

Adaptations à la sécheresse par les choix techniques de conduite des cultures pour les prairies et le maïs

J. Lorgeou¹, S. Battegay², P. Pelletier³

Parmi les voies d'optimisation des systèmes fourragers soumis à la sécheresse, diverses adaptations des techniques de culture et d'exploitation des plantes fourragères sont envisageables. Résultats expérimentaux à l'appui, elles sont ici rappelées.

RÉSUMÉ

L'article présente des comparaisons de production de différentes espèces fourragères (dactyle, ray-grass et fétuque élevée) et prairies à base d'associations ou de mélanges multi-espèces, sous contraintes hydriques plus ou moins sévères. L'intérêt d'une irrigation d'appoint de prairies temporaires de graminées et du maïs est souligné. Différentes tactiques d'esquive des manques d'eau durant la période estivale sont possibles : fauche précoce des prairies pour sécuriser les repousses en début d'été ou choix de variétés et dates de semis de maïs plus précoces. Dans les systèmes mixtes, la possibilité de récolter en ensilage des surfaces de maïs grain participe à la sécurisation des stocks fourragers. Le progrès génétique des nouvelles variétés de maïs est signalé. Des éléments de stratégie et de tactique de constitution des stocks fourragers ainsi que de gestion opérationnelle des surfaces fourragères en cours de campagne sont discutés.

MOTS CLÉS

Association végétale, espèce fourragère, gestion des prairies, irrigation, maïs, maïs fourrage, mélange fourrager, mode d'exploitation, prairie temporaire, production fourragère, stade de récolte, sécheresse.

KEY-WORDS

Cutting stage, drought, forage maize, forage mixture, forage production, forage species, irrigation, ley, maize, pasture management, plant association, type of management.

AUTEURS

1 : ARVALIS - Institut du Végétal, Variétés et Ecophysiologie maïs et sorgho, F-91720 Boigneville ; j.lorgeou@arvalisinstitutduvegetal.fr

2 : ARVALIS - Institut du Végétal, Maison de l'Agriculture, Rond Point Maurice Le Lannou, CS 14226, F-35042 Rennes cedex ; s.battegay@arvalisinstitutduvegetal.fr

3 : ARVALIS - Institut du Végétal, Ferme Expérimentale des Bordes, F-36120 Jeu-les-Bois ; p.pelletier@arvalisinstitutduvegetal.fr

Introduction

Comme l'ont montré les années 2003, 2005 et 2006 dans plusieurs régions, les sécheresses affectent les rendements de tous les fourrages produits sur l'exploitation. Les projections climatiques à long terme prévoient une augmentation des températures et du risque de sécheresse au printemps et en été. Ces constats et perspectives justifient la recherche de stratégies et de tactiques d'adaptation.

Les systèmes se sont construits au fil des années en fonction des objectifs et des contraintes des exploitations d'élevage, aboutissant à une grande diversité, structurée par les orientations de production animale, les potentiels et facteurs limitants des milieux, les environnements économiques régionaux (demandes des entreprises de transformation) et les tailles des exploitations agricoles. La place des différentes prairies et cultures à destination fourragère résulte d'une optimisation progressive des systèmes fourragers, qui passe par celle de la valorisation des parcelles, une minimisation du coût de l'UFL, la prise en compte de la sécurité d'approvisionnement, des contraintes de main d'œuvre et des demandes des structures d'aval. La base de la production fourragère repose aujourd'hui essentiellement, avec des proportions variables selon les systèmes et les régions, sur la production d'herbe (pâturée ou fauchée) et de maïs fourrage ensilé. Dans ce contexte, les possibilités d'adaptation à la sécheresse des systèmes d'élevage et fourragers passent par des choix stratégiques structurant les systèmes et/ou des ajustements tactiques (LEMAIRE et PFLIMLIN, 2007).

Il s'agit dans ce texte de rapporter les résultats d'expérimentations sur les techniques de conduite des prairies et du maïs qui limitent les effets de la sécheresse sur la production de fourrage dans le contexte climatique et des systèmes d'élevage actuels.

1. Conduite des prairies

La production des prairies se fait principalement au printemps, de la mi-avril à la mi-juin. En l'absence de pluie sur cette période, la production va être réduite de 1/3 à 2/3, avec une récupération assez aléatoire (PFLIMLIN, 1998). Les prairies temporaires, installées sur des sols généralement plus sains que les prairies permanentes, offrent des possibilités d'adaptation à la sécheresse, par le choix des espèces semées ou l'implantation de mélanges multi-espèces. D'autres techniques peuvent aussi contribuer à accroître la sécurité des systèmes fourragers, en particulier le recours à une fauche plus précoce sur une partie des surfaces destinées aux stocks.

■ Choix des espèces à planter et potentiels de production

La différence de comportement des espèces fourragères vis-à-vis de la contrainte en eau est l'un des éléments à prendre en compte au moment de l'implantation d'une prairie. Des expérimentations, réalisées par l'ITCF dans les années 1980 sur ce thème dans le nord

et l'ouest de la France (RAPHALEN, 1985 et 1988 ; RAPHALEN et LE BRIS, 1985) permettent d'effectuer des comparaisons de production entre plusieurs espèces fourragères pendant la période estivale, du 10 juin au 30 septembre.

Le dactyle apparaît légèrement, mais régulièrement, plus productif que la fétuque élevée avec, sur l'ensemble des sites, un écart moyen de 0,5 t MS/ha (figure 1a). La différence de rendement entre ces deux espèces s'accroît lorsque la satisfaction des besoins en eau s'améliore. **Le ray-grass anglais est moins productif que la fétuque élevée** (- 1,5 t MS/ha, figure 1b). Les ray-grass d'Italie (en première année après un semis d'automne) et anglais ont le même comportement pendant la période estivale (figure 1c).

FIGURE 1 : Productions estivales comparées du dactyle, de la fétuque élevée, du ray-grass anglais et du ray-grass d'Italie (année 1) sur la période du 10 juin au 30 septembre en Picardie, Bretagne, Normandie, Pays-de-la-Loire et Poitou-Charentes (essais conduits avec et sans irrigation, fertilisation azotée gérée de façon optimale, repousses fauchées toutes les 4 semaines).

FIGURE 1 : Comparative summer productions of cocksfoot, tall fescue, perennial ryegrass and Italian ryegrass (year 1) during the period 10 June-30 September in Brittany, Normandy, Pays-de-la-Loire, Picardy and Poitou-Charentes.

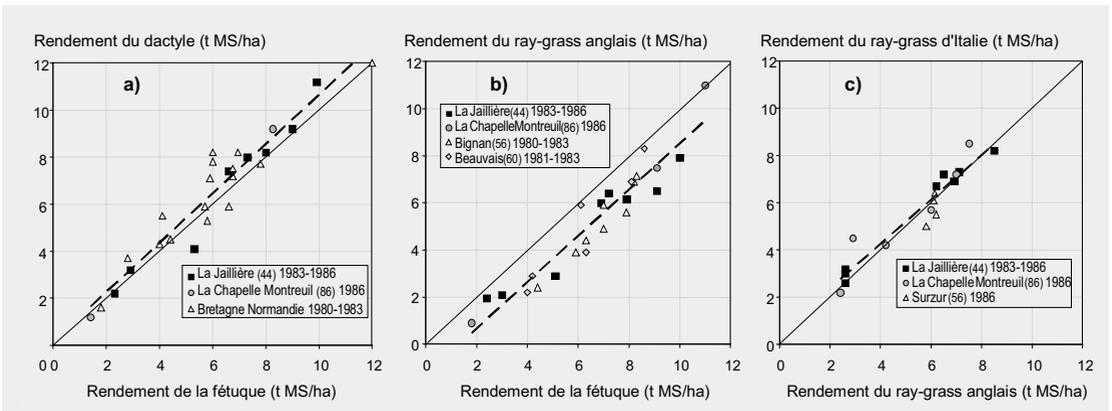
■ Réponses des espèces prairiales à l'irrigation

Le besoin de production fourragère peut justifier des irrigations d'appoint. Le tableau 1 rassemble les effets mesurés de l'irrigation sur la production annuelle de plusieurs espèces fourragères dans 5 milieux pédoclimatiques. Dans les conditions d'expérimentation retenues, les réponses à l'irrigation sont voisines, légèrement plus élevées pour le dactyle et plus faibles pour le ray-grass d'Italie.

Dans l'essai de Bignan (Morbihan, années 1979 à 1982 ; RAPHALEN et LE BRIS, 1985), les vitesses de croissance du dactyle ont été mesurées de juillet à novembre sur des repousses fauchées toutes les 4 semaines et recevant 60 unités d'azote à chaque exploitation. Les différences de vitesse de croissance observées s'expliquent en grande partie par l'alimentation en eau (bilan hydrique simplifié), même si elles dépendent aussi des périodes de pousse, qui se différencient par les durées de jour (rayonnement), les températures et les évapotranspirations potentielles.

■ Intérêt des mélanges d'espèces fourragères ou prairies "multi-espèces"

Depuis le début des années 2000, plusieurs expérimentations ont été mises en place pour comparer, dans les mêmes conditions pédoclimatiques, la production d'associations simples et de mélanges semés, encore appelés prairies multi-espèces, exploités en pâturage ou



	Fétuque élevée	Ray-grass anglais	Dactyle	Ray-grass d'Italie
Bignan (56) (années 1980 à 1983)	1,7	2,0	-	-
Beauvais (60) (années 1981 à 1983)	2,9	2,4	-	-
Moyenne	2,2	2,1		
La Jaillière (44) (années 1984 à 1986)	3,4	3,8	4,6	3,7
La Chapelle-Montreuil (86) (1986 et 1987)	6,2	4,7	6,2	3,9
Surzur (56) (1986 et 1987)	5,0	5,3	4,4	4,5
Moyenne	4,7	4,5	5,0	4,0

en fauche (PELLETIER *et al.*, 2002a et b ; PELLETIER, 2003 ; COUTARD, 2005 et 2007 ; CHALONY, 2006). La question de l'intérêt de ces mélanges en conditions de stress hydrique marqué est également posée, au vu des sécheresses récurrentes depuis 2003 (SURAUULT *et al.*, 2007).

Trois expérimentations, dont deux situées dans les Pays-de-la-Loire en situation séchante l'été et la troisième au sud de la région Centre en situation moins séchante, ont porté chacune sur 6 modalités de prairies d'associations ou multi-espèces destinées à la pâture, l'association ray-grass anglais - trèfle blanc (RGA+TB) étant présente dans les trois sites. Nous ne retiendrons que 3 à 4 prairies testées selon le lieu parmi les 6 modalités ; leurs compositions ainsi que les conditions d'expérimentation sont décrites dans le tableau 2.

Les résultats obtenus sur les 3 sites durant 4 années d'étude montrent que, quel que soit le site, **la production annuelle des prairies multi-espèces** (de 5,9 à 8,9 t MS/ha en moyenne pour les 2 prairies multi-espèces) **est supérieure à celle de l'association RGA+TB** (de 4,2 à 8,2 t MS/ha ; figure 2). L'écart moyen de production est plus élevé dans les 2 sites des Pays-de-la-Loire, avec +40% à Thorigné d'Anjou et +22% à La Jaillière. L'écart est seulement de +10% à Jeu-les-Bois, dans un contexte moins séchant en été. **En conditions de sécheresse estivale marquée, l'écart de production en faveur des prairies multi-espèces est encore plus important** comparativement au RGA+TB avec +81% en 2004 à Thorigné d'Anjou, +28% en 2005 à La Jaillière et +15% en 2003 à Jeu-les-Bois au cours de l'année la plus sèche de chaque site.

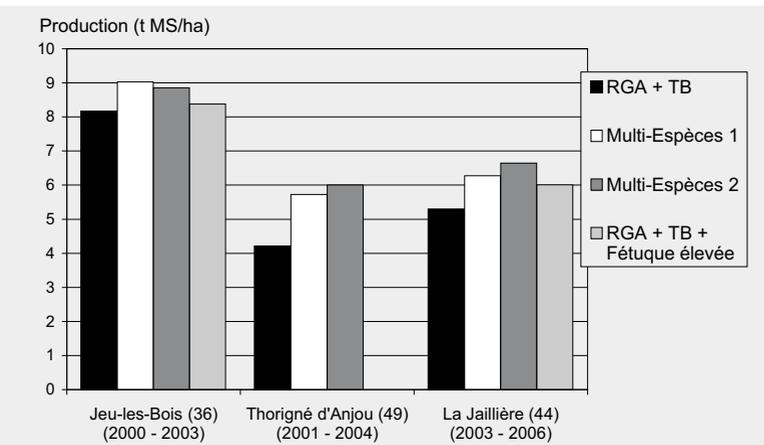


TABLEAU 1 : Gains de production annuelle (t MS/ha) obtenus par l'irrigation pour 4 espèces fourragères dans différents lieux et sous différents régimes hydriques (réserve utile maintenue entre 80 et 95% de la capacité au champ ; RAPHALEN, 1988, document interne).

TABLE 1 : *Increases in annual production (t DM/ha) due to the irrigation of 4 forage crops in various locations and under various water regimes* (RAPHALEN, 1988, unpublished).

FIGURE 2 : Productions annuelles comparées de l'association ray-grass anglais - trèfle blanc (RGA+TB) et de prairies multi-espèces pâturées (PELLETIER *et al.*, 2002a ; PELLETIER, 2003 ; COUTARD, 2005, 2007 ; CHALONY, 2006).

FIGURE 2 : *Comparative yearly productions of a Perennial ryegrass - White clover association (RGA-TB) and of multi-specific leys subjected to grazing* (PELLETIER *et al.*, 2002a ; PELLETIER, 2003 ; COUTARD, 2005, 2007 ; CHALONY, 2006).

Site	Jeu-les-Bois (36)	Thorigné d'Anjou (49)	La Jaillière (44)
Années d'essai	2000 à 2003	2001 à 2004	2003 à 2006
Pluviométrie (mm/an)	780	720	640
dont du 1/04 au 30/06	220	115	120
dont du 1/06 au 31/08	200	160	120
Mode d'agriculture	Agriculture biologique	Agriculture biologique	Agriculture conventionnelle
pH du sol	6 à 6,5	5,5 à 6	6 à 6,5
Type d'expérimentation	Moyennes parcelles pâturées, sans choix possible par les animaux	Bandes semées dans une parcelle pâturée, avec choix possible par les animaux	Moyennes parcelles pâturées, sans choix possible par les animaux
Composition des prairies			
RGA + TB*	RGA [4n, T] <i>Pomerol</i> (25) TB <i>Aran</i> (4)	RGA [2n, TT] <i>Ohio</i> (20) TB <i>Demand</i> (3)	RGA [2n, TT] <i>Ohio</i> (20) TB <i>Alice</i> (2) + <i>Merwi</i> (2)
RGA + TB + Fétuque élevée*	RGA [4n, T] <i>Pomerol</i> (12) Fét. Élev. [1/2 T] <i>Madra</i> (12) TB <i>Aran</i> (4)	-	RGA [2n, TT] <i>Ohio</i> (8) Fét. Élev. [T] <i>Bariane</i> (12) TB <i>Alice</i> (2) + <i>Merwi</i> (2)
Multi-Espèces 1*	RGA [4n, T] <i>Pomerol</i> (8) RGA [2n, T] <i>Sydney</i> (6) Dactyle [T] <i>Athos</i> (3) Fét. Élev. [1/2 T] <i>Madra</i> (3) TB <i>Aran</i> (4) Minette <i>Virgo Pajberg</i> (4)	RGA [2n, 1/2 T] <i>Burton</i> (7,5) Fét. Élev. [T] <i>Bariane</i> (9,5) Pâturin des prés <i>Oxford</i> (3) TB <i>Demand</i> (3) T. Hybride <i>Dawn</i> (3) Lotier <i>Léo</i> (3)	RGA [2n, TT] <i>Ohio</i> (8) Fét. Élev. [T] <i>Bariane</i> (12) Fléole des prés <i>Comtal</i> (5) TB <i>Alice</i> (1,5) + <i>Merwi</i> (1,5) T. Hybride <i>Ermo</i> (3) Lotier <i>Lotanova</i> (3)
Multi-Espèces 2*	RGA [4n, T] <i>Pomerol</i> (6) Dactyle [T] <i>Athos</i> (8) Fét. Élev. [1/2 T] <i>Madra</i> (6) TB <i>Milo 2/3</i> + <i>Aran 1/3</i> (4) Lotier <i>Léo</i> (2) Minette <i>Virgo Pajberg</i> (2) T. Violet [4n] <i>Tedi</i> (1)	RGA [2n, TT] <i>Ohio</i> (7,5) Fét. Élev. [T] <i>Bariane</i> (9,5) RGH [2n, Int] <i>Taldor</i> (3) TB <i>Demand</i> (2) T. Hybride <i>Dawn</i> (2) Lotier <i>Léo</i> (2) T. Violet [2n] <i>Séгур</i> (3)	RGA 2n Int <i>Abermont</i> (8) Fét. Élev. [T] <i>Bariane</i> (12) Pâturin des prés <i>Oxford</i> (5) TB <i>Alice</i> (1,5) + <i>Merwi</i> (1,5) T. Hybride <i>Ermo</i> (3) Lotier <i>Lotanova</i> (3)

* Composition précisant : espèce (RGA : ray-grass anglais, Fét. Élev. : fétuque élevée, TB : trèfle blanc), [ploïdie, précocité d'épiaison (Int : intermédiaire, 1/2T : 1/2 tardif, T : tardif, TT : très tardif)], variété (dose de semis, kg/ha)

TABLEAU 2 : **Composition des prairies d'associations et multi-espèces pour la pâture et conditions d'expérimentation** (ARVALIS - Institut du végétal, SUACI des Bordes, CA Maine-et-Loire).

TABLE 2 : **Composition of the leys sown with associations and mixtures of species used for grazing, and experimental conditions** (ARVALIS - Institut du végétal, SUACI des Bordes, CA Maine-et-Loire).

Le mélange RGA+Fétuque élevée+TB, avec une proportion significative de fétuque (12 kg/ha au semis), est moins productif que les 2 prairies multi-espèces testées à Jeu-les-Bois et à La Jaillière (figure 2). Sa production annuelle de matière sèche est légèrement supérieure à celle du RGA+TB, avec un écart positif de 14% en moyenne sur 4 ans à La Jaillière et de 3% à Jeu-les-Bois.

Les études se poursuivent en grandes parcelles depuis 2004 à La Jaillière, en se centrant notamment sur la productivité et la résistance aux stress climatiques des deux types de prairies. **Deux systèmes fourragers en production de viande bovine** sont comparés, avec des vaches allaitantes limousines et leurs veaux, l'un pâturant le RGA+TB, l'autre la prairie Multi-espèces 1. L'analyse des performances animales au pâturage (croissance des veaux sous la mère, reprise de poids des vaches) et des stocks récoltés dans chaque système devraient apporter des réponses sur l'intérêt des prairies multi-espèces en termes de robustesse aux aléas climatiques pour les systèmes herbagers, fréquemment rencontrés en production de viande bovine. A l'issue des deux premières années de résultats, 2004 et 2005, plutôt défavorables à la pousse de l'herbe en raison du déficit hydrique et des températures élevées en été, cet essai confirme que la production annuelle de la prairie Multi-espèces 1 est supérieure à celle du RGA+TB d'environ 1,1 t MS/ha soit +15%, avec 8,1 t MS/ha contre 7,0 t MS/ha (CHALONY, 2006).

Concernant l'évolution de la production et de la composition floristique de ces prairies au cours du temps sous contraintes hydriques fortes ou suite à des sécheresses répétées, les observations visuelles sur d'autres prairies multi-espèces exploitées par le troupeau limousin conduit en agriculture biologique à Jeu-les-Bois ont montré que le dactyle était prédominant au printemps 2004, suite à la sécheresse et aux fortes chaleurs de l'été 2003. Il serait important d'approfondir le comportement et la robustesse des prairies multi-espèces face aux aléas climatiques, dont la sécheresse. L'évolution de leur production et de leur composition floristique et ses conséquences sur la valeur alimentaire pourraient être mieux cernées grâce à un réseau d'essais plurilocal et pluriannuel.

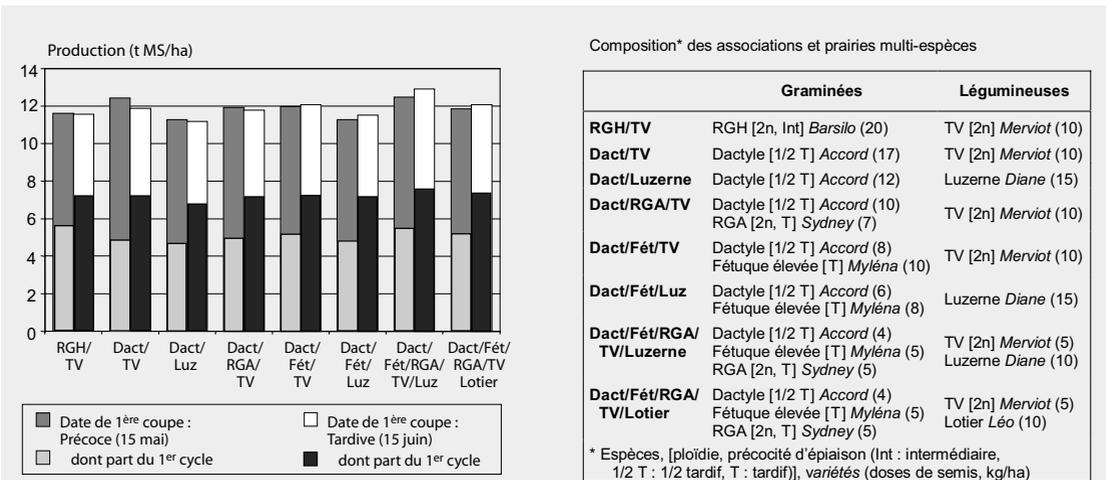
■ Intérêt de la fauche précoce pour sécuriser les repousses estivales

En situation séchante, les repousses estivales des prairies sont d'autant plus compromises que la date de 1^{re} coupe est tardive. L'influence de la date de 1^{re} coupe sur la production de matière sèche et sa répartition sur l'année a été mesurée pendant 3 ans (2000 à 2002) à Jeu-les-Bois sur des prairies fauchées : une date de 1^{re} coupe précoce au 15 mai a été comparée à une date tardive au 15 juin sur 12 modalités d'associations et de prairies multi-espèces conduites en agriculture biologique, dont 8 sont présentées ici (la luzerne a été inoculée au semis).

Les résultats obtenus en moyenne sur 3 ans montrent que, quel que soit le type de prairie et sa composition, la production annuelle de matière sèche n'est pas affectée par la date de 1^{re} coupe, qu'elle soit précoce ou tardive (figure 3). La répartition de cette production indique, de plus, que la part de la production au 1^{er} cycle et celle des repousses d'été-automne sont inversées entre les 2 dates de coupe. La production des repousses après une 1^{re} fauche précoce est en moyenne supérieure de 2,1 t MS/ha par rapport à celle obtenue après une 1^{re} fauche tardive. La fauche précoce ayant pour conséquence une amélioration de la teneur en matières azotées

FIGURE 3 : Production annuelle selon la date de 1^{re} coupe pour des associations et des prairies multi-espèces fauchées à Jeu-les-Bois (PELLETIER et al., 2002b ; PELLETIER, 2003).

FIGURE 3 : Yearly DM production of leys sown with associations or a mixture of species mown in Jeu-les-Bois, according to the date of first cut (PELLETIER et al., 2002b ; PELLETIER, 2003).



totales (MAT) de l'herbe produite sur l'année, de +0,7% MS en moyenne (14,2% MS en fauche précoce contre 13,5% MS en fauche tardive pour les 8 mélanges testés), la fauche précoce à la mi-mai est à privilégier par rapport à la fauche tardive à la mi-juin.

Parmi les mélanges testés, **la prairie multi-espèces associant dactyle, fétuque élevée, ray-grass anglais, luzerne et trèfle violet** produit 7,0 t MS/ha en repousses après une fauche précoce, juste derrière l'association dactyle - trèfle violet qui produit 7,6 t MS/ha. C'est également ce mélange qui produit le plus en repousses après une fauche tardive, avec 5,3 t MS/ha. De plus, il est **apprécