été faite lorsque l'allongement des feuilles des plantes Non Arrosées étaient fortement réduit (4.5, 18, 6 % des allongements mesurés sur plante Arrosées pour blé, fétuque et ray-grass, respectivement). Compte tenu de leur vitesse de développement respective, les mesures n'ont pas été réalisées le même jour pour chaque espèce.

Pour chaque mesure, cinq plantes par traitement ont été prélevées soit l'équivalent de 10 plantes par mesure et espèce.

Une fois les mesures du potentiel hydrique et osmotique réalisées, les talles, les brins maîtres (BM), les racines et les pots ont été pesés et passés à l'étuve.

2.1. Mesures du potentiel hydrique

Le potentiel hydrique est représenté par la force qu'il faudrait appliquer pour déplacer l'eau d'un tissu et il s'exprime en unité de pression (MPa).

Les mesures du potentiel hydrique sont invasives car les plantes ont été coupées à la base puis les feuilles et les talles ont été enlevées jusqu'à dégager la zone de croissance du brin maître. Une fois la zone de croissance accessible, les 5 premiers mm ont été prélevés puis déposés dans une chambre psychrométrique.

Ici, le potentiel hydrique est mesuré grâce à la technique hygrométrique. Cette méthode consiste à enfermer hermétiquement la zone de croissance dans une chambre psychrométrique puis à mesurer l'humidité relative de l'air de la chambre en équilibre avec le tissu végétal. Celle-ci se déduit de la mesure successive de deux températures : 1) celle de l'air dans la chambre (T_a), et 2) la température du point de rosée, qui est celle, à pression constante, où il y a équilibre entre condensation et évaporation de l'eau. Pour ce faire, la chambre psychrométrique possède deux thermocouples reliés, un sec et un humide. Le thermocouple humide est refroidi, ce qui crée une différence de température entre l'air présent dans la chambre psychrométrique et le thermocouple. Cette différence de température induit le phénomène de condensation qui crée une goutte à la surface du thermocouple humide, puis le refroidissement est arrêté. La goutte

une fois formée, perd de l'énergie par évaporation, c'est le point de rosée. Pendant cette période, la température du thermocouple humide est stable tant que la goutte d'eau n'est pas complètement évaporée. La différence de température entre le thermocouple humide et le thermocouple sec est ensuite mesurée (par différence de tension électrique) et est convertie en humidité relative de l'air. Une fois l'humidité relative de l'air connue, le potentiel hydrique de la zone de croissance présente dans la chambre est déterminé par la formule suivante :

$$\Psi_w = \left(\frac{RT}{V_w}\right) e / e_0$$

Avec :

Ψ_w : Potentiel hydrique

R : Constante universelle du gaz (8.3143 J mol⁻¹ K⁻¹)

e/e₀ : Humidité relative exprimée en fraction

T : Température absolue (K)

V_w : Volume molaire d'eau

2.2. Mesures du potentiel osmotique :

Le potentiel osmotique se traduit comme étant la force maximale qu'il faudrait exercer pour éviter le passage d'un solvant moins concentré vers une solution plus concentrée de part et d'autre d'une membrane semi-perméable.

Après avoir coupé les 5 premiers mm de la zone de croissance des feuilles pour les mesures du potentiel hydrique, les 15 mm suivants ont été prélevés puis mis dans de l'azote liquide. L'azote liquide est un composé à manipuler avec des gants, sous hotte et avec des lunettes de protection.

Les prélèvements sont ensuite stockés au congélateur afin de lyser les membranes des cellules.

Les mesures des échantillons stockés au congélateur seront réalisées ultérieurement grâce à un osmomètre et ne seront pas présentées dans ce rapport.

3. Mesures de la zone de croissance des feuilles

Pour mesurer la dimension et l'allongement de la zone de croissance des feuilles, nous avons utilisé la technique des trous. Cette technique est destructive et elle consiste à percer un nombre de trous bien précis à intervalle régulier à partir de la base de la gaine du BM à l'aide d'une aiguille fine. Les trous ont donc percé les gaines des feuilles matures ainsi que la zone de

croissance de la feuille en cours de croissance. Dans notre cas, 10 trous ont été percés le soir avec 4 mm d'écartement soit l'équivalent de 4 cm le long de la zone de croissance. L'écartement de ces trous est mesuré le lendemain (environ 12h plus tard) à l'aide d'une loupe graduée sur la feuille la plus jeune.

Pour mesurer l'allongement entre chaque trou, les écartements des trous dans les gaines matures ont été mesurés pour établir l'espacement réel que nous avons effectué la veille durant la percée.

Une fois ces mesures réalisées, les zones de croissance ont été dégagées et la distance entre les trous a été mesurée au niveau de la feuille en croissance. En conditions optimales, la vitesse de déplacement entre les trous (et des trous eux-mêmes) est généralement maximale au milieu de la zone de croissance.

