

COLLOQUE SUR LES PLANTES FOURRAGÈRES

Le 20 février 2020, Sainte-Julie, Québec, Canada

Résilience et adaptation des systèmes fourragers face aux changements climatiques (Résumé de conférence)

Valentin D. Picasso Risso, Ph. D., professeur adjoint au département d'agronomie, University of Wisconsin — Madison, É.-U.

INTRODUCTION

Les changements climatiques représentent un défi majeur pour l'agriculture et la sécurité alimentaire. Les tendances climatiques historiques et les projections modélisées montrent que la fréquence d'événements extrêmes s'accroît autant au niveau mondial que local. On s'attend à une plus grande fréquence des excès et des déficits d'eau, ce qui affectera l'agriculture en général et la production fourragère en particulier (IPCC, 2013). Par contre, des températures plus chaudes signifient une saison de production plus longue, ce qui peut augmenter le potentiel de rendement des cultures fourragères et des prairies permanentes, et diminuer les besoins d'entreposage de fourrage pendant l'hiver pour les élevages bovins et laitiers. La durabilité des systèmes agricoles revêt des dimensions économiques, sociales et environnementales et peut être évaluée au travers de nombreux facteurs. On a besoin de systèmes fourragers résilients, stables et productifs pour résister à des extrêmes climatiques de plus en plus fréquents.

Dans le passé, la plupart des recherches sur les plantes fourragères ont eu pour objet de maximiser la productivité. Les concepts de stabilité et de résilience sont, pour leur part, moins bien compris et parfois confondus. La **stabilité** représente la variabilité minimale du rendement dans le temps et dans des conditions normales. La **résilience** est la capacité de résister à une crise, une perturbation ou un choc de court terme, comme une sécheresse ou un hiver froid. La résilience comprend en outre deux dimensions complémentaires : la capacité de l'espèce végétale à rester productive pendant la perturbation (c'est-à-dire, sa **résistance**), et sa capacité de se remettre d'une période critique (c'est-à-dire, sa capacité de **recupération**). Par exemple, la tolérance au froid ou la rusticité hivernale sont des traits qui procurent de la résistance à une espèce. La stabilité et la résistance sont des dimensions différentes, qui s'expliquent par des traits et des mécanismes différents (Picasso et coll., 2019).

STRATÉGIES POUR AUGMENTER LA RÉSILIENCE ET LA STABILITÉ

Choix des cultivars et des espèces

La tolérance aux températures extrêmes devient un critère de choix de plus en plus nécessaire pour obtenir le meilleur potentiel de rendement des variétés fourragères. Avec une couverture neigeuse moins permanente en hiver, et une plus grande fréquence d'alternance entre des périodes de gel et de dégel, une plus grande rusticité hivernale est maintenant nécessaire. Simultanément, les étés de plus en plus chauds amènent le besoin d'une meilleure tolérance à la chaleur. La pression des insectes et des maladies a augmenté, donc la résistance aux stress biotiques est également une priorité. La sélection génétique joue un rôle clé dans le développement de variétés fourragères plus résilientes.

Des différences de productivité, de stabilité et de résilience entre des cultivars de luzerne ont été mises en évidence lors d'une étude réalisée dans 11 États américains et une province canadienne sur une période de 19 ans (Picasso et coll., 2019). On a identifié des emplacements ayant traversé une année de crise extrême, et des mesures quantitatives de la résilience et de la stabilité ont été calculées pour chaque cultivar. La stabilité des cultivars n'était pas corrélée à la productivité, et était liée négativement à la résistance. La résilience des cultivars était associée négativement avec la productivité, et n'était corrélée

avec aucun autre trait. La productivité des cultivars a augmenté en fonction de leur année de développement, leur stabilité n'a pas changé, et leur résilience a diminué. Le choix de cultivars montrant une meilleure résilience à la sécheresse et/ou au stress hivernal apparaît être une stratégie d'adaptation pertinente.

Les espèces fourragères diffèrent dans leur tolérance aux températures sous le point de congélation et à l'anoxie (absence d'oxygène) causée par la présence de glace dans les champs (Bélanger et coll., 2006). Parmi les légumineuses, le trèfle rouge y est vulnérable, suivi de la luzerne, du lotier corniculé et du trèfle Kura. Parmi les graminées, les ray-grass sont les plus sensibles, suivis par le dactyle aggloméré, la fétuque élevée, l'alpiste roseau, le brome inerme et la fléole des prés (Balasko et Nelson, 2003).

La tolérance à la sécheresse diffère également selon les espèces : le brome inerme est très tolérant, suivi par la fétuque élevée, l'alpiste roseau, le dactyle aggloméré, la fléole des prés et les ray-grass. Chez les légumineuses, la luzerne est la plus tolérante, suivie du trèfle Kura, du trèfle rouge, du lotier corniculé et du trèfle blanc (McGraw et Nelson, 2003). Le choix d'espèces fourragères tolérantes à la sécheresse ou au stress hivernal est une autre stratégie d'adaptation importante.

Les mélanges fourragers

Des prairies composées de mélanges de 4 ou 6 espèces se sont montrées plus stables dans les environnements que la monoculture la plus productive lors d'une étude composée de 8 espèces fourragères assemblées en 50 communautés expérimentales différentes et localisées à deux sites en Iowa (É.-U.). La **constance** (c'est-à-dire la capacité à produire des rendements plus élevés dans des environnements plus favorables) et la **fiabilité** (c'est-à-dire, la capacité de produire un rendement proche de la moyenne, avec des variances minimales dans le temps) augmentent de façon linéaire avec la richesse en espèces (Picasso et coll., 2010). Des mélanges fourragers, tel un mélange luzerne-graminées, peuvent être aussi productifs que des peuplements de luzerne pure dans de bonnes conditions météorologiques, et plus stables sur plusieurs années, du fait de la complémentarité entre les différentes espèces du mélange (Picasso et al, 2011). Les mélanges luzerne-graminées ont subi moins de déchaussement par le gel que des peuplements purs dans certains sols. Au Canada, les prairies faites d'un mélange de luzerne avec de la fétuque des prés, du brome et de la fétuque élevée ont produit des rendements et des valeurs nutritives comparables au mélange luzerne-fléole des prés (Pomerleau-Lacasse, et coll., 2018). Face à des scénarios climatiques de plus en plus imprévisibles, la résilience et la stabilité de la production deviennent des objectifs de plus en plus pertinents, et les mélanges fourragers procurent une assurance dans le cas où une des espèces du mélange échouerait.

Récolte des fourrages et gestion du pâturage

Afin d'améliorer la résistance de la luzerne à la mortalité hivernale, on ne devrait pas la faucher dans les 4 à 6 semaines précédant la première gelée meurtrière (environ -3 °C), de façon à ce que les racines puissent accumuler suffisamment de réserves de glucides pour la survie hivernale, la croissance des plants à une hauteur de 20 à 25 cm afin d'assurer une rétention de la neige et la repousse au printemps (Michaud et Allard, 2005).

La façon de gérer la récolte et le pâturage affecte la résilience des systèmes pâturés face aux sécheresses, autant à l'échelle du champ que de la ferme. Les résultats d'un essai de gestion du pâturage, dans lequel la quantité d'herbe attribuée par animal était contrôlée, ont montré que la résistance à la sécheresse (représentée par le volume d'herbe accumulée et le poids vif des animaux) était plus élevée dans les enclos où l'allocation d'herbe en période présécheresse était plus forte comparés aux enclos où l'allocation d'herbe était faible (Modernel et al., 2019).

La récolte de foin sous conditions printanières humides est plus difficile; c'est pourquoi le pâturage, qui offre une plus grande fenêtre d'opportunités pour l'utilisation des plantes fourragères, est une pratique appelée à s'étendre dans les systèmes d'élevage.

Rotations diversifiées et prairies vivaces

La stabilité des rendements augmente significativement quand le maïs et le soya sont intégrés dans des rotations plus diversifiées incluant des céréales à paille, du trèfle rouge, de la luzerne, tel que constaté dans des essais de rotation des cultures réalisés en Ontario sur une période de 31 ans (Gaudin et coll., 2015). Les stratégies de diversification des cultures augmentaient en effet la probabilité de profiter de conditions de croissances favorables tout en diminuant les risques de mauvaises récoltes. Les résultats des essais de systèmes de cultures intégrés, réalisés au Wisconsin (le *Wisconsin Integrated Cropping Systems Trial*), démontrent que la stabilité augmente avec le nombre d'années de cultures pérennes (luzerne) dans la rotation et que la résilience à la sécheresse augmente dans les rotations plus complexes (plus diversifiées) qui incluent de la luzerne, de l'avoine et du blé d'automne (Sanford et coll., à paraître).

L'augmentation des précipitations au printemps entraîne la saturation des sols et diminue ainsi la probabilité de pouvoir semer le maïs-grain ou le maïs ensilage au bon moment. Diminuer la surface de champs à semer au printemps devient une priorité; des rotations avec de plus longues périodes en prairie s'avèrent alors une option intéressante. En effet, une rotation qui prévoit plus d'années en prairies vivaces réduit les surfaces devant être semées chaque printemps, et de ce fait augmente la surface récoltable en fourrages sur l'ensemble de la ferme.

Prairies vivaces et cultures à double usage

Une augmentation des stress thermiques en été signifie un besoin accru en réserves hydriques dans le sol. Les prairies vivaces et les pâturages, en améliorant la quantité de matière organique et la structure du sol, augmentent l'infiltration de l'eau et ce qui en retour leur permet d'augmenter leur capacité à survivre aux épisodes de sécheresse estivale. Dans un contexte changement climatique, les prairies vivaces et les pâturages deviennent une source d'alimentation animale plus fiable.

Les prairies vivaces et les pâturages constituent la solution à long terme contre l'érosion du sol et le lessivage des nutriments : ils assurent une couverture végétale continue toute l'année et leurs racines captent l'azote et le phosphore tant qu'il y a assez d'eau dans le sol. Face aux prévisions d'épisodes de pluie et d'orage de plus en plus intenses, le besoin d'étendre les surfaces en prairies permanentes et en pâturage devient criant — une mesure que les organismes de conservation et les gouvernements requièrent de plus en plus. De nouvelles variétés de graminées fourragères, comme l'agropyre intermédiaire Kernza, présentent des avantages supplémentaires pour les producteurs qui cherchent à étendre leur usage de cultures vivaces tout en continuant à récolter des grains pour la consommation humaine.

CONCLUSION

Les changements climatiques actuels et les tendances futures offrent l'opportunité d'augmenter les surfaces en prairies vivaces et en pâturages en Amérique du Nord. La production de fourrage pourra être améliorée si les chercheurs et les producteurs concentrent ensemble leurs efforts sur l'amélioration de la tolérance des cultivars au froid, à la chaleur et aux stress dus aux maladies. De plus grandes surfaces en prairies vivaces et en pâturages sur les fermes augmenteront leur résilience et la stabilité de leur production, tout en réduisant les impacts des événements climatiques extrêmes.

RESILIENCE AND ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE IN FORAGE SYSTEMS

Valentin D. Picasso, Ph.D., Assistant professor in Agronomy, University of Wisconsin – Madison, USA

INTRODUCTION

Climate change is a major challenge for agriculture and food security. Historical climate trends and future model projections show that climate variability is increasing at global and local scales. More frequent water excesses and deficits are expected, which will affect agriculture in general and forage production in particular (IPCC, 2013). On the other hand, warmer weather means extended growing season, which can increase potential forage and pasture yields, and decrease the need for forage storage during winter for dairy and beef farmers. Sustainability of agricultural systems involves economic, social, and environmental dimensions and can be evaluated by various attributes. Resilient, stable, and productive forage systems are needed to endure increasingly frequent climatic extremes.

Most research on forages has historically focused on maximizing productivity. Stability and resilience are concepts less understood and sometimes confused. Stability is the minimal variability of yields over time under normal conditions. Resilience is the ability to withstand a short-term crisis, perturbation, or shock, like a drought or cold winter. Resilience comprises two complementary dimensions: the ability to remain productive during the perturbation (i.e., resistance), and the ability to recover from a crisis (i.e., recovery). Cold tolerance or winter hardiness are plant traits that promote resistance. Stability and resilience are different dimensions, explained by different traits and mechanisms (Picasso et al., 2019).

STRATEGIES TO INCREASE RESILIENCE AND STABILITY

Choice of cultivars and species

Tolerance to extreme temperatures is becoming more of a need when choosing forage varieties to realize the higher yield potential. With less consistent snow cover in winter, and more periods of alternating freezing and thawing, greater winter hardiness has become necessary. At the same time, with warmer summers, greater heat tolerance is also needed. Insect and disease pressures have also increased, so resistance to biotic stresses is a priority. Forage breeding plays a key role in all developing more resilient varieties.

Productivity, stability, and resilience differ among cultivars of alfalfa, across 11 US states and one Canadian province (Ontario) over 19 years (Picasso et al., 2019). Locations with an extreme crisis year were identified, and quantitative measures for resilience and stability for each cultivar were calculated. Cultivar stability was not associated with productivity, and it was negatively associated with disease resistance. Cultivar resilience was negatively associated with productivity, and not associated with other traits. Cultivar productivity has increased with year

of release of cultivar, stability has not changed, and resilience has decreased. Choosing cultivars with greater resilience to drought and/or winter stress is a relevant strategy for adaptation.

Forage species differ in their tolerance to subfreezing temperatures and anoxia caused by the presence of ice on fields (Bélanger et al., 2006). Among the legumes red clover is susceptible, followed by alfalfa, Birdsfoot trefoil, and Kura clover. Among the grasses, ryegrasses are the most susceptible, followed by orchardgrass, tall fescue, reed canarygrass, smooth brome grass, and timothy (Balasko and Nelson, 2003). Drought tolerance also differs among species, being smooth brome grass very tolerant, followed by tall fescue, reed canarygrass, orchardgrass, timothy, and ryegrasses. Among the legumes, alfalfa is most tolerant, followed by Kura clover, red clover, Birdsfoot trefoil, and white clover (McGraw and Nelson, 2003). Choosing forage species more tolerant to drought or winter stress is another important strategy for adaptation.

Forage mixtures

Perennial forage communities with four and six species were more stable across environments than the highest yielding monoculture, across eight perennial forage species assembled in fifty different experimental communities at two locations in Iowa, USA. Consistency (i.e., the ability to achieve higher yields in better environments) and reliability (i.e., the ability to yield close to the expected mean, with minimal deviations over time) increased linearly with species richness (Picasso et al., 2010). Forage mixtures like alfalfa-grass mixtures can be as productive as a pure stand of alfalfa in good weather conditions, and are more stable over the years, because of complementarity between different species in the mixture (Picasso et al., 2011). Alfalfa-grass mixtures had shown lower heaving than pure stands in some soils. In Canada, mixtures of alfalfa with meadow fescue, brome grass, and tall fescue produced comparable yields and nutritive value to alfalfa-timothy (Pomerleau-Lacasse, et al., 2018). In scenarios of increasing variable climate, resilience and stability of production are becoming more relevant goals, and forage mixtures provide an insurance if any single species in the mixture would fail.

Harvest and grazing management

To increase the resilience of alfalfa to winterkill it should not be harvested in the 4-6 weeks preceding the first killing frost (about -3°C) in order for roots to accumulate carbohydrate reserves for winter survival and spring regrowth, and for plants to grow back to a height 20-25 cm in the following season to retain snow (Michaud and Allard, 2005).

Harvesting and grazing management affect the resilience of grazing systems to droughts at the paddock and farm scales. Results of a grazing experiment controlling herbage allowance showed that resistance of herbage accumulation and animal live weight to drought was higher for paddocks with higher pre-drought herbage allowance than for those managed to low herbage allowance (Modernel et al., 2019). Forage harvest under wet conditions in spring is more challenging, and grazing provides expanded opportunities for forage utilization, therefore, grazing is likely to grow in livestock systems.

Crop rotation diversity and perennialism

Yield stability significantly increased when corn and soybean were integrated into more diverse rotations with small grains, red clover, alfalfa, in a 31-year long term rotation trial in Ontario, Canada (Gaudin et al., 2015). Crop diversification strategies increased the probability of harnessing favorable growing conditions while decreasing the risk of crop failure. Results from the Wisconsin Integrated Cropping Systems Trial, show that stability increased with more years of perennials (alfalfa) in the crop rotation, while resilience to drought increased in more complex (diverse) crop rotations including alfalfa, oats, and winter wheat (Sanford et al., in prep.).

Increased rainfall causes waterlogging of soils, and lowers the chances of planting corn for grain or silage on time in spring. Minimizing the farm area to plant each year becomes a higher priority, so longer forage rotations may be preferred. More years of perennial forages in the rotation reduces the area to plant every spring, and therefore it increases the harvestable forage area on the entire farm.

Perennial forages and dual-use crops

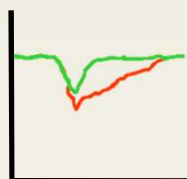
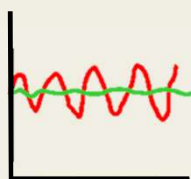
Increased summer heat stress requires more water storage in the soil. Perennial forages and pastures also increase soil organic matter and structure, which in turn increases water infiltration, and improves the ability to withstand summer droughts. With increasing climate variability, perennial forages and pastures provide a more reliable source of feed. Perennial forages and pastures are the long-term solution to soil erosion and nutrient leaching, because they provide continuous cover year round, and their roots absorb nitrogen and phosphorous as long as there is water in the soil. With increasing intensity of rains and storms, expanding the area in pastures and perennial forages is a much greater need, and is increasingly required by conservation and regulatory agencies. Recently developed perennial grain and forage crops like Kernza intermediate wheatgrass provide additional benefits to farmers looking to expand their perennial cover and still harvest grain for human use.

CONCLUSION

Present climate variability and future climate trends provide significant opportunities to increase perennial forages and pasture area and production in North America. Higher forage production would be realized if both researchers and farmers focus on increasing tolerance to cold, heat, and disease stresses. More farm area in perennial forages and pasture can enhance farmers' resilience and stability of production, as well as reduce the environmental impacts of extreme climatic events.

Resilience and adaptation of forage systems to climate change

Résilience et adaptation des systèmes fourragers aux changements climatiques



Valentin D. Picasso

professeur adjoint au département
d'agronomie
University of Wisconsin – Madison

COLLOQUE SUR LES
PLANTES FOURRAGÈRES
20-02-2020, Saint-Julie,
Québec, Canada



Prairies naturelles en Uruguay





Plan de la présentation

- Durabilité, résilience et stabilité
- Stratégies d'adaptation :
 - Cultivars résilients
 - Espèces résilientes
 - Mélanges fourragers
 - Gestion de la récolte et du pâturage
 - Rotations de cultures incluant des fourrages
 - Espèces fourragères pérennes et cultures céréalières à deux fins
- Les changements climatiques : opportunités pour les cultures fourragères

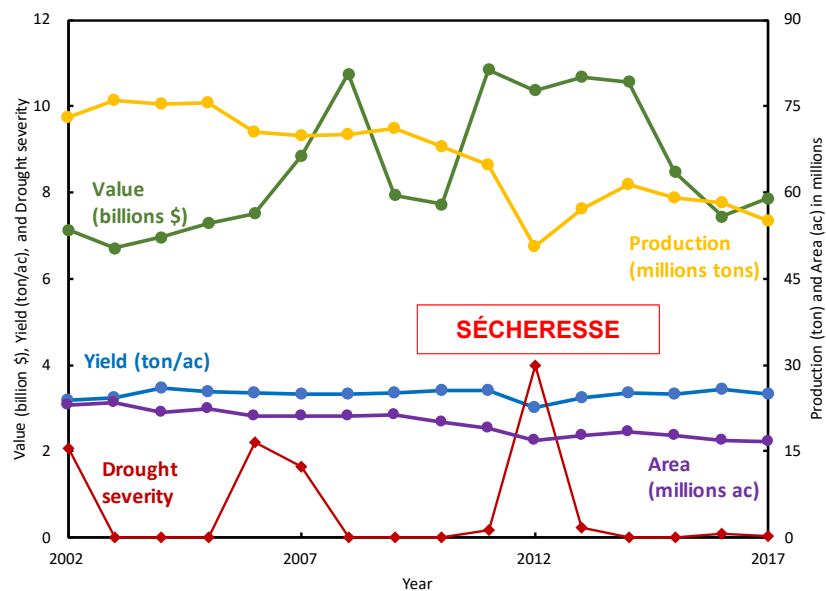
UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON



Caractéristiques de l'agriculture durable

- Productivité : rendements élevés
- Profitabilité : revenus élevés
- Efficience : peu d'intrants
- Stabilité : variabilité faible
- Résilience : résiste aux périodes de crise
- Flexibilité : adaptable
- Services environnementaux (sol, eau, gaz à effets de serre, biodiversité) : protection et amélioration de l'environnement pour les générations futures
- Équité : acceptabilité sociale

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON



Picasso et al. Data from NASS 2018, and NOAA 2018.

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON



**UNITÉ
INDIVISIBILITÉ
DE LA
DURABILITÉ :
PRODUCTIVITÉ
STABILITÉ
RÉSILIANCE
(OU LA
MORT)**

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON



Productivité, stabilité et résilience

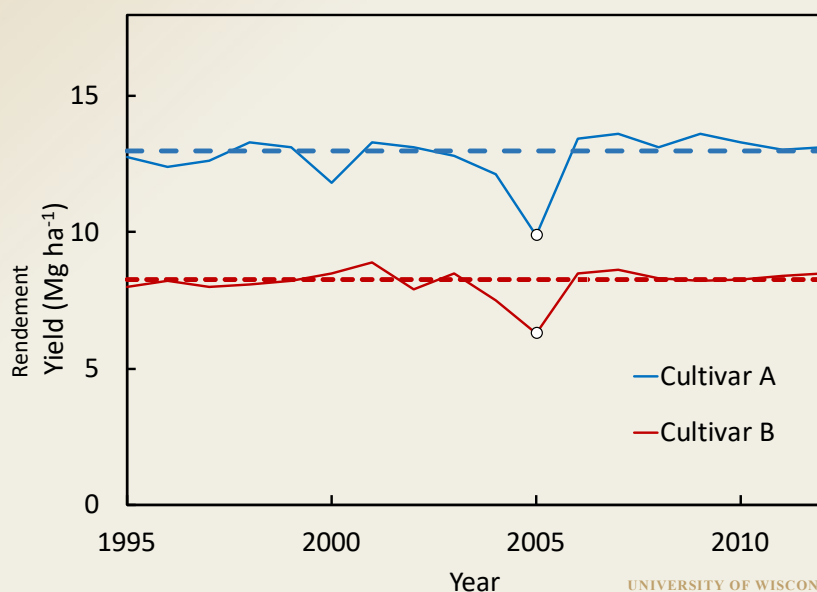
- La productivité est égale au rendement moyen sur une période de temps donnée.
- La stabilité est la variabilité minimale du rendement dans le temps, en conditions normales.
- La résilience est la capacité à supporter une crise, une perturbation ou un choc de court terme, comme une sécheresse.

Elle comporte deux dimensions :

- **Résistance** : capacité de l'espèce végétale à rester productive pendant la perturbation
- **Capacité de récupération** : capacité de se remettre d'une période critique (et vitesse de cette récupération).

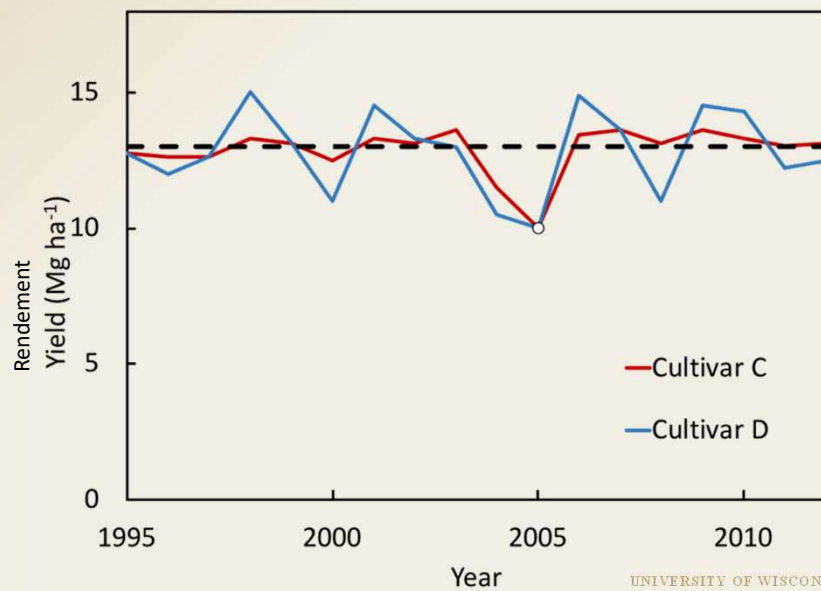
UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Productivité



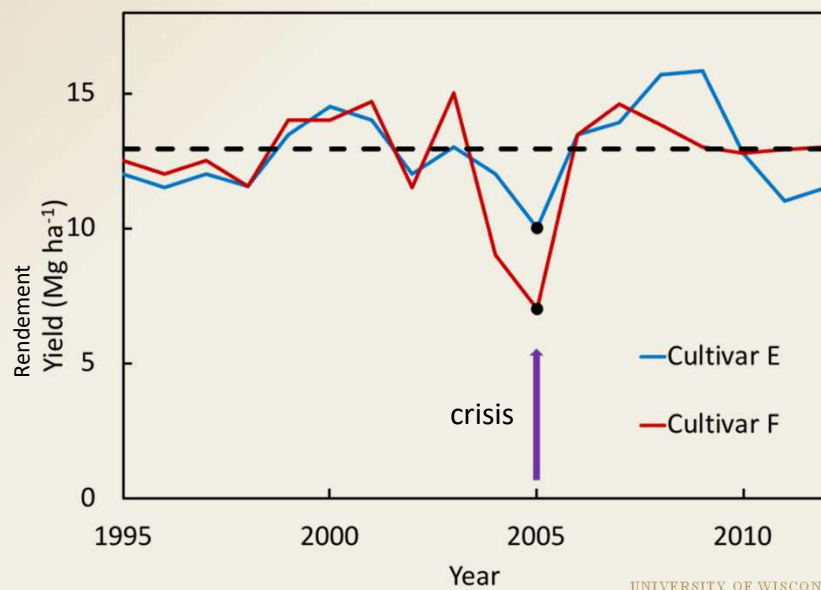
UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Stabilité



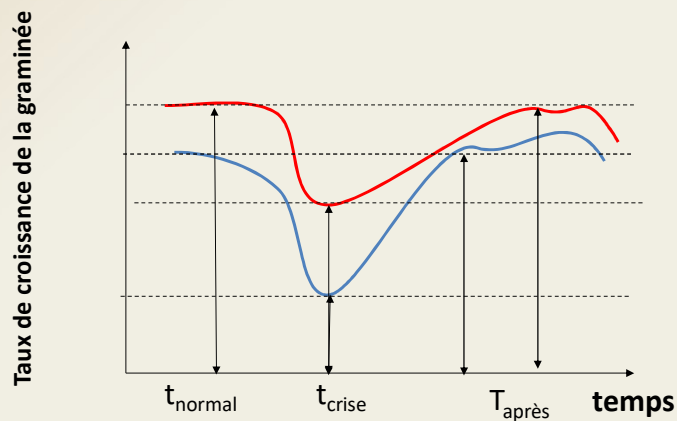
UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Résilience



UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

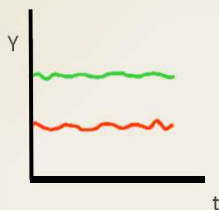
Résistance et capacité de récupération



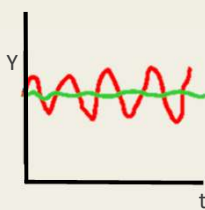
UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Résumé des définitions

Productivité
= rendement
moyen



Stabilité
= moyenne / erreur-
type



Résilience
= minimum / moyenne



UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Stratégies pour augmenter la résilience et la stabilité en production fourragère



- Cultivars résilients
- Espèces résilientes
- Mélanges fourragers
- Gestion de la récolte et du pâturage
- Rotations de cultures incluant des fourrages
- Espèces fourragères pérennes et cultures céréalières à deux fins

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Existe-t-il des cultivars de luzerne plus résilients que d'autres?



- 679 cultivars de luzerne dans 1060 essais publics, de 1995 à 2013, sur 86 sites répartis dans 11 États américains (IA, IL, IN, KS, MI, MN, NE, NY, OH, PA, WI) et en Ontario (Canada).
- 25 sites ayant subi des années de crise évaluées sur plus de 11 années consécutives.
- 84 cultivars évalués à plus de 3 sites.



UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Année de crise

- Année au cours de laquelle les rendements ont été significativement plus bas pour la plupart des cultivars de l'ensemble d'un essai.
- Les données météorologiques ont été analysées pour identifier la cause de la crise (indice de sévérité de sécheresse de Palmer)
- 80 % des sites ont subi des années de crise sous forme de sécheresse.



UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Y a-t-il des différences entre les cultivars?

Cultivar	L	Productivity		Stability		Resilience	
		P<0.01		P<0.01		P<0.01	
		Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE
631	4	14.2	0.7	40	5	<u>0.64</u>	0.04
5312	13	14.1	0.7	72	3	0.62	0.03
6415	8	<u>15.7</u>	0.7	46	4	0.57	0.03
ABUNDANCE	5	14.5	0.7	37	5	<u>0.62</u>	0.03
DK127	4	13.9	0.8	41	5	<u>0.64</u>	0.04
GENOA	5	15.3	0.7	39	5	0.55	0.03
ONEIDAVR	12	13.5	0.7	<u>75</u>	3	0.62	0.03
REBOUND50	5	<u>15.7</u>	0.7	41	5	0.56	0.03
STARBUCK	4	14.9	0.7	49	5	<u>0.63</u>	0.03
VERNAL	20	13.1	0.7	<u>69</u>	3	0.62	0.03
WL357HQ	9	<u>15.7</u>	0.7	32	4	0.57	0.03

Picasso et al. 2019

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

La résilience est-elle associée à la productivité ou à la stabilité?



	Stabilité	Résilience
Productivité	NS	-0,58
Stabilité		NS
Résilience		

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

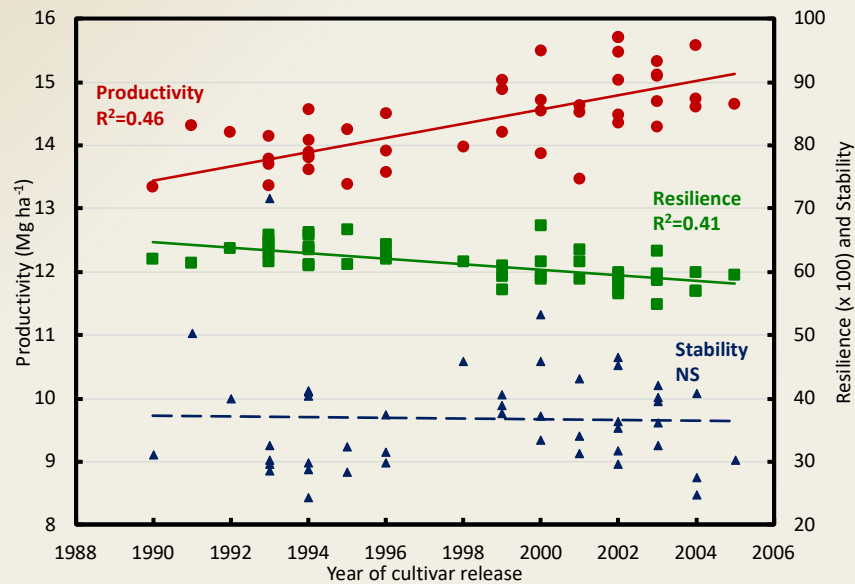
La résilience est-elle associée à des caractéristiques de résistance au stress?



	Stabilité	Résilience	Survie à l'hiver	Résistance aux maladies
Productivité	NS	-0,58	NS	0,30
Stabilité		NS	NS	-0,56
Résilience			NS	NS

Picasso et al. 2019

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

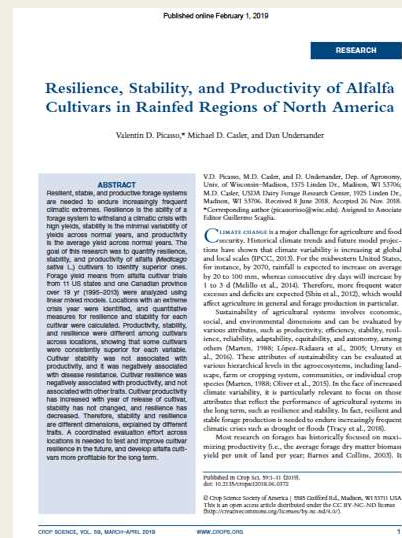


Picasso et al. 2019

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Conclusions

- Les cultivars de luzerne diffèrent en stabilité et en résilience; il est possible d'identifier des cultivars supérieurs pour chaque variable.
- Résilience et stabilité représentent deux dimensions différentes des performances à long terme des cultivars, et sont associées à des caractéristiques différents.
- Des essais coordonnés sur plusieurs sites sont proposés afin d'améliorer la résilience de la luzerne dans le futur.



UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON



Recherches en cours

- Subvention USDA-NIFA-AFRP, 2018-2021 (WI, MN, CA, FL)
 - Élargir et mettre à jour la base de données nord-américaine sur les essais de variétés de luzerne avec de nouveaux cultivars.
 - Essais au champ visant à mesurer la résilience des cultivars de luzerne aux stress hydriques et au froid, et à identifier les caractéristiques associés à la résilience.
 - Modéliser les rendements de cultivars de luzerne suivant un large spectre de scénarios climatiques.
- Base de données internationale sur la résilience de la luzerne (Uruguay, Argentine, Chili...)
- Autres espèces fourragères ou de grandes cultures (fétuque élevée, panic érigé, avoine...)



Caractéristiques pertinentes

- Survie à l'hiver
- Tolérance à la chaleur
- Tolérance à la sécheresse
- Tolérance aux inondations

- Résistance aux insectes et aux maladies

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Amélioration génétique des fourrages en Amérique du Nord



Québec, Canada

- Luzerne et trèfle rouge : tolérance au froid et résistance aux maladies
- Timothy: tolérance à la chaleur

Kentville, Canada

- Luzerne : tolérance à la sécheresse et à l'inondation

Cornell, New York, USA

- Luzerne : résistance aux insectes et aux maladies

Wisconsin, USA

- Fétuque des prés : rendement
- Dactyle pelotonné : non floraison en climats à hivers froids
- Trèfle rouge : rendement, vigueur des plantules, résistance aux maladies

Californie, UC Davis, USA

- Luzerne : tolérance à la chaleur, au manque d'irrigation, à la salinité, aux maladies, et persistance dans des environnements arides
- Fétuque élevée : écotypes à croissance ou à dormance estivales, avec ou sans endophytes

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Choix des espèces



Tolérance aux températures sous zéro et à l'anoxie causée par la présence de glace dans les champs.



La présence de glace étouffe des plants et entraîne des pertes dans les peuplements de luzerne.

Choix des espèces – Rusticité hivernale

Légumineuses :

Trèfle rouge < luzerne < lotier corniculé < trèfle Kura

Graminées :

Ray-grass < dactyle pelotonné < fétuque élevée
< alpiste roseau < brome inerme < fléole des prés



Balasko and Nelson, 2003

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Choix des espèces – Rusticité hivernale

BÉLANGER ET AL. - DOMMAGES HIVERNAUX AUX CULTURES FOURRAGÈRES PÉRENNES DANS L'EST DU CANADA

37

Table 1. Relative shoot regrowth, relative total non-structural carbohydrates (TNC), and ethanol concentration in shoot bases and crowns of oxygen deficiency-treated plants of four forage species following 100 d of treatment. Relative shoot regrowth and relative total non-structural carbohydrates (TNC) were calculated as values from oxygen deficiency-treated plants divided by values from plants maintained under normal atmospheric conditions. Adapted from Bertrand et al. (2001, 2003)

	Fléole	Dactyle	Luzerne	Trèfle rouge
Relative shoot regrowth	0.69	0.49	0.30	0.04
Relative TNC	1.24	0.95	0.46	0.62
Ethanol (mg g ⁻¹ DM)	3.07	11.04	10.41	14.28

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Choix des espèces – Tolérance à la sécheresse

Légumineuses :

Trèfle blanc < lotier corniculé < trèfle rouge
< trèfle Kura < luzerne

Graminées :

Ray-grass < fléole des prés < dactyle pelotonné
< alpiste roseau < fétuque élevée < brome inerme



McGraw and Nelson, 2003

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON



Espèces pérennes

➤ Services écosystémiques :

- Limite l'érosion
- Réduit le lessivage des nutriments
- Fixe le carbone

➤ Usages agricoles multiples :

- Pâturages pour les animaux
- Fourrages comme aliment
- Biomasse pour la production d'énergie
- Cultures céréalières pérennes



TABLE 1 Productivity, stability, and resilience values for biomass and ground cover measured on 13 perennial cool-season grass species at six Intermountain and northern Great Plains rangeland sites from 2000 to 2003

Species	Biomass kg ha ⁻¹			Ground cover %		
	P	S	R	P	S	R
Intermediate wheatgrass	5595 ^{a†}	28.5 ^a	0.3	98 ^a	58.3 ^a	0.6 ^{abcde}
Tall wheatgrass	5043 ^a	17.8 ^b	0.3	95 ^{ab}	36.0 ^{cd}	0.5 ^{bcd}
Crested wheatgrass	3818 ^b	19.6 ^b	0.4	86 ^{abcd}	49.9 ^{ab}	0.9 ^{ab}
Western wheatgrass	3781 ^b	12.7 ^c	0.4	97 ^a	37.1 ^{cd}	0.8 ^{abc}
RS Hybrid wheatgrass	3634 ^{bc}	10.6 ^{cde}	0.4	86 ^{abcd}	27.9 ^{def}	0.5 ^{bcd}
Meadow brome	3379 ^{bcd}	11.6 ^{cd}	0.4	90 ^{abc}	34.7 ^{cde}	0.7 ^{abcd}
Smooth brome	3193 ^{bcd}	9.3 ^{cdef}	0.5	86 ^{abcd}	27.9 ^{def}	0.7 ^{abcd}
Siberian wheatgrass	3112 ^{bcd}	11.2 ^{cd}	0.4	84 ^{abcd}	32.1 ^{cdef}	0.8 ^{abc}
Altai wildrye	2812 ^{bcd}	8.0 ^{def}	0.5	75 ^{bcd}	23.4 ^{efg}	0.4 ^{cde}
Russian wildrye	2658 ^{cdef}	10.4 ^{cde}	0.8	87 ^{abc}	41.6 ^{bc}	1.0 ^a
Basin wildrye	2339 ^{def}	6.7 ^{ef}	0.8	66 ^d	21.2 ^{fg}	0.4 ^{cde}
Thickspike wheatgrass	2206 ^{ef}	7.7 ^{def}	0.5	72 ^{cd}	26.9 ^{defg}	0.3 ^{de}
Bluebunch wheatgrass	1630 ^f	5.9 ^f	0.5	40 ^e	15.1 ^g	0.2 ^e
P value	<.0001	<.0001	>.30	<.0001	<.0001	<.05

Note. P, productivity; S, stability; R, resilience. Species: intermediate wheatgrass, *Thinopyrum intermedium* (Host) Barkworth & D.R. Dewey; tall wheatgrass, *Thinopyrum elongatum* (Host) D.R. Dewey; crested wheatgrass, *Agropyron cristatum* (L.) Gaertn. and A. *desertorum* (Fisch. ex Link) Schult.; western wheatgrass, *Pascopyrum smithii* Rydb.; RS Hybrid wheatgrass, *Elymus hoffmannii* K.B. Jensen & K.H. Asay; meadow brome, *Bromus biebersteinii* Roem. & Schult.; smooth brome, *Bromus inermis* Leyss.; Siberian wheatgrass, *Agropyron fragile* (Roth) P. Candargy; Altai wildrye, *Leymus angustus* (Trin.) Pilg.; Russian wildrye, *Psathyrostachys juncea* (Fisch.) Nevski; basin wildrye, *Leymus cinereus* (Scribn. & Merr.) Á. Löve; thickspike wheatgrass, *Elymus lanceolatus* (Scribn. & J.G. Sm.) Gould; bluebunch wheatgrass, *Pseudoroegneria spicata* (Pursh) Á. Löve.

[†]Column values followed by different superscript letters differ significantly.

Robins et al., 2020

Agropyre intermédiaire Kernza



UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Stratégies pour augmenter la résilience et la stabilité en production fourragère

- Cultivars résilients
- Espèces résilientes
- Mélanges fourragers
- Gestion de la récolte et du pâturage
- Rotations de cultures incluant des fourrages
- Espèces fourragères pérennes et cultures céréalières à deux fins

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON



Choix des espèces

- Il n'y a pas d'espèce parfaite en toutes situations
- Considérer plusieurs caractéristiques
- Consulter des données récentes
- Pérennes vs Annuelles
- Mélanges fourragers!

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON



Stratégies pour augmenter la résilience et la stabilité en production fourragère



- Cultivars résilients
- Espèces résilientes
- Mélanges fourragers
- Gestion de la récolte et du pâturage
- Rotations de cultures incluant des fourrages
- Espèces fourragères pérennes et cultures céréalières à deux fins

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Mélanges fourragers - avantages



- Assurance en cas d'aléas climatiques, si une des espèces performe moins
- Rendement accru
- Meilleure qualité du fourrage
- Les graminées réduisent la verse de la luzerne
- Saison de croissance plus longue
- Réduction des besoins en fertilisation azotée
- Amélioration de la qualité du sol
- Répression des mauvaises herbes

Picasso et al., 2008; Sanderson et al., 2005; Tracy et al., 2004

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

De quel degré de diversité a-t-on besoin dans les mélanges fourragers?

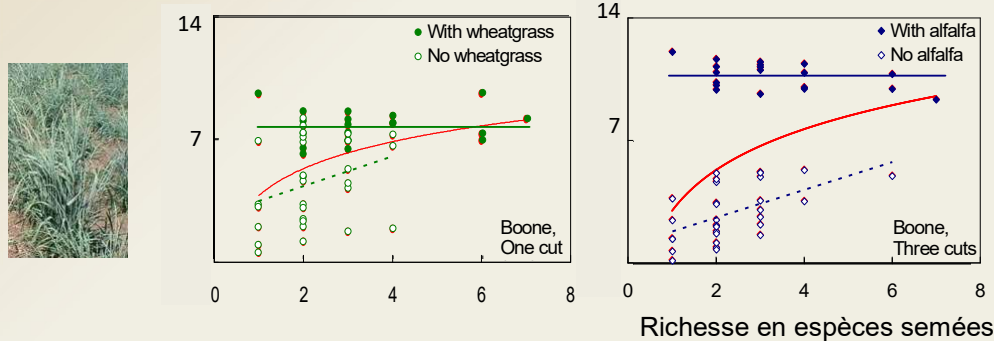
- 52 combinaisons de 8 espèces pérennes
 - Monocultures
 - Quelques polycultures de 2, 3, 4, 6 et 8 espèces
 - Pour chaque niveau de mélange d'espèces, on avait des parcelles avec ou sans chacune des espèces
- 2 sites en Iowa
- 2 gestions de coupe (1 ou 3 coupes)
- 3 années de collectes de données (2003-2006)
- Biomasse fourragère mesurée par espèce

Picasso et al. (2008) Crop Sci.



La diversité et les espèces sont aussi importantes!

Rendement en biomasse (tonnes ha⁻¹)

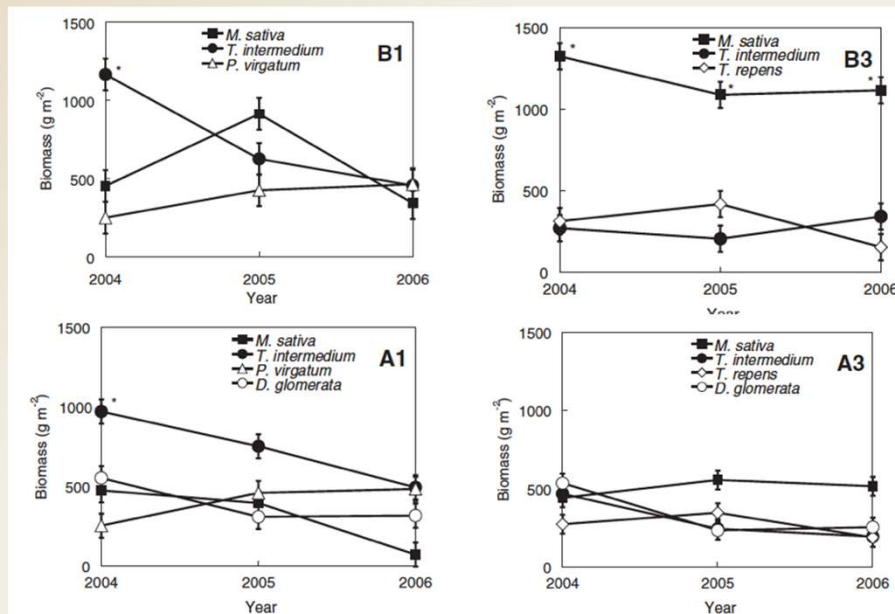


- Meilleure monoculture : Agropyre interm. (1 coupe) vs luzerne (3 coupes)
- La diversité réduit la quantité de mauvaises herbes

Picasso et al. (2008) Crop Sci.

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

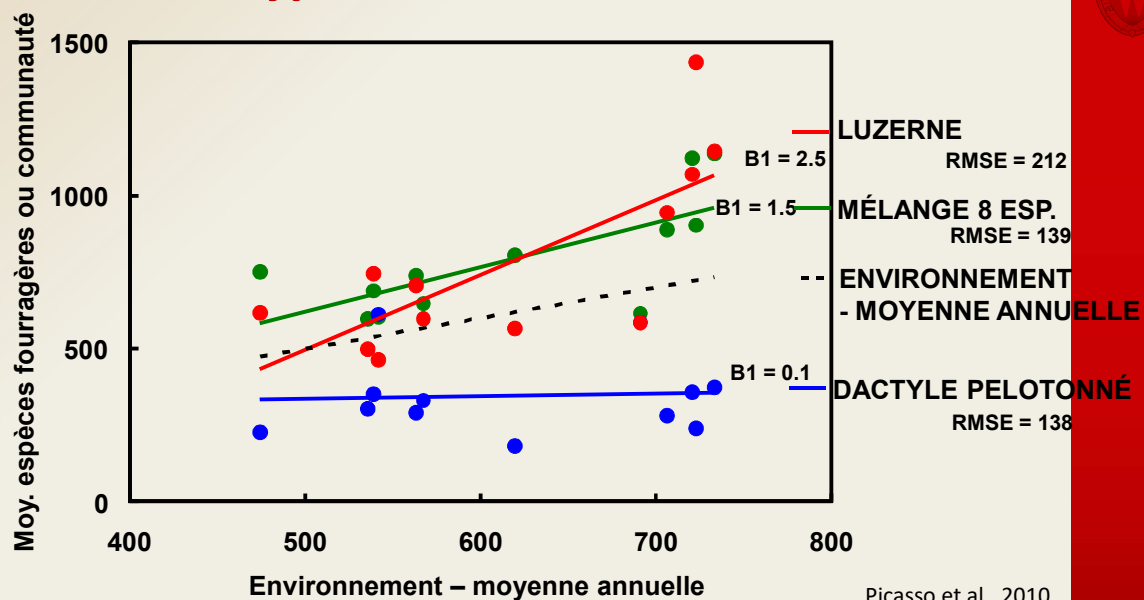
Espèces x Régie x Site x Année



M. sativa :
luzerne
T. intermedium :
agropyre interm.
P. virgatum :
panic érigé
D. glomerata :
dactyle pelotonné
T. repens :
trèfle blanc

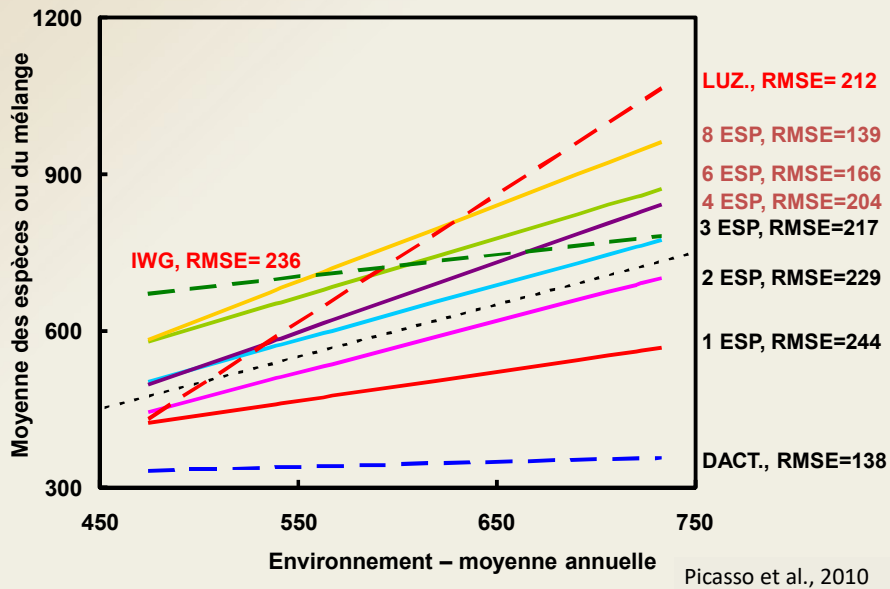
Picasso et al.
(2011) RAFS

Stabilité de type I, II, et III (Finlay & Wilkinson, 1963)

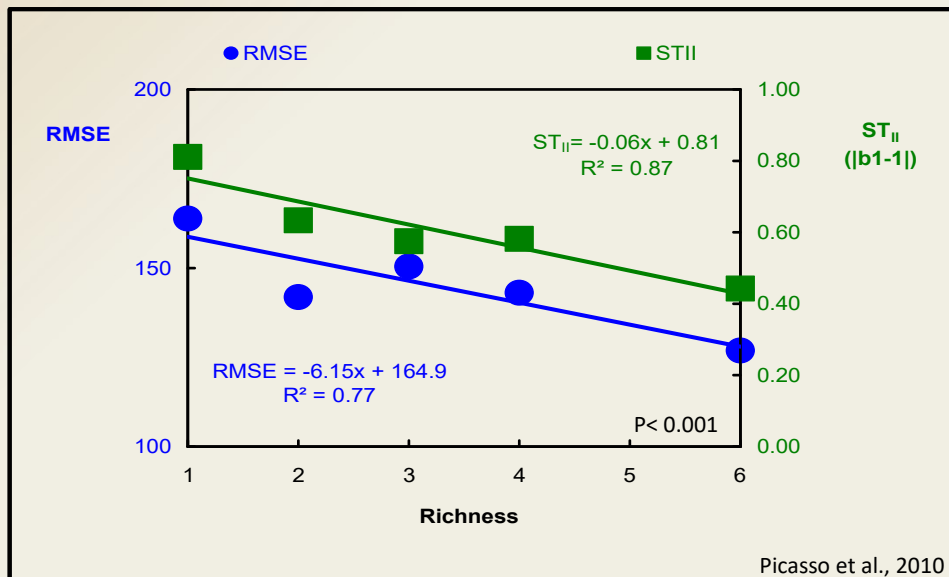


Picasso et al., 2010

Stabilité de type II (constance) et III (fiabilité)



Fiabilité (type III) et Constance (type II)





Mélanges fourragers

- Les espèces sont importantes : choisissez bien
- La diversité est importante : 2-3 espèces (graminées + légumineuses)
- Les mélanges fourragers sont plus stables
- Les mélanges fourragers sont plus constants et plus fiables

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON



Stratégies pour augmenter la résilience et la stabilité en production fourragère

- Cultivars résilients
- Espèces résilientes
- Mélanges fourragers
- Gestion de la récolte et du pâturage
- Rotations de cultures incluant des fourrages
- Espèces fourragères pérennes et cultures céréalières à deux fins

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Pâturage

La récolte des fourrages dans des conditions printanières humides est difficile; le pâturage, qui élargit les possibilités d'utilisation des fourrages, est donc une pratique appelée à croître dans les systèmes d'élevage.

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

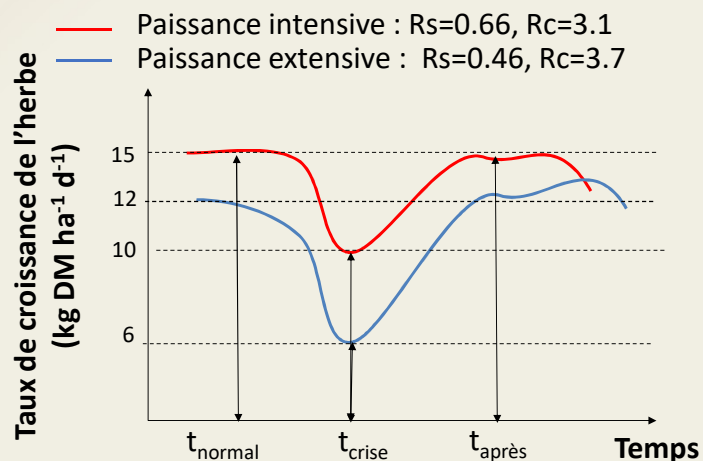


Gestion des pâturages et résilience

Normal (avant sécheresse)



Crise (durant la sécheresse)



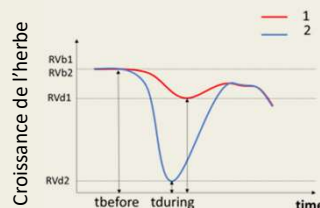
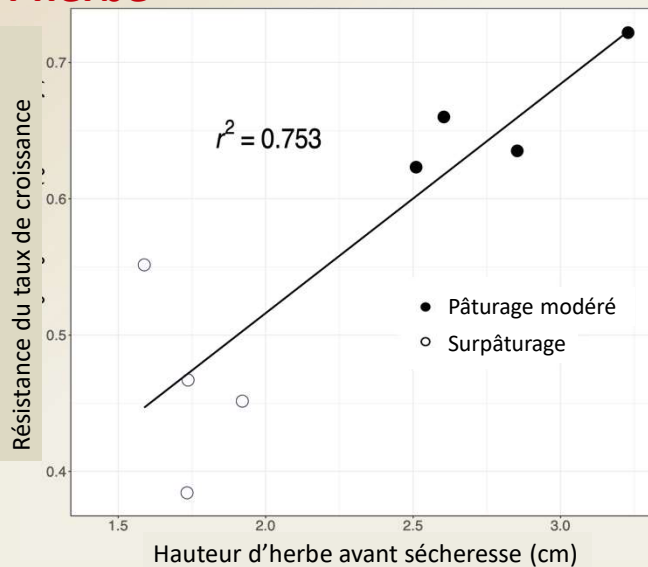
$$\text{Résistance (Rs)} = \frac{Y_{\text{crise}}}{Y_{\text{normal}}}$$

$$\text{Récupération (Rc)} = \frac{Y_a - Y_c}{t_a - t_c}$$

Modernel et al., 2019. GFS



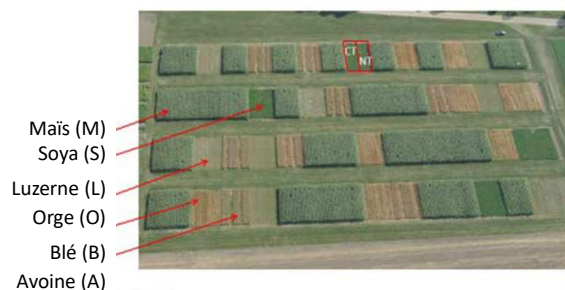
Résistance à l'échelle du champ : taux de croissance de l'herbe



Modernel et al., 2019. GFS

Rotation des cultures et résilience

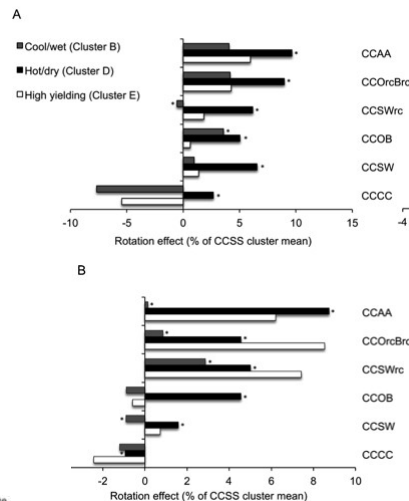
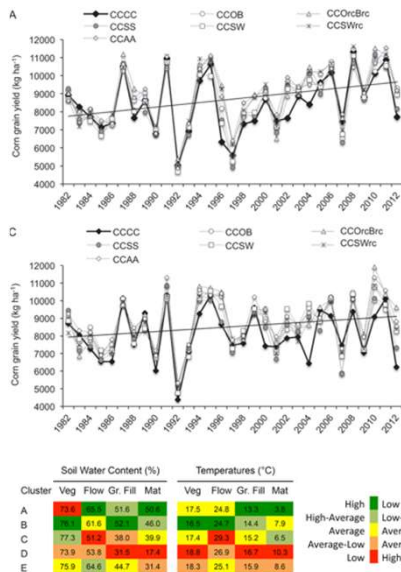
**Elora Research Station,
Ontario, Canada :**
1625 acres, loam limoneux,
900 mm de précipitations
annuelles, 2700-2800 UTM



- Débuté en 1980
- Rotations – MMMM, LLLL, MMLL, MMSS, MMSB, MMSB(tr), MMAA, MMA(tr)A(tr)
- Travail du sol conventionnel et travail réduit du sol

Bill Deen, Univ. Guelph

Rotations de cultures diversifiées : plus stables et plus résilientes

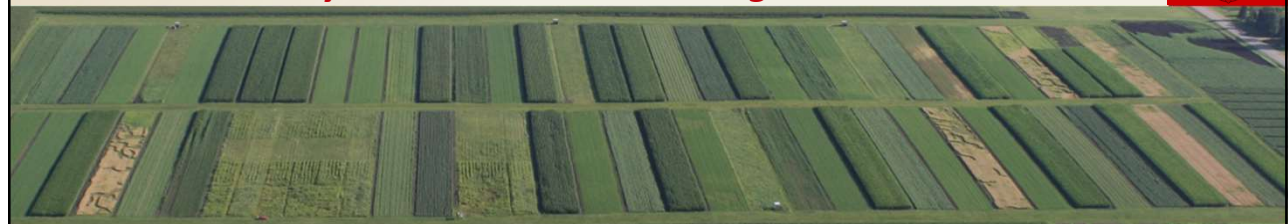


La stabilité des rendements a augmenté lorsque le maïs et le soja ont été intégrés à des rotations plus diversifiées incluant des céréales à paille, du trèfle rouge, de la luzerne, tel que démontré dans des essais à long terme sur une période de 31 ans en Ontario.

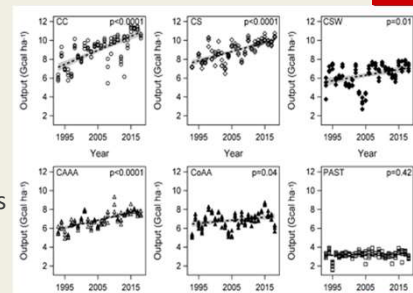
Les stratégies de diversification des cultures augmentent la probabilité de profiter de conditions de croissance favorables, tout en diminuant le risque de mauvaise récolte.

Gaudin et al., 2015

Wisconsin Integrated Cropping Systems Trial Essais de systèmes de cultures intégrés au Wisconsin

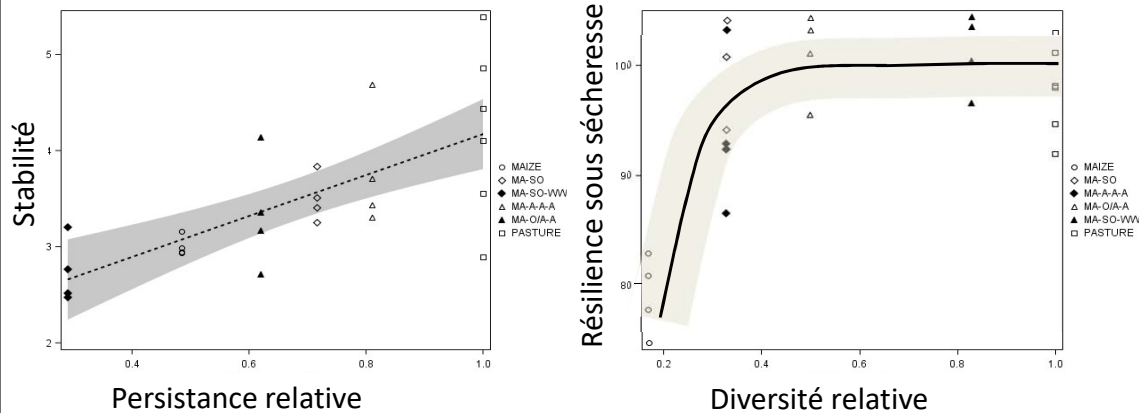


- Débuté en 1989, soit 30 ans de données en continu.
- Systèmes de cultures représentatifs des pratiques du Midwest :
 - Cultures commerciales (Maïs, Maïs-Soya, Maïs-Soya-Blé)
 - Cultures fourragères pour les bovins laitiers (Maïs-3 années Luz, Maïs-Avoine-2 années Luz, pâturage)
- Tous les travaux au champ ont été effectués avec des équipements agricoles standards.
- Dispositif en blocs aléatoires complets, avec 4 blocs.
- Chaque phase de chaque system dans chaque bloc chaque année.



UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Diversité et persistance dans les rotations de cultures



Sanford et al., Wisconsin Integrated Cropping Systems Trial (in prep.)

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

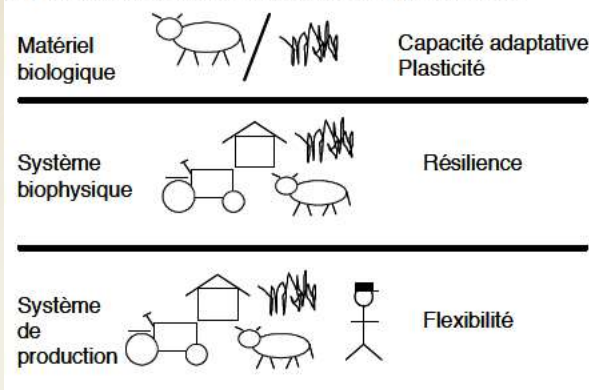
Plus de plantes pérennes sont nécessaires

- L'intensité accrue des pluies et des orages rend indispensable l'augmentation des surfaces en pâturages et en cultures fourragères pérennes.
- Des rotations plus longues sont nécessaires afin de réduire les surfaces à semer chaque année.
- Un plus grand nombre d'années en culture pérennes réduit les surfaces à semer, et augmente la surface en fourrages récoltables sur la ferme.
- Les pâturages et les cultures fourragères pérennes augmentent la matière organique du sol, l'infiltration de l'eau et la capacité des sols à supporter les sécheresses estivales.
- Elles répondent aux exigences des organismes de protection de l'environnement et des gouvernements.

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Flexibilité des systèmes de production

Figure 5. Désignation des propriétés d'adaptation selon le niveau d'organisation considéré dans l'analyse du fonctionnement des systèmes de production.



Ingrand et al., 2009

Des principes identiques s'appliquent pour des crises de nature différentes :

- Sécheresse
- Inondation
- Froid
- Changements climatiques
- Crises des marchés
- Changements de politiques

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Stratégies pour augmenter la résilience et la stabilité de la production fourragère

- Cultivars résilients : amélioration génétique des plantes
- Espèces résilientes : adaptation et agronomie
- Mélanges fourragers : compatibilité et bonne gestion
- Gestion de la récolte et du pâturage : impacts majeurs
- Rotations des cultures incluant des fourrages : plus de plantes pérennes, plus de diversité
- Espèces fourragères pérennes et cultures céréalières à deux fins : développement futur

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

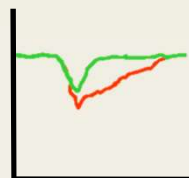
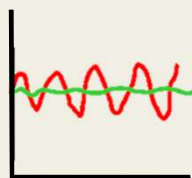
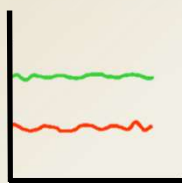


Conclusion

- Les changements climatiques actuels et futurs constituent une opportunité significative d'augmenter les surfaces en cultures fourragères pérennes et en pâturage ainsi que la production en Amérique du Nord.
- Des efforts conjoints de la part des chercheurs et des producteurs afin d'améliorer la tolérance des cultivars au froid, à la chaleur et aux maladies permettraient une augmentation de la production de fourrages.
- L'accroissement des surfaces dédiées aux cultures fourragères pérennes et pâturage peut augmenter la résilience et la stabilité de production et réduire les impacts environnementaux des événements climatiques extrêmes.

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Thank you very much!
Merci beaucoup!



Valentin D. Picasso

picassorriso@wisc.edu

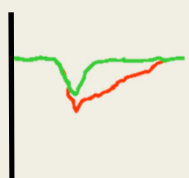
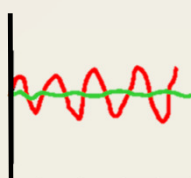
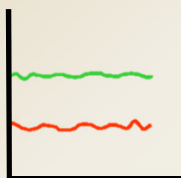
Professeur adjoint au département
d'agronomie
University of Wisconsin – Madison

COLLOQUE SUR LES
PLANTES FOURRAGÈRES
20-02-2020, Saint-Julie,
Québec, Canada



Resilience and adaptation of forage systems to climate change

Résilience et adaptation des systèmes fourragers aux changements climatiques



Valentin D. Picasso

Assistant Professor
Agronomy Department
University of Wisconsin – Madison

COLLOQUE SUR LES
PLANTES FOURRAGÈRES
20-02-20, Saint-Julie,
Québec, Canada



Native grasslands in Uruguay



Outline

- Sustainability, Resilience, and Stability
- Strategies for adaptation:
 - Resilient cultivars
 - Resilient species
 - Forage mixtures
 - Harvest and grazing management
 - Crop rotations with forages
 - Perennial forages and dual-use grain crops
- Climate change as an opportunity for forages

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

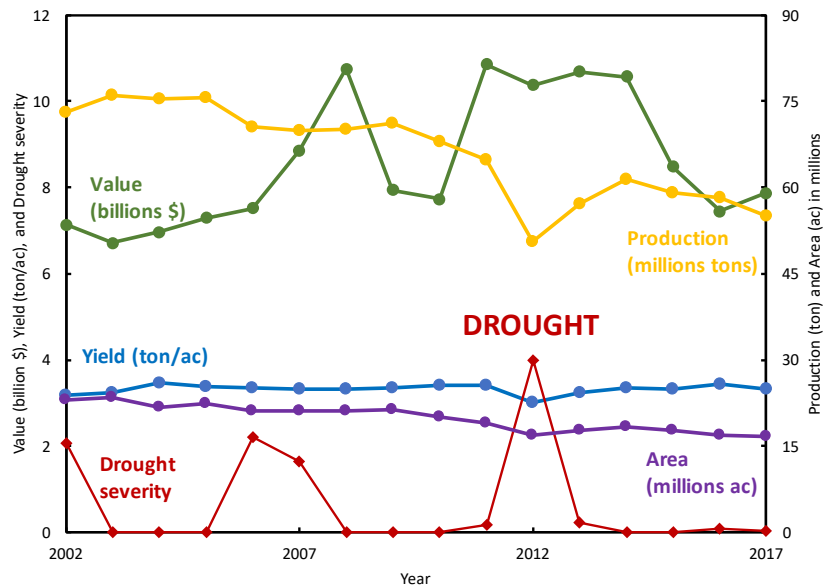


Sustainable agriculture attributes

- Productivity – high food yields
- Profitability – high income
- Efficiency – low inputs
- Stability – low variability
- Resilience – resist crisis
- Flexibility – adaptable
- Environmental services (soil, water, GHG, biodiversity) – protect and improve environment for future generations
- Fairness – socially acceptable

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON





Picasso et al. Data from NASS 2018, and NOAA 2018.

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON



UNITÉ
INDIVISIBILITÉ
DE LA
DURABILITÉ:
PRODUCTIVITÉ
STABILITÉ
RÉSILIENCE
(OU LA
MORT)

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

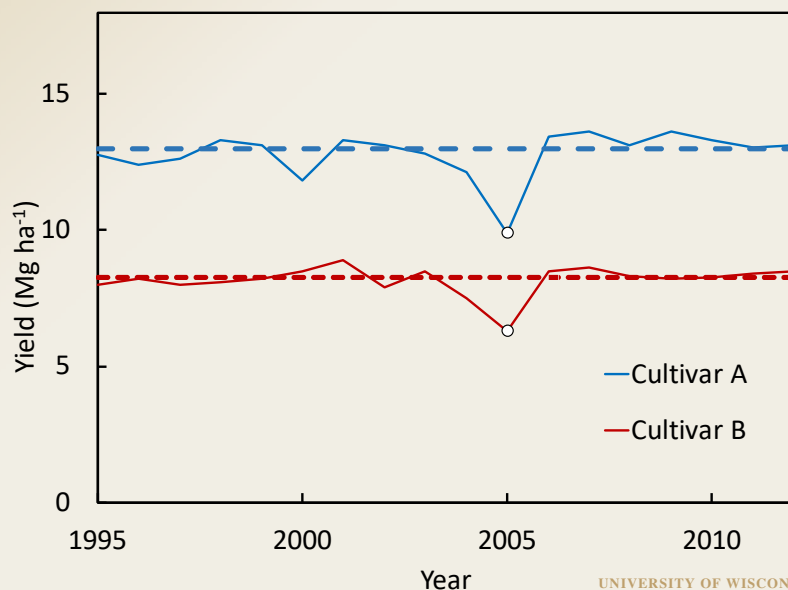
Productivity, Stability and Resilience

- **Productivity** is the mean yield over time.
- **Stability** is the minimal variability of yields over time under normal conditions.
- **Resilience** is the ability to withstand a short-term crisis, perturbation, or shock, like a drought.
It comprises two dimensions:
 - **Resistance**: the ability to not fall during the perturbation,
 - **Recovery**: the ability and speed of recovery afterwards.

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON



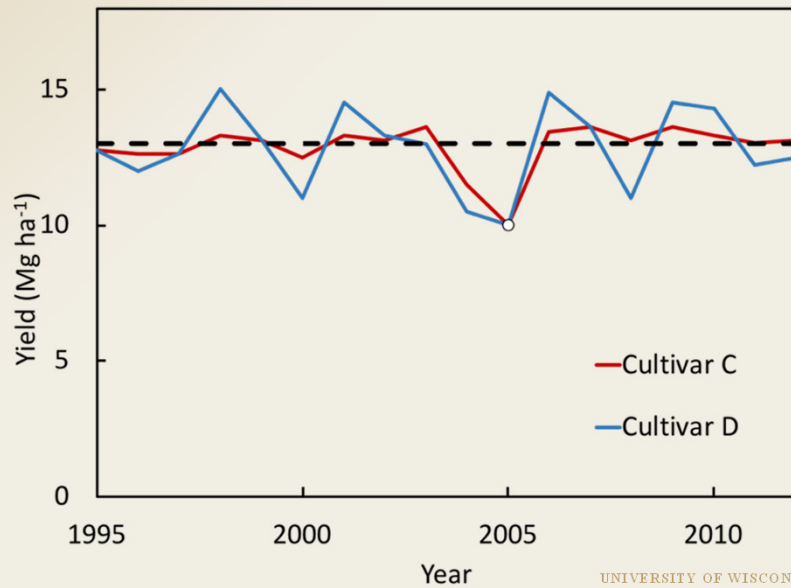
Productivity



UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

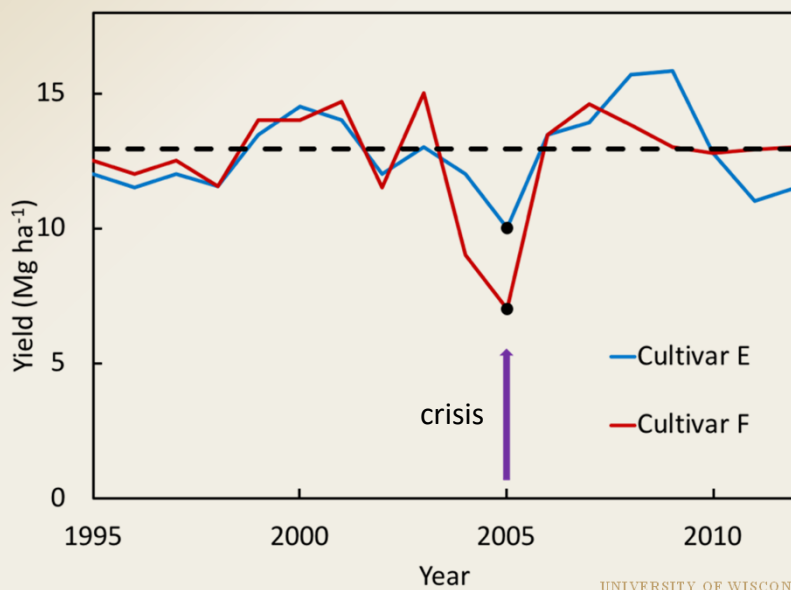


Stability



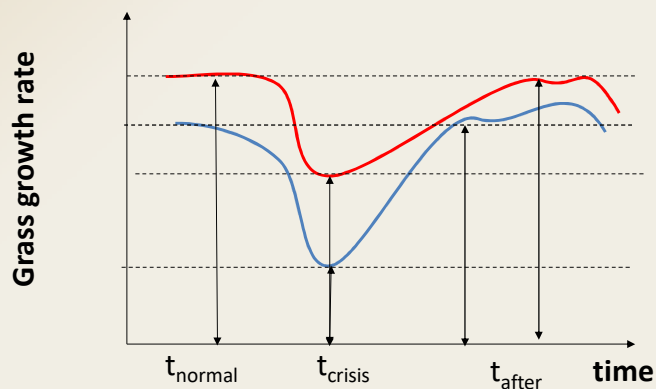
UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Resilience



UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

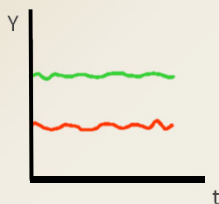
Resistance and recovery



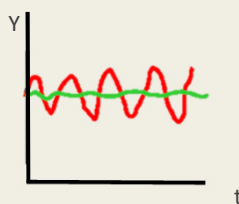
UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Summary definitions

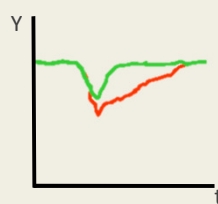
Productivity
= mean yield



Stability
= mean/std error



Resilience
= min/mean



UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Strategies to increase resilience and stability in forage production

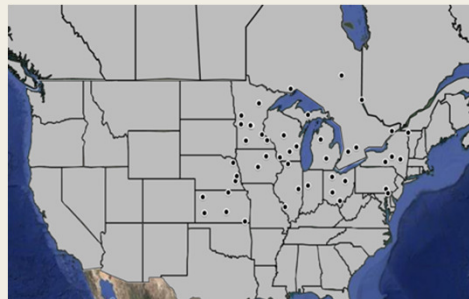
- Resilient cultivars
- Resilient species
- Forage mixtures
- Grazing management
- Crop rotations with forages
- Perennial forages and dual-use grain crops

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON



Are there more resilient cultivars in alfalfa?

- 679 alfalfa cultivars from 1060 public trials from 1995 – 2013, for 86 locations in 11 US states (IA, IL, IN, KS, MI, MN, NE, NY, OH, PA, WI) and Ontario (Canada).
- 25 locations with crises years evaluated in more than 11 consecutive years.
- 84 Cultivars evaluated in more than 3 locations.



UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON



Crisis Year

- a year when yields were significantly reduced for most cultivars across the entire trial.
- weather data was then analyzed to identify the cause of the crisis (Palmer drought severity index)
- 80% of locations had drought crises years



UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Are there differences between cultivars?

Cultivar	L	Productivity		Stability		Resilience	
		P<0.01		P<0.01		P<0.01	
		Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE
631	4	14.2	0.7	40	5	<u>0.64</u>	0.04
5312	13	14.1	0.7	72	3	0.62	0.03
6415	8	<u>15.7</u>	0.7	46	4	0.57	0.03
ABUNDANCE	5	14.5	0.7	37	5	<u>0.62</u>	0.03
DK127	4	13.9	0.8	41	5	<u>0.64</u>	0.04
GENOA	5	15.3	0.7	39	5	0.55	0.03
ONEIDAVR	12	13.5	0.7	<u>75</u>	3	0.62	0.03
REBOUND50	5	<u>15.7</u>	0.7	41	5	0.56	0.03
STARBUCK	4	14.9	0.7	49	5	<u>0.63</u>	0.03
VERNAL	20	13.1	0.7	<u>69</u>	3	0.62	0.03
WL357HQ	9	<u>15.7</u>	0.7	32	4	0.57	0.03

Picasso et al. 2019

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Is resilience associated with productivity or stability?



	Stability	Resilience
Productivity	NS	-0.58
Stability		NS
Resilience		

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

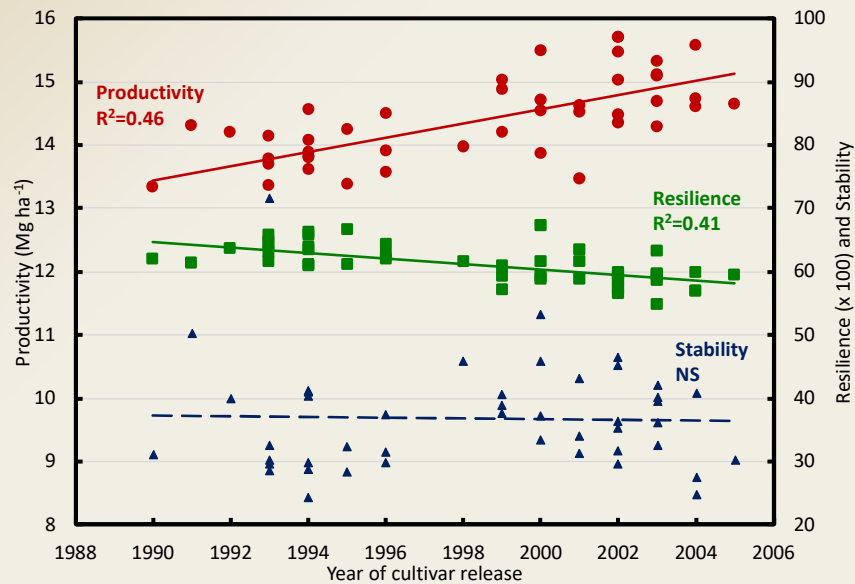
Is resilience associated with stress tolerance traits?



	Stability	Resilience	Winter Survival	Disease Resistance
Productivity	NS	-0.58	NS	0.30
Stability		NS	NS	-0.56
Resilience			NS	NS

Picasso et al. 2019

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

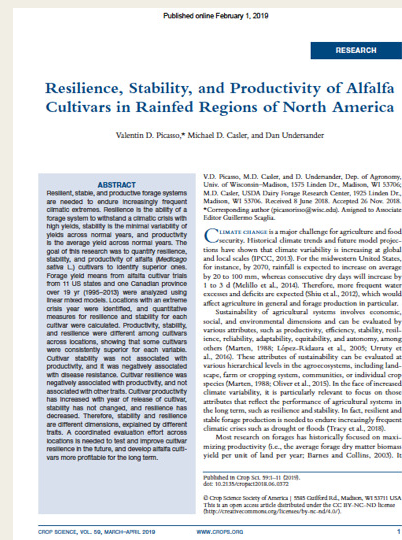


Picasso et al. 2019

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Conclusions

- Alfalfa cultivars differ in stability and resilience; it is possible to identify superior cultivars for each variable.
- Resilience and stability represent two different dimensions of the long-term performance of cultivars, and are associated with different traits.
- A coordinated testing approach across many locations is proposed to improve alfalfa resilience in the future.



UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON



Ongoing research

- USDA-NIFA-AFRP grant 2018-2021 (WI, MN, CA, FL)
 - Expand and update North American alfalfa variety trials database with new cultivars.
 - Experiments to measure resilience of alfalfa cultivars to water and cold stresses in field, and identify plant traits associated with resilience.
 - Modeling yield of alfalfa cultivars under a wide range of climatic scenarios.
- International Alfalfa Resilience database (Uruguay, Argentina, Chile, ...)
- Other forage/crop species (Tall Fescue, Switchgrass, Oats, ...)



Relevant traits

- Winter hardiness
- Heat tolerance
- Drought tolerance
- Flood resistance

- Resistance to insects and diseases

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Breeding forages in North America

Quebec, Canada

- Alfalfa and red clover: cold tolerance and disease resistance
- Timothy: heat tolerance

Kentville, Canada

- alfalfa: drought and flood resistance

Cornell, New York USA

- Alfalfa resistance to insects and diseases

Wisconsin, USA

- Meadow fescue - yield
- Orchardgrass - non-flowering in cold-winter climates
- Red clover - yield, seedling vigor, disease resistance

California, UC Davis, USA

- alfalfa: tolerance to heat, deficit irrigation, and salinity, and persistence in dryland range environments
- Tall fescue summer active and summer dormant ecotypes, with and without endophytes

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON



Choice of species

Tolerance to subfreezing temperatures and anoxia caused by presence of ice on fields.



Suffocating effects of ice can lead to alfalfa stand losses. (photo courtesy of Greg Andrews)



Choice of species – winter tolerance

Legumes:

red clover < alfalfa < Birdsfoot trefoil < Kura clover



Grasses:

ryegrasses < orchardgrass < tall fescue <

reed canarygrass < smooth brome grass < timothy



Balasko and Nelson, 2003

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Choice of species – winter tolerance

BÉLANGER ET AL. — WINTER DAMAGE TO PERENNIAL FORAGE CROPS IN EASTERN CANADA 37

Table 1. Relative shoot regrowth, relative total non-structural carbohydrates (TNC), and ethanol concentration in shoot bases and crowns of oxygen deficiency-treated plants of four forage species following 100 d of treatment. Relative shoot regrowth and relative total non-structural carbohydrates (TNC) were calculated as values from oxygen deficiency-treated plants divided by values from plants maintained under normal atmospheric conditions. Adapted from Bertrand et al. (2001, 2003)

	Timothy	Orchardgrass	Alfalfa	Red Clover
Relative shoot regrowth	0.69	0.49	0.30	0.04
Relative TNC	1.24	0.95	0.46	0.62
Ethanol (mg g ⁻¹ DM)	3.07	11.04	10.41	14.28

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Choice of species – drought tolerance

Legumes:

white clover < Birdsfoot trefoil < red clover < Kura clover < alfalfa

Grasses:

Ryegrasses < timothy < orchardgrass < reed canarygrass
< tall fescue < smooth brome



McGraw and Nelson, 2003

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON



Perennials

- Ecosystem services:
 - Erosion control
 - Nutrient leaching reduction
 - Carbon fixation
- Multiple agricultural uses:
 - Pastures for grazing
 - Forages for feed
 - Biomass for energy
 - Perennial grains

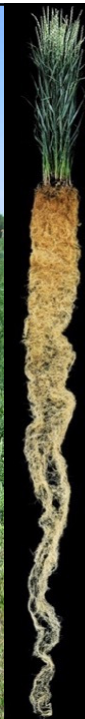


TABLE 1 Productivity, stability, and resilience values for biomass and ground cover measured on 13 perennial cool-season grass species at six Intermountain and northern Great Plains rangeland sites from 2000 to 2003

Species	Biomass kg ha ⁻¹			Ground cover %		
	P	S	R	P	S	R
Intermediate wheatgrass	5595 ^{a†}	28.5 ^a	0.3	98 ^a	58.3 ^a	0.6 ^{abcde}
Tall wheatgrass	5043 ^a	17.8 ^b	0.3	95 ^{ab}	36.0 ^{cd}	0.5 ^{bcd}
Crested wheatgrass	3818 ^b	19.6 ^b	0.4	86 ^{abcd}	49.9 ^{ab}	0.9 ^{ab}
Western wheatgrass	3781 ^b	12.7 ^c	0.4	97 ^a	37.1 ^{cd}	0.8 ^{abc}
RS Hybrid wheatgrass	3634 ^{bc}	10.6 ^{cde}	0.4	86 ^{abcd}	27.9 ^{def}	0.5 ^{bcd}
Meadow brome	3379 ^{bcd}	11.6 ^{cd}	0.4	90 ^{abc}	34.7 ^{cde}	0.7 ^{abcd}
Smooth brome	3193 ^{bcd}	9.3 ^{cdef}	0.5	86 ^{abcd}	27.9 ^{def}	0.7 ^{abcd}
Siberian wheatgrass	3112 ^{bcd}	11.2 ^{cd}	0.4	84 ^{abcd}	32.1 ^{cdef}	0.8 ^{abc}
Altai wildrye	2812 ^{bcd}	8.0 ^{def}	0.5	75 ^{bcd}	23.4 ^{efg}	0.4 ^{cde}
Russian wildrye	2658 ^{cdef}	10.4 ^{cde}	0.8	87 ^{abc}	41.6 ^{bc}	1.0 ^a
Basin wildrye	2339 ^{def}	6.7 ^{ef}	0.8	66 ^d	21.2 ^{fg}	0.4 ^{cde}
Thickspike wheatgrass	2206 ^{ef}	7.7 ^{def}	0.5	72 ^{cd}	26.9 ^{defg}	0.3 ^{de}
Bluebunch wheatgrass	1630 ^f	5.9 ^f	0.5	40 ^e	15.1 ^g	0.2 ^e
P value	<.0001	<.0001	>.30	<.0001	<.0001	<.05

Note. P, productivity; S, stability; R, resilience. Species: intermediate wheatgrass, *Thinopyrum intermedium* (Host) Barkworth & D.R. Dewey; tall wheatgrass, *Thinopyrum elongatum* (Host) D.R. Dewey; crested wheatgrass, *Agropyron cristatum* (L.) Gaertn. and A. *desertorum* (Fisch. ex Link) Schult.; western wheatgrass, *Pascopyrum smithii* Rydb.; RS Hybrid wheatgrass, *Elymus hoffmannii* K.B. Jensen & K.H. Asay; meadow brome, *Bromus biebersteinii* Roem. & Schult.; smooth brome, *Bromus inermis* Leyss.; Siberian wheatgrass, *Agropyron fragile* (Roth) P. Candargy; Altai wildrye, *Leymus angustus* (Trin.) Pilg.; Russian wildrye, *Psathyrostachys juncea* (Fisch.) Nevski; basin wildrye, *Leymus cinereus* (Scribn. & Merr.) Á. Löve; thickspike wheatgrass, *Elymus lanceolatus* (Scribn. & J.G. Sm.) Gould; bluebunch wheatgrass, *Pseudoroegneria spicata* (Pursh) Á. Löve.

[†]Column values followed by different superscript letters differ significantly.

Robins et al., 2020

Kernza intermediate wheatgrass



UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Choice of species

- There is no best species for every situation
- Consider multiple traits
- Look for recent data
- Perennials vs annuals
- Forage mixtures!

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON



Strategies to increase resilience and stability in forage production

- Resilient cultivars
- Resilient species
- Forage mixtures
- Grazing management
- Crop rotations with forages
- Perennial forages and dual-use grain crops

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON



Forage mixtures - advantages

- Insurance against climate if any single species fails.
- Increased yield
- Increased forage quality
- Grasses reduce heaving in alfalfa
- Extend growing season
- Reduce Nitrogen fertilizer requirements
- Increased soil benefits
- Reduced weed invasion

Picasso et al., 2008; Sanderson et al., 2005; Tracy et al., 2004

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON



How much forage species diversity is needed?

- 52 combinations of 8 perennial species
 - All monocultures
 - Some polycultures of 2, 3, 4, 6 and 8 species
 - For each level of species richness there were plots with and without each species
- 2 locations in Iowa
- 2 harvest regimes (1 vs 3 cuts)
- 3 years of data collection (2003-2006)
- Measured forage biomass per species

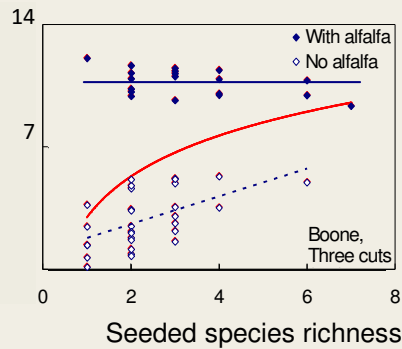
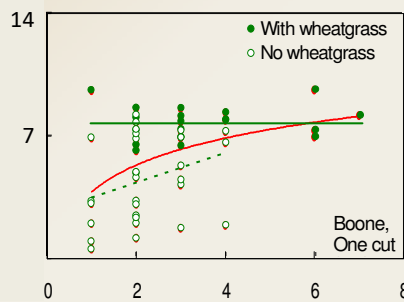


Picasso et al. (2008) Crop Sci.

Both Diversity and Species matter!



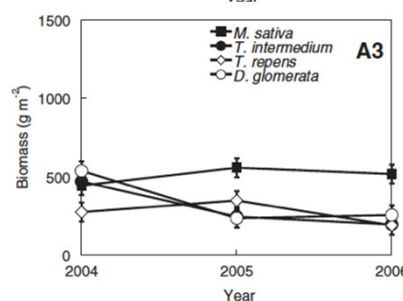
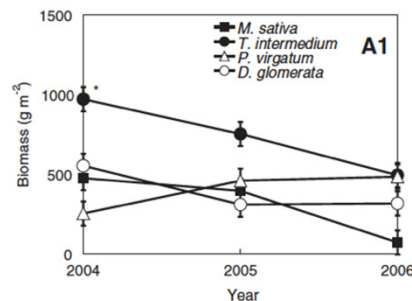
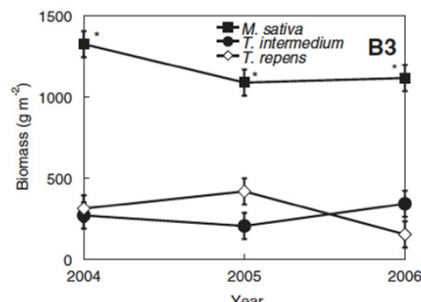
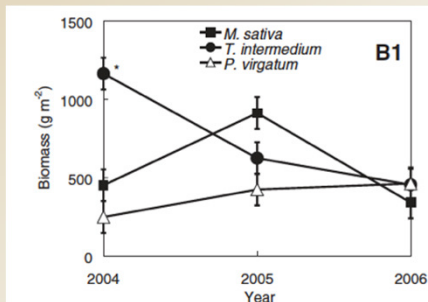
Biomass yield (tons ha⁻¹)



- Best monoculture: Int. wheatgrass (1 cut) vs. alfalfa (3 cuts)
- Weed biomass was reduced with diversity.

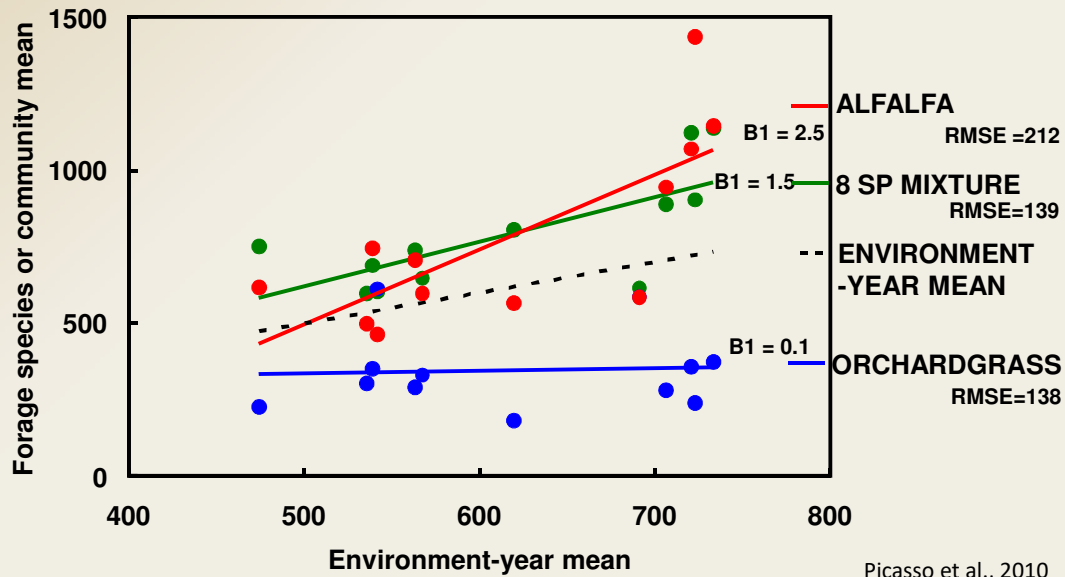
Picasso et al. (2008) Crop Sci.
UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Species x Management x Site x Year

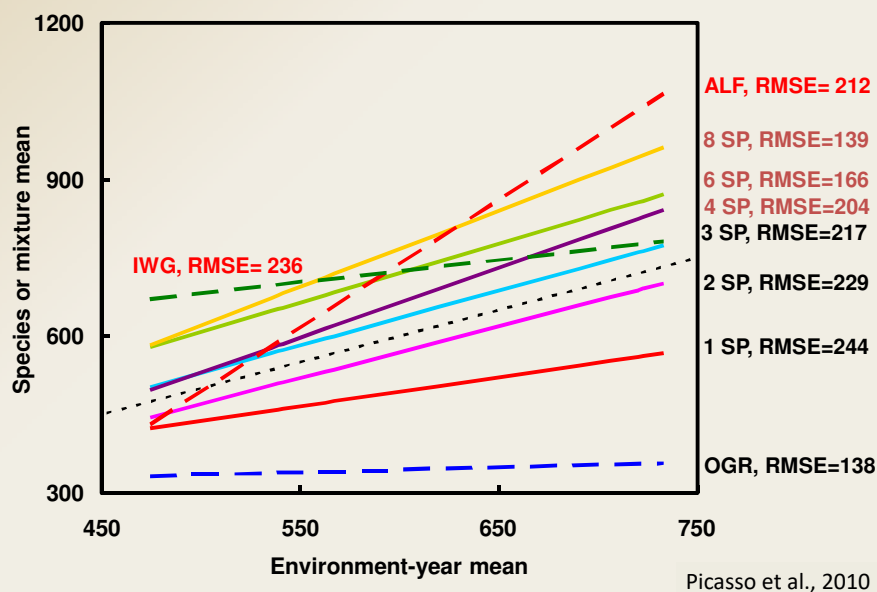


Picasso et al. (2011) RAFS

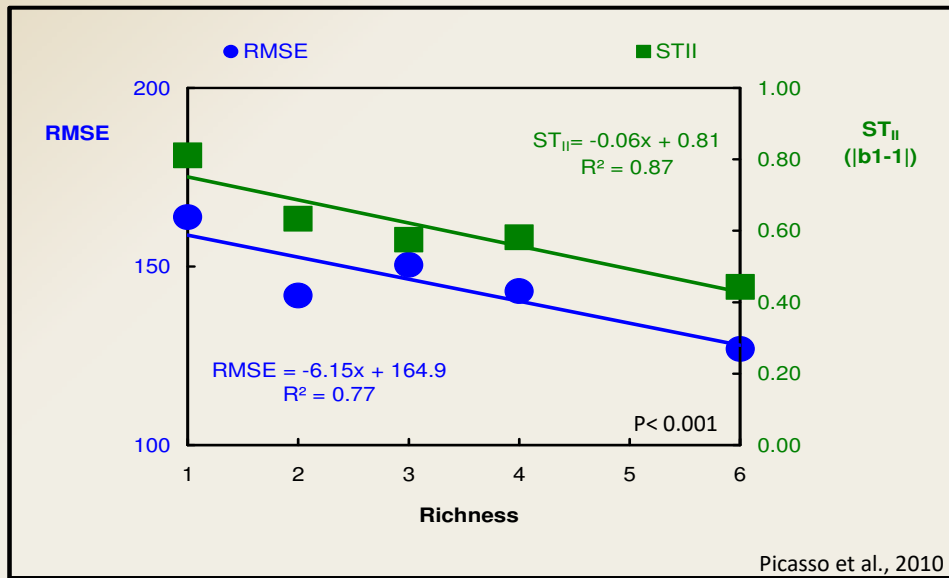
Type I, II, and III stability (Finlay & Wilkinson, 1963)



Stability type II (consistency) and III (reliability)



Reliability (type III) and Consistency (type II)



UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Forage mixtures

- Species matter – choose well
- Diversity matters – 2-3 species (grass + legume)
- Forage mixtures are more stable
- Forage mixtures are more consistent and reliable

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Strategies to increase resilience and stability in forage production

- Resilient cultivars
- Resilient species
- Forage mixtures
- Grazing management
- Crop rotations with forages
- Perennial forages and dual-use grain crops

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON



Grazing

Forage harvest under wet conditions in spring is more challenging, and grazing provides expanded opportunities for forage utilization, therefore, grazing is likely to grow in livestock systems.

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON



Grazing management and resilience

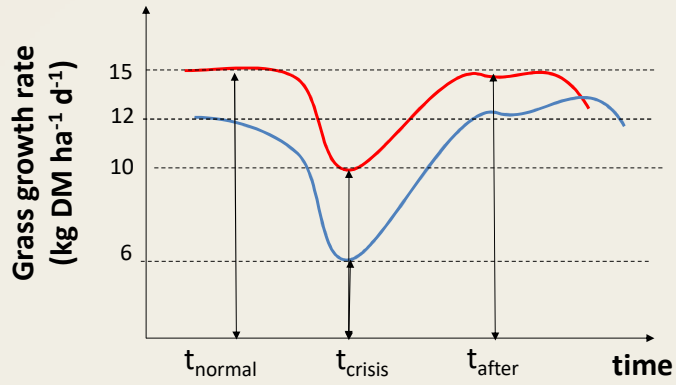
Normal (before drought)



Crisis (during drought)



— High herbage allowance: $R_s=0.66$, $r_c=3.1$
 — Low herbage allowance: $R_s=0.46$, $r_c=3.7$

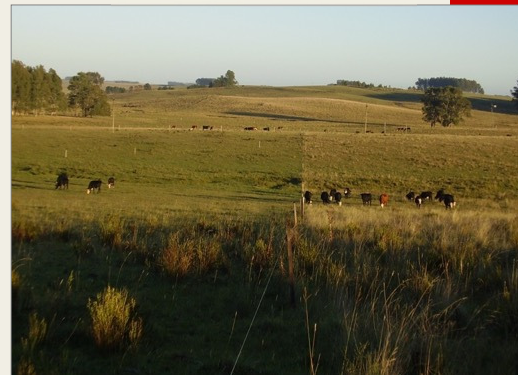
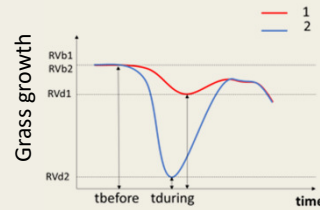
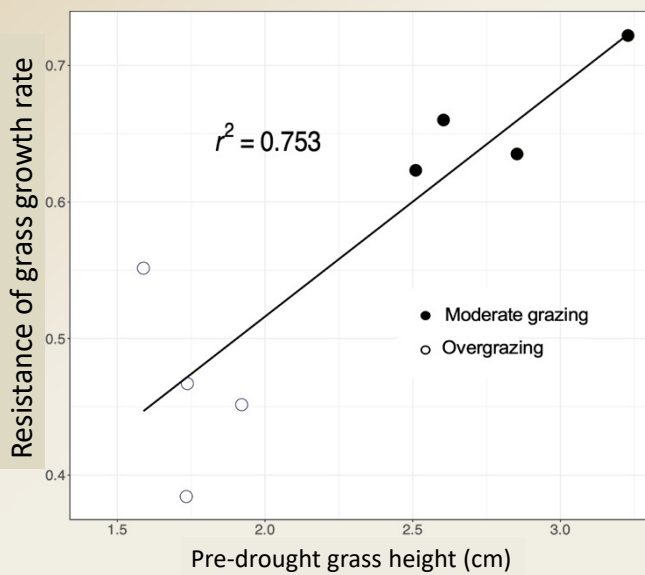


$$\text{Resistance} = \frac{Y_{\text{crisis}}}{Y_{\text{normal}}}$$

$$\text{Recovery} = \frac{Y_a - Y_c}{t_a - t_c}$$

Modernel et al., 2019. GFS

Resistance at paddock level: grass growth rate



Modernel et al., 2019. GFS

Crop rotation and resilience

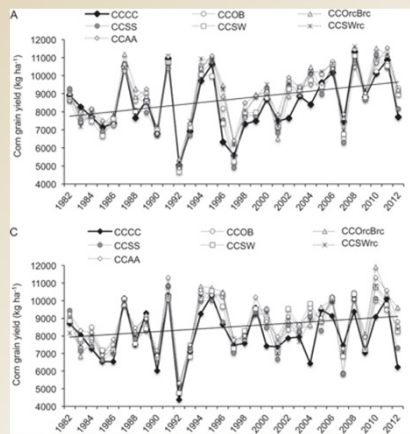
**Elora Research Station,
Ontario, Canada:**
1625 acres, silt loam soil,
900 mm annual rainfall,
2700-2800 CHU



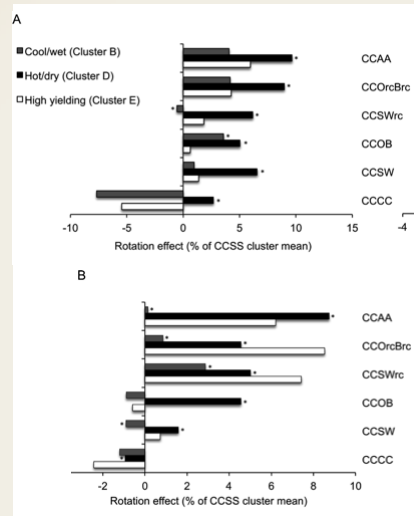
- Initiated in 1980
- Rotations – CCCC, AAAA, CCAA, CCSS, CCSW, CCSW(rc), CCOB, CCO(rc)B(rc)
- Conventional tillage and no-till

Bill Dean, Univ. Guelph

Diversified crop rotations are more stable and resilient



Soil Water Content (%)					Temperatures (°C)				
Cluster	Veg	Flow	Gr. Fill	Mat	Veg	Flow	Gr. Fill	Mat	
A	79.9	60.0	51.6	46.0	17.5	24.8	15.7	10.5	High
B	75.1	61.6	51.7	46.0	17.5	24.8	15.7	10.5	High-Average
C	77.3	60.0	50.0	39.9	17.4	25.1	15.2	10.5	Average
D	71.9	53.8	43.8	35.4	19.4	26.9	16.7	10.5	Average-Low
E	79.9	64.6	44.7	31.4	18.3	25.1	15.9	10.5	Low



Yield stability increased when corn and soybean were integrated into more diverse rotations with small grains, red clover, alfalfa, in a 31-year long term rotation trial in Ontario, Canada.

Crop diversification strategies increased the probability of harnessing favorable growing conditions while decreasing the risk of crop failure.

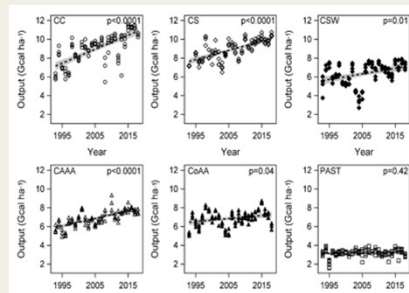
Gaudin et al., 2015

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Wisconsin Integrated Cropping Systems Trial

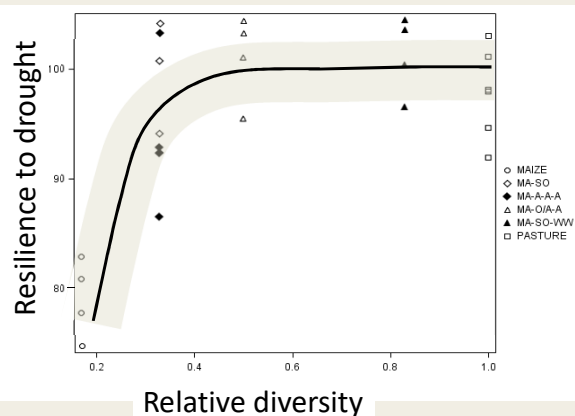
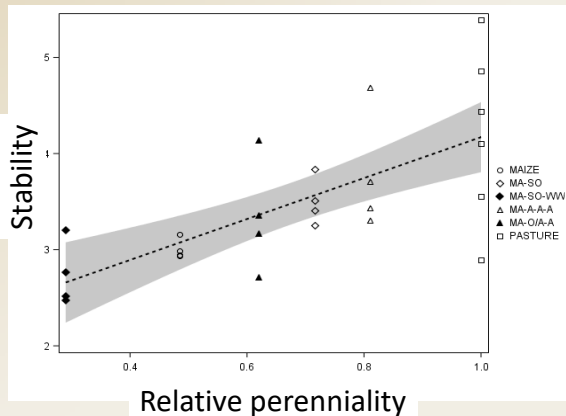


- Established in 1989, 30 years of continuous data.
- Cropping systems representative of Midwestern practices:
 - cash grain (Corn, Corn-Soy, Corn-Soy-Wheat)
 - dairy forage (C-Alfalfa 3yr, C-Oat-Alfalfa 2yr, Pasture)
- All fieldwork is performed with production-scale equipment.
- Randomized complete block design with four blocks.
- Every phase of every system in every block every year.



UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Diversity and perenniality in crop rotations



Sanford et al., Wisconsin Integrated Cropping Systems Trial (in prep.)

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON



Need for more perennials

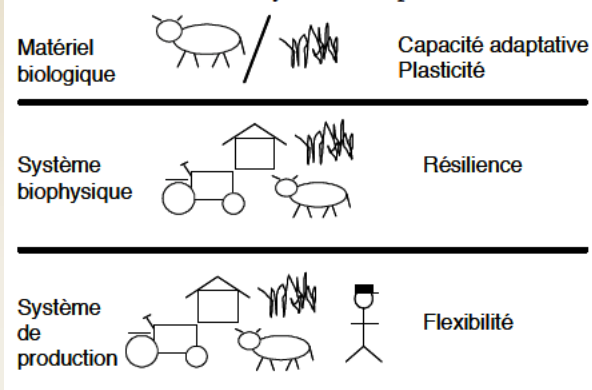
- Increased intensity of rains and storms demands expanding the area in pastures and perennial forages.
- To minimize area to plant each year longer rotations are needed.
- More years of perennial forages reduces the area to plant increasing the harvestable forage area on the farm.
- Perennial forages and pastures increase soil organic matter, water infiltration, and ability to withstand summer droughts.
- Required by conservation and regulatory agencies.

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON



Flexibility of production systems for adaptation

Figure 5. Désignation des propriétés d'adaptation selon le niveau d'organisation considéré dans l'analyse du fonctionnement des systèmes de production.



Ingrand et al., 2009

Same principles for different crises:

- Drought
- Floods
- Cold
- Climate change
- Market crisis
- Policy changes

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON

Strategies to increase resilience and stability in forage production

- Resilient cultivars – plant breeding
- Resilient species – adaptation and agronomy
- Forage mixtures – compatibility and management
- Harvest and grazing management – major impacts
- Crop rotations with forages – more perennials and diversity
- Perennial forages and dual-use grain crops – future expansion

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON



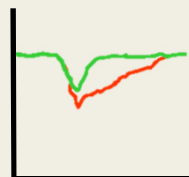
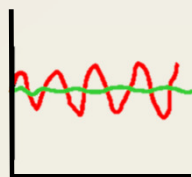
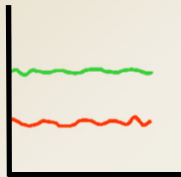
Conclusion

- Present climate variability and future climate trends provide significant opportunities to increase perennial forages and pasture area and production in North America.
- Higher forage production would be realized if both researchers and farmers focus on increasing tolerance to cold, heat, and disease stresses.
- More farm area in perennial forages and pasture can enhance farmers' resilience and stability of production, as well as reduce the environmental impacts of extreme climatic events.

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON



Thank you very much!
Merci beaucoup!



Valentin D. Picasso
picassorriso@wisc.edu
Assistant Professor
Agronomy Department
University of Wisconsin – Madison

COLLOQUE SUR LES
PLANTES FOURRAGÈRES
20-02-20, Saint-Julie,
Québec, Canada