Pour représenter la distribution spatiale de l'allongement, des taux de croissance élémentaire relatifs (REGR) ont été calculé en fonction de leur position par rapport à la base des feuilles grâce à la formule suivante :

$$\text{REGR}_i = a_i\% / l_i$$

Avec $a_i\% = a_i / \sum_{i=1}^{10} a_i$ et l_i : la longueur initiale du segment i (mm)

D. Effet de la température et notion de jours efficaces

Menant notre expérimentation en serre donc en conditions semi-contrôlées, de fortes variations de température sont présentes. Sachant que la température joue un rôle important dans la croissance foliaire, nous avons choisi d'intégrer la température dans nos graphiques en exprimant le temps en « jours efficaces ». Cette unité de temps rend compte de l'effet non-linéaire de la température sur la croissance foliaire. La courbe de réponse à la température (courbe en cloche) a été extraite depuis la littérature (Zaka et al, 2016). Ainsi, une température moyenne journalière de 25°C (température optimale) conduira à 1 jour efficace alors qu'une température journalière inférieure ou supérieure conduira à moins d'un jour efficace. Les températures inférieures à -2°C ou supérieures à 38°C conduisent à 0 jour efficace. L'utilisation des jours efficaces permet d'obtenir des résultats plus explicatifs et représentatifs des conditions de croissance des plantes.

III. RÉSULTATS

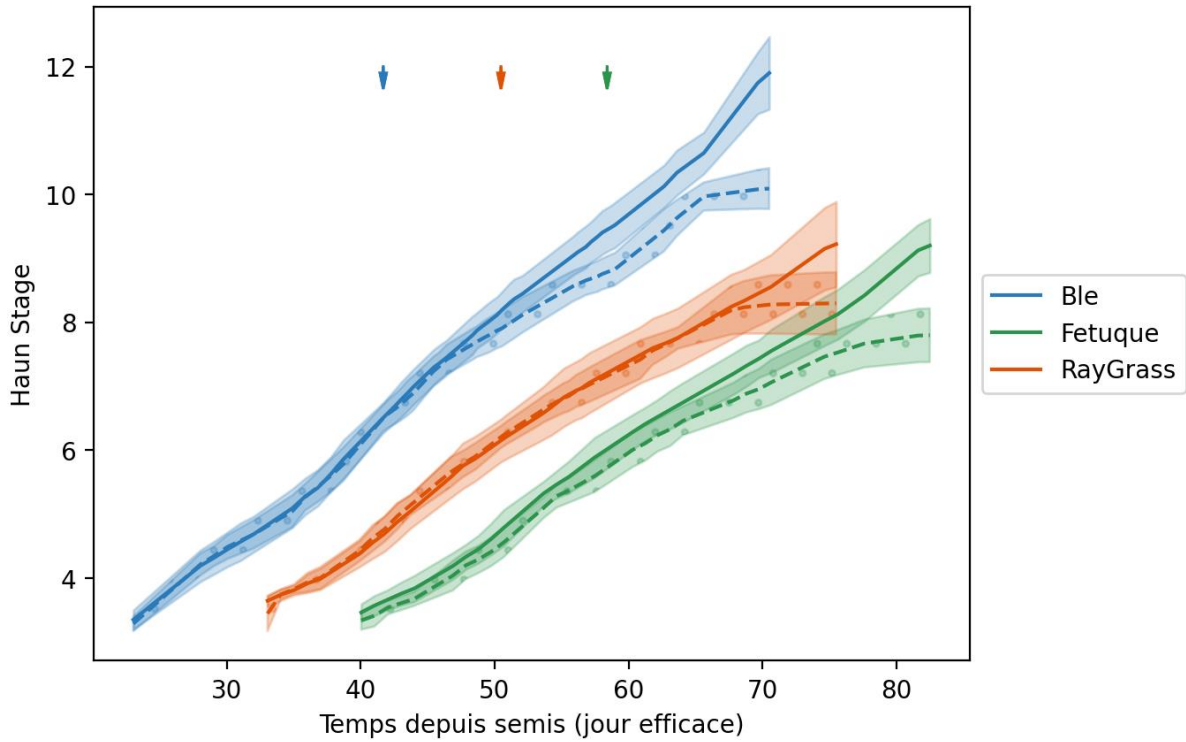


Figure 5 : Représentation graphique du Haun stage en jour efficace pour les 3 espèces de poacées étudiées. La mise en place de la sécheresse est représentées flèches.

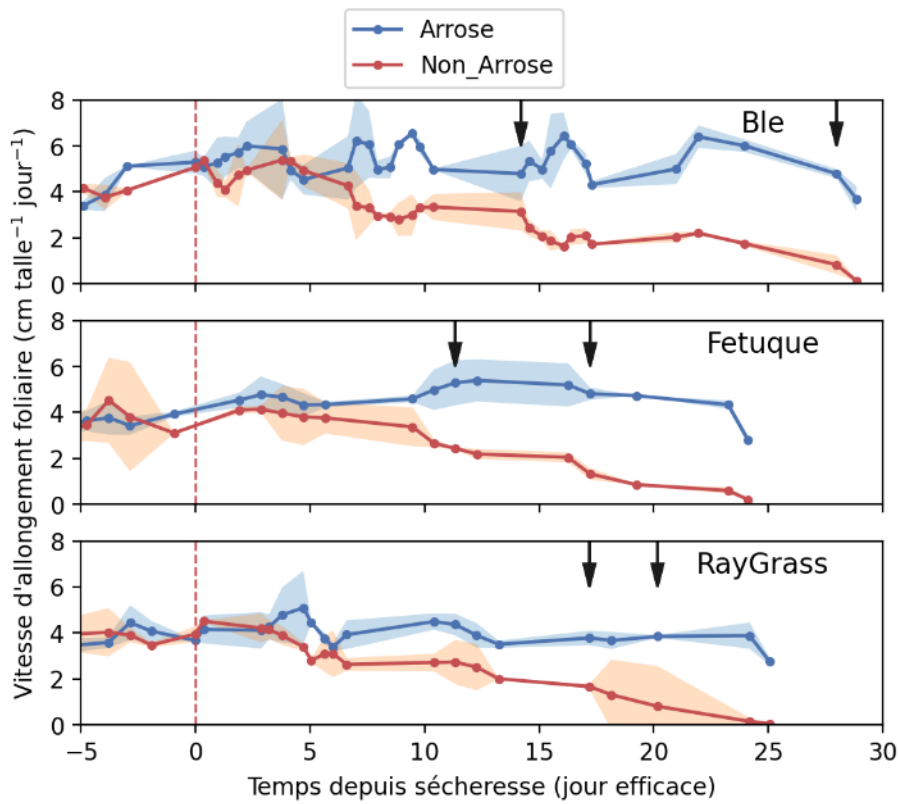


Figure 6 : Vitesse d'allongement foliaire en $\text{cm talle}^{-1}\text{jour}^{-1}$ par jour efficace chez trois espèces. Les premières mesures ont été effectuées au jour 0 et les mesures suivantes sont représentée par les flèches noirs.

A. Haun Stage

La figure 5 représente le HS, c'est-à-dire la vitesse de développement des feuilles. A partir du semis, le temps nécessaire à l'obtention du stade 3,5 feuilles diffère en fonction des espèces. Le blé requiert 23 jours efficaces contre 33 jours efficaces pour le ray-grass et 40 pour la fétuque. Dans l'ensemble, la vitesse de développement foliaire est plus rapide chez les blés que pour le ray-grass et la fétuque. La vitesse de développement des feuilles est similaire entre le ray-grass et la fétuque malgré le décalage initial qui semble donc dû à une différence de temps de germination/levée.

En condition Arrosée, le HS pour les trois espèces est plutôt constant même si une accélération est visible chez les blés à partir de 40 jours environ. Cette accélération peut provenir de l'apport en solution nutritive fait au jour 9. Les changements liés à l'apport de solution nutritive ne peuvent pas être immédiats puisque les jeunes feuilles en croissance profitant de cet apport nutritif ne sont pas encore visibles.

Après l'induction de la sécheresse, un décrochage grandissant du HS est observé après quelques jours entre les traitements (Arrosés et Non Arrosés) chez les trois espèces. Chez les blés, le décrochage est visible après 5 jours efficaces tandis que chez les ray-grass anglais, un décrochage est visible une vingtaine de jours efficace après la mise en place de la sécheresse, l'effet de la sécheresse est plus lent mais plus important comparée au blé. Chez la fétuque élevée, un décrochage est observable entre les traitements depuis le début des mesures. En regardant les mesures de plus près, entre les deux tablards, il apparaît une vitesse de développement foliaire plus lente sur l'ensemble du tablard 2 (condition Non Arrosée) comparé au tablard 1 (condition Arrosée). Ayant une différence de vitesse de développement dès la première mesure entre les deux traitements et ne visualisant aucune différence de vitesse de développement pour les autres espèces présente sur le tablard 2, nous pouvons affirmer que cette variation n'est pas due aux conditions environnementales de la serre. Néanmoins, l'effet de la sécheresse entre les 2 traitements peut s'observer à partir du jour efficace 65. En condition Non Arrosée, la vitesse de développement se stabilise pour toutes les espèces.

B. Vitesse d'allongement des feuilles

La figure 6 représente la vitesse d'allongement d'une talle par jour efficace. Ce graphique permet de comparer la vitesse d'allongement en fonction des traitements Arrosés et Non

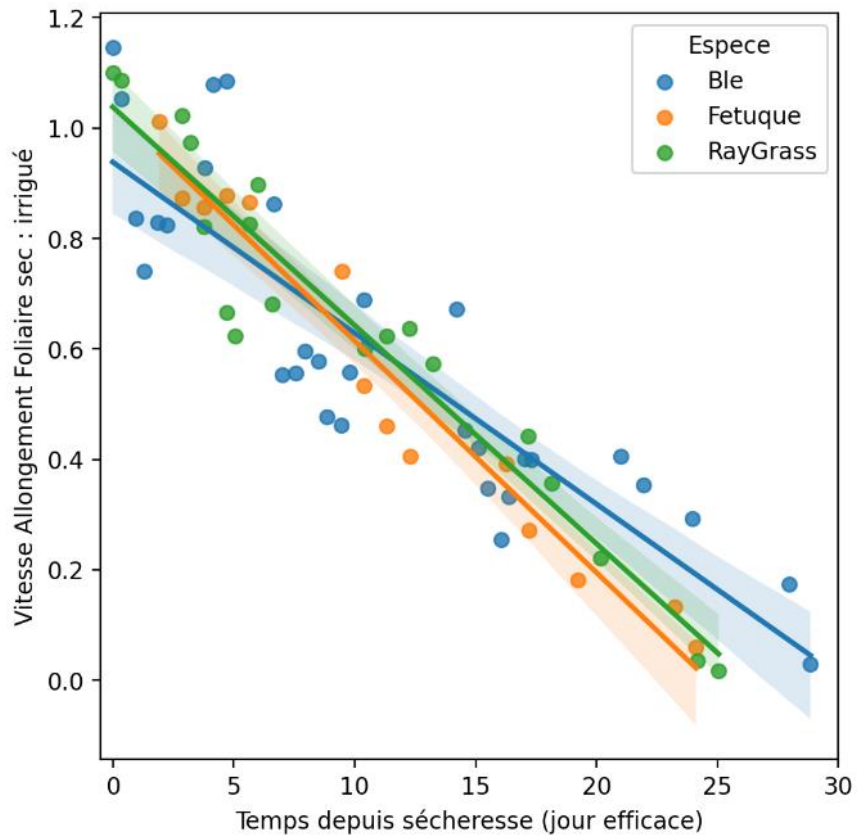


Figure 7 : Rapport de la vitesse d'allongement foliaire sec sur irrigué en fonction du temps.

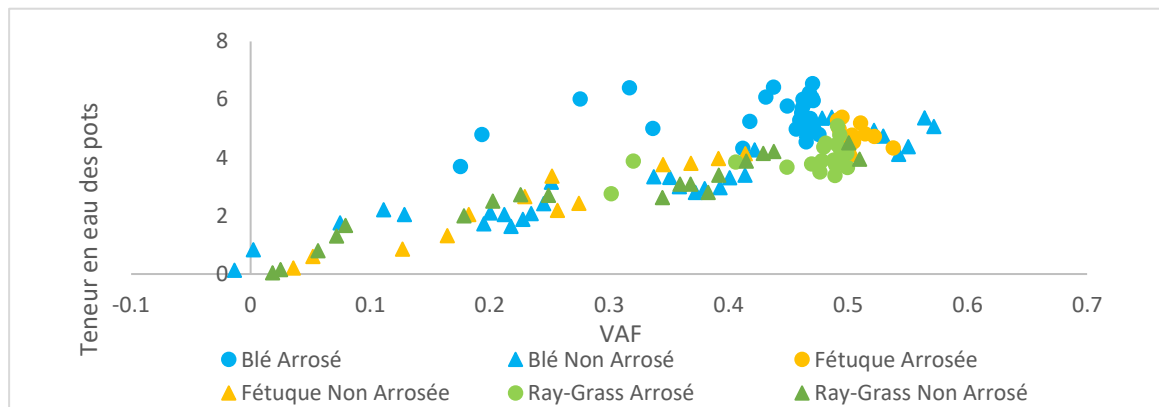


Figure 8 : Représentation graphique de la vitesse d'allongement foliaire des plantes en fonction de la teneur en eau des pots chez trois espèces de poacées en condition Arrosée et non Arrosée.

Arrosés. Le J0 correspond ici au jour de la mise en place de la sécheresse représenté par une droite en pointillé rouge.

En condition Arrosée, la vitesse d'allongement semble plutôt stable malgré quelques oscillations chez les blés : environ 6 cm par jour chez les blés, 5 cm par jour pour les Fétuques et 4.5 cm par jour chez les ray-grass. En condition Non Arrosée, nous remarquons une décélération globale de la vitesse d'allongement des feuilles 5 à 7 jours efficaces après la mise en place de la sécheresse. Ce délai peut s'expliquer par le temps nécessaire à la consommation de l'eau dans les pots de vermiculite ainsi que par la morphologie particulière des poacées. Les feuilles affectées par la sécheresse ne sont pas encore visibles puisqu'elles sont présentes dans les gaines. Il faut par conséquent attendre que les feuilles en croissance affectées par la sécheresse sortent de la gaine pour constater les effets sur la vitesse d'allongement.

En condition Arrosée, les blés possèdent une croissance foliaire légèrement plus élevée que les ray-grass anglais et les fétuques élevées. La décélération de l'allongement foliaire est assez similaire entre espèces suite à l'arrêt de l'irrigation. En fin de traitement Non Arrosé chez le blé, il semblerait y avoir l'installation d'une nouvelle vitesse de croissance plus faible avec l'apparition d'un plateau aux alentours de 2 cm $\text{talle}^{-1} \text{ jour}^{-1}$ avant que la vitesse devienne quasi nulle.

La figure 7 montre la vitesse d'allongement des talles des plantes Non Arrosées en relatif de celle mesurée sur les plantes Arrosées. La vitesse d'allongement a diminué dans le temps de façon linéaire chez les 3 espèces. Les blés semblent être l'espèce la plus résistante à la sécheresse puisque la pente de la droite est moins prononcée que les autres.

Sur la figure 8, une corrélation entre la teneur en eau des pots et la vitesse d'allongement foliaire est mise en évidence. Plus les pots ont une teneur en eau élevée plus la vitesse d'allongement foliaire l'est aussi. Les plantes en condition Arrosée qui ont une teneur en eau élevée possèdent par conséquent une vitesse d'allongement foliaire élevée contrairement aux plantes en condition de sécheresse. Toutes les espèces étudiées montrent une relation linéaire semblable entre la teneur en eau des pots et la vitesse d'allongement des feuilles.

C. Longueurs des feuilles moyennées

La figure 9 représente la moyenne des longueurs des feuilles de chaque rang foliaire pour toutes les plantes. En bleu, est représentée la moyenne des longueurs des feuilles en condition

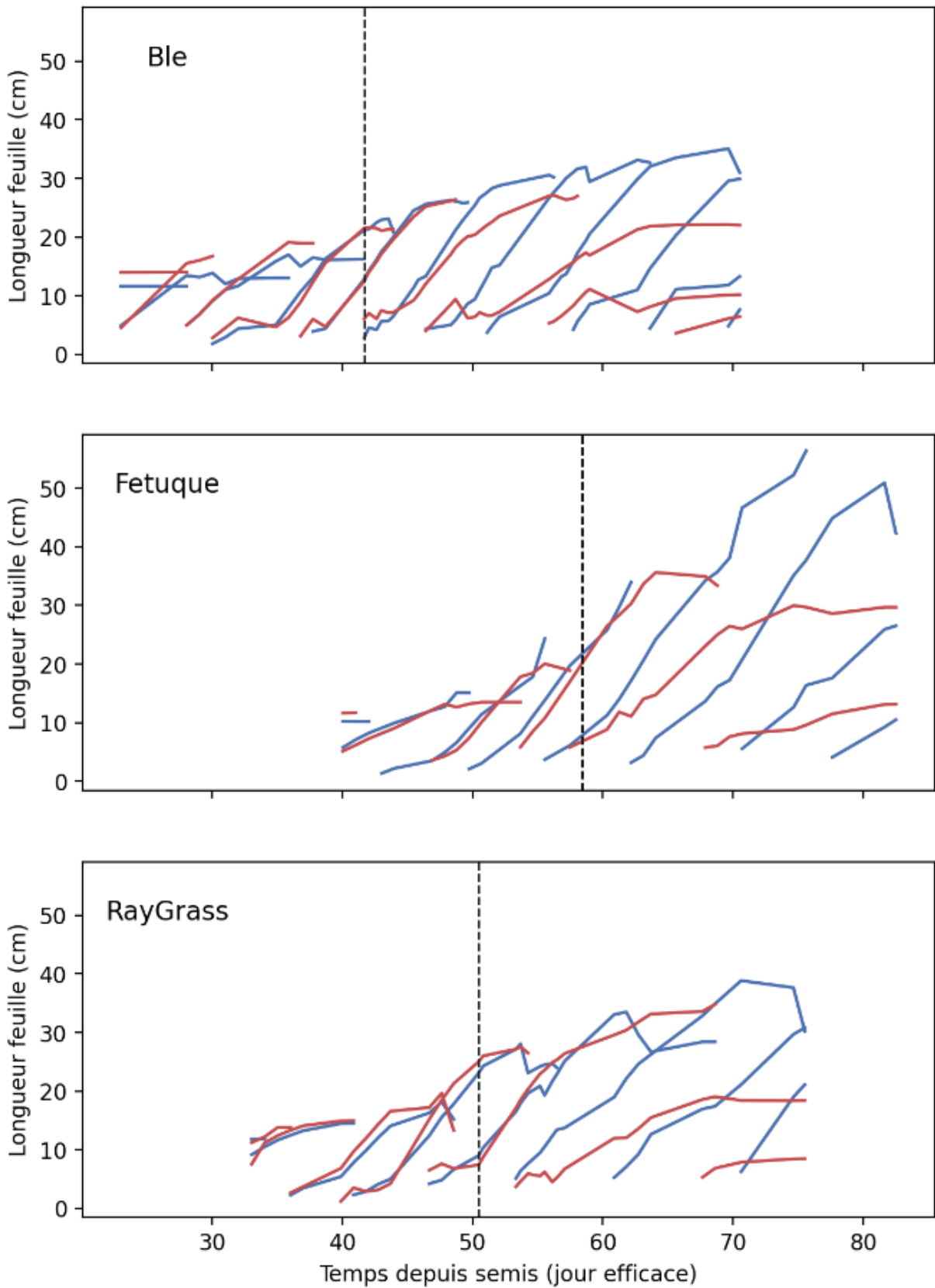


Figure 9 : Profils des croissances foliaires en jour efficace de trois espèces. La mise en place de la sécheresse est représentée par la ligne pointillée.

Arrosée tandis qu'en condition Non Arrosée, la moyenne des longueurs des feuilles est représentée par la couleur rouge.

L'espèce produisant les feuilles les plus longues s'avère être la fétuque élevée qui possède une F7 de 56,4 cm en moyenne, contre 30 cm chez le blé et le ray-grass. D'après la figure 9, nous remarquons la présence de deux feuilles en croissance simultanée quelle que soit l'espèce. Au fur et à mesure que la sécheresse s'installe, les feuilles en croissance deviennent de moins en moins grandes contrairement au traitement Arrosé et émergent de plus en plus tard.

Le traitement sécheresse induit donc un temps de croissance plus long et une longueur de feuille moindre quelle que soit l'espèce représentée.

D. Potentiel hydrique

La figure 10 représente le potentiel hydrique du blé, du ray-grass anglais et de la fétuque élevée avant, pendant et après la mise en place du traitement sécheresse.

Chez le blé, une légère différence de potentiel hydrique entre les traitements Arrosés et Non Arrosés est visible. En effet, le potentiel hydrique des zones de croissance en condition « Non Arrosée » est en deçà du potentiel hydrique des zones de croissance en condition « Arrosée ». Ce résultat est inexplicable pour la première mesure puisque à ce moment de l'expérimentation, aucun traitement n'a été appliqué et toutes les plantes étaient arrosées. Les données de la dernière mesure chez le blé ont été perdues et ne sont donc pas représentées.

Chez les fétuques, le potentiel hydrique reste assez semblable malgré l'installation de la sécheresse puisque pour les trois mesures, le potentiel hydrique se situe aux alentours de -0,45 MPa.

Ayant rencontré quelques problèmes lors de la première mesure des ray-grass anglais, les données sont peu représentatives et peu exploitables. D'après les deux autres mesures, le potentiel hydrique des ray-grass reste plutôt constant avec un ψ_w compris entre -0,53 et -0,92 MPa. Une légère variation de potentiel hydrique est visible entre les deux traitements.

Dans l'ensemble, une variation du potentiel hydrique est visible entre espèces. Le ray-grass possède un potentiel hydrique plus faible que les deux autres espèces.

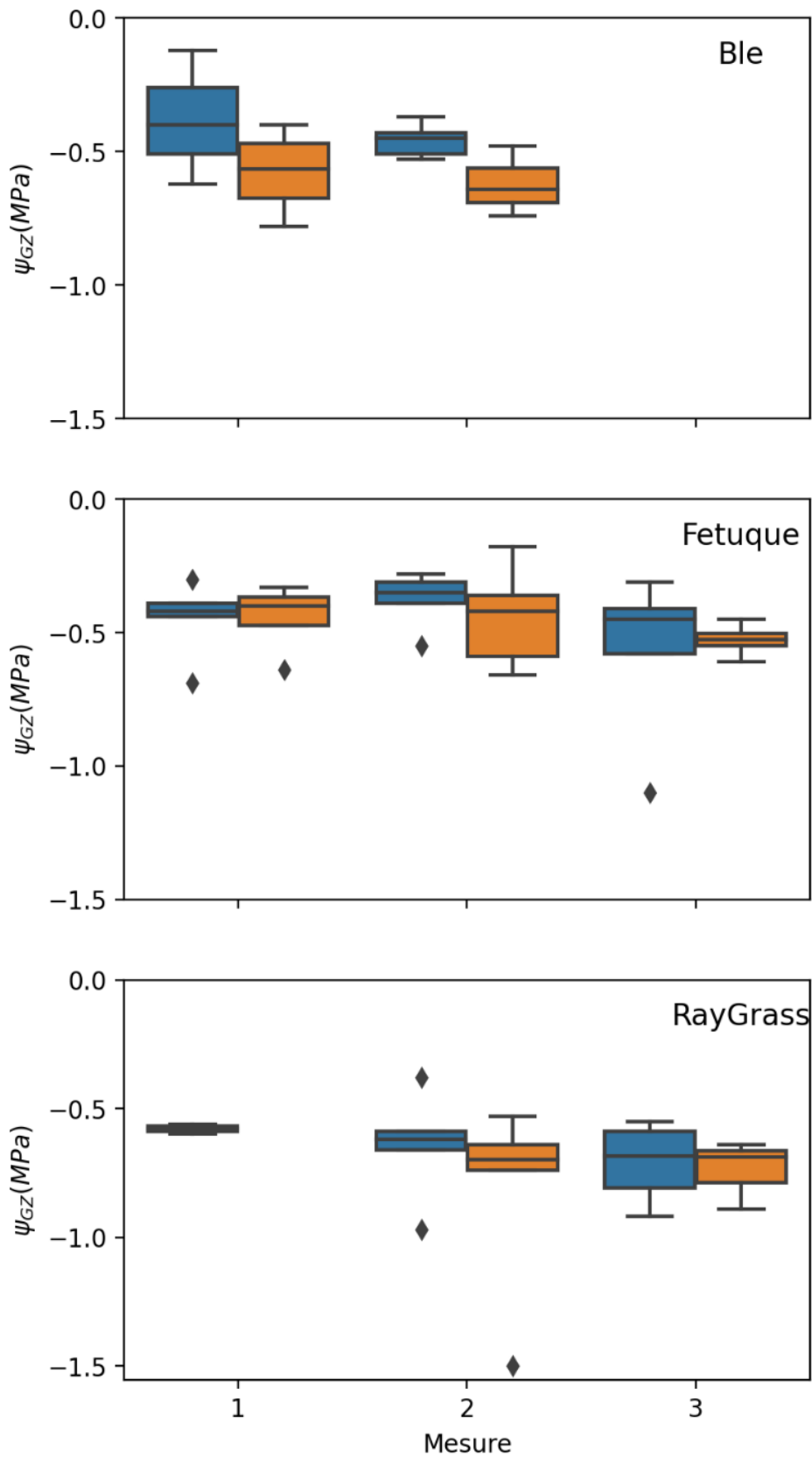


Figure 10 : Représentation graphique du potentiel hydrique (MPa) des zones de croissance chez trois espèces de Poacée. A) Première mesure effectuée avant le traitement sécheresse. B) Deuxième mesure effectuée pendant le traitement sécheresse. C) Troisième mesure effectuée après le traitement sécheresse.

E. Zone de croissance foliaire

L'analyse des données sur l'allongement des zones de croissance n'est pas terminée, nous avons cependant choisi de montrer quelques graphiques illustratifs. La figure 11.A montre les résultats pour une plante de chaque espèce en condition Arrosé. La zone de croissance foliaire est comprise dans les 4 premiers cm du BM pour les trois espèces. Les déplacements relatifs des tissus foliaires varient en fonction des espèces. En effet, le ray-grass anglais possède un REGR plus élevé que les deux autres espèces avec un REGR maximal de 0,092 contre 0,067 pour le blé et 0,059 pour la fétuque élevée. La longueur de la zone de croissance foliaire varie aussi entre espèces. Chez la fétuque, la longueur de la zone de croissance foliaire est plus grande tandis que le ray-grass anglais possède la longueur de zone de croissance foliaire la moins élevée.

La figure 11.B montre un exemple de la fétuque élevée en fonction des traitements appliqués.

En condition Arrosée, la fétuque élevée a REGR équivalent à 0,08 ainsi qu'une zone de croissance s'étalant sur 27 mm. A contrario, la fétuque élevée en condition Non Arrosée a un REGR maximal supérieur à la condition Arrosée mais sur une zone de croissance deux fois plus réduite.

IV. DISCUSSION

Dans l'ensemble, les plantes en condition Non Arrosée ont vu leur vitesse d'allongement et l'apparition de nouvelles feuilles fortement ralentit quelle que soit l'espèce. En regardant le rapport de la vitesse d'allongement foliaire sec sur irrigué, les blés semblent mieux rester à la sécheresse que les deux autres espèces, or la figure 8 n'indique aucune différence de comportement entre espèces face à une déshydratation équivalente. Cela peut s'expliquer par une surface foliaire plus réduite chez les blés que chez les ray-grass anglais et les fétuques élevées. La surface foliaire moins importante des blés limite leur évapotranspiration et leur apporte par conséquent un avantage comparé aux autres espèces.

Le potentiel hydrique des zones de croissance foliaire n'a quant à lui pas réellement évolué en condition Non Arrosée. Pour compléter nos résultats de potentiels hydriques des zones de croissance foliaire, il aurait été judicieux de faire des mesures de potentiels hydriques sur les feuilles matures. Avec un traitement sécheresse, le potentiel hydrique des feuilles matures a probablement chuté et ainsi entraîné un flux d'eau plus important vers les feuilles matures car

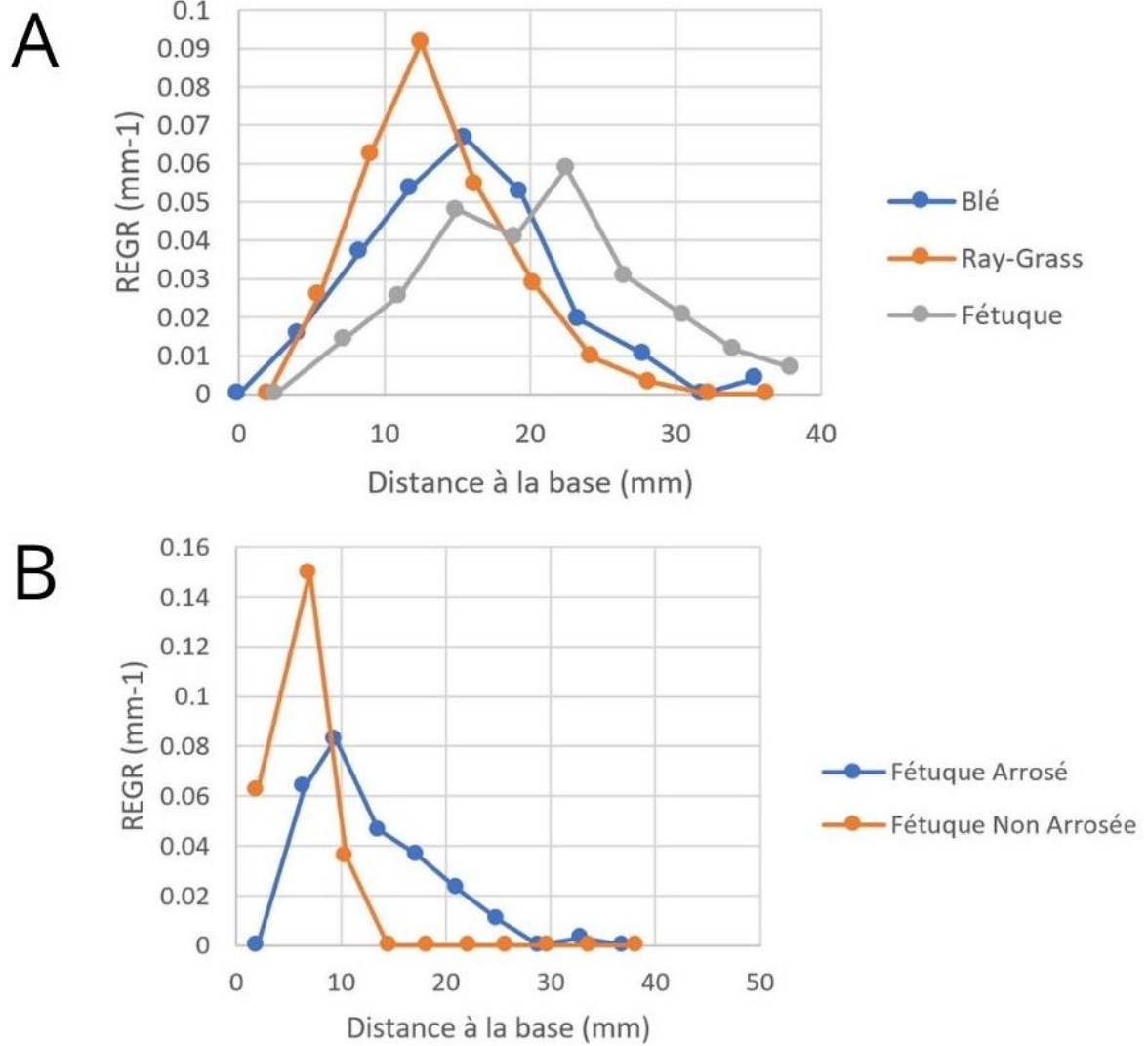


Figure 11 : Distribution spatiale des taux de croissance élémentaire relative (REGR) en fonction de la base des feuilles. A). Représentation graphique de la distribution spatiale des REGR en fonction de la base des feuilles chez les trois espèces étudiées (blé, fétuque élevée et ray-grass anglais) avant le traitement sécheresse. B) Représentation graphique de la distribution spatiale des REGR en fonction de la base des feuilles la fétuque élevée une fois le traitement sécheresse établi.

l'eau se déplace du potentiel hydrique le moins négatif vers le plus négatif. Si l'eau est réquisitionnée par les feuilles matures, la quantité d'eau destinée aux zones de croissance foliaire s'avère moindre. Nous avons cependant constaté, que les potentiels hydriques des zones de croissances foliaires étaient stables. Nous pouvons par conséquent nous demander s'il existe une régulation du potentiel hydrique dans les zones de croissance des feuilles ou si cette stabilité de potentiel hydrique est simplement dû à un faible potentiel de turgescence gardant ainsi les cellules de petites tailles conduisant à un potentiel hydrique stable.

Grâce à la méthode des trous nous avons remarqué que l'allongement cellulaire des zones de croissance est réduit en condition Non Arrosée par rapport à la condition Arrosée. Cette baisse d'allongement cellulaire provient d'un manque d'eau qui impacte négativement le potentiel de turgescence. Le potentiel de turgescence n'exerce par conséquent plus suffisamment de force sur les membranes cellulaires pour entraîner leur croissance.

Les résultats présentés sur ce graphique sont représentatifs des plantes trouées. En effet, les plantes ayant subi une agression (trous) voient leur allongement foliaire diminuer de 15% par rapport à une plante non trouée (DURAND, 1995). Pour avoir les résultats sur une plante non trouée, il faudrait donc remonter les résultats de 15%. De plus, les résultats obtenus par la méthode des trous n'ont pas tous été analysés à ce jour. Les résultats de la figure 12.A et 12.B ne sont que des exemples.

Concernant les différences morphologiques entre espèces, nous avons remarqué une précocité chez le blé par rapport à la fétuque élevée et le ray-grass anglais puisqu'il possède une vitesse de développement foliaire plus rapide. Cela se traduit donc par un nombre de rangs de feuilles plus élevé que chez les deux autres espèces. La fétuque élevée se distingue elle aussi morphologiquement du blé et du ray-grass anglais par une longueur de feuille plus importante. Le nombre de talles émises est également très supérieur chez les fétuques et ray-grass par rapport au blé.

V. CONCLUSION

La croissance foliaire joue un rôle majeur dans le bon fonctionnement des plantes or, en condition de sécheresse celle-ci est fortement réduite. En effet, nous avons vu une diminution de la vitesse de croissance foliaire ainsi que de l'apparition de nouvelles feuilles chez trois espèces de poacées : le blé, le ray-grass anglais et la fétuque élevée. Le potentiel hydrique des

zones de croissance foliaire a quant à lui peu varié pour les trois espèces en condition Non Arrosée malgré une évapotranspiration élevée en serre.

Il serait intéressant de refaire cette même expérimentation en incluant une nouvelle condition telle que le CO₂ qui sera fortement présent dans le futur dû au réchauffement climatique.

VI. BIBLIOGRAPHIE

DURAND J.L. 2007. Les effets du déficit hydrique sur la plante : aspects physiologiques.

DURAND J.L. et al. 1995. Drought effects on cellular and spatial parameters of leaf growth in tall fescue.

LAFARGE M. et DURAND J.L. 2011. Comment l'herbe pousse Développement végétatif, structures clonales et spatiales des graminées.

McCormick power technology. 2020 Toutes les données sur la production céréalière. Consulté sur : <https://www.mccormick.it/fr/toutes-les-donnees-sur-la-production-cerealieres/>

ONILLON B. 1993. Effets d'une contrainte hydrique édaphique sur la croissance de la fétuque élevée soumise à différents niveaux de nutrition azotée. Etude à l'échelle foliaire et à celle du couvert végétal.

SCHRR U. et al. 2006 Functional dynamics of plant growth and photosynthesis--from steady-state to dynamics--from homogeneity to heterogeneity

SOUBEYROUX J.M, et al. 2020. Les nouvelles projections climatiques de référence DRIAS 2020 pour la métropole. Météo France.

Vert l'avenir. Culture Blé. Consulté sur : <https://vert-lavenir.com/ble/>

YATES S. et al. 2019. Phenotyping a Dynamic Trait: Leaf Growth of Perennial Ryegrass Under Water Limiting Conditions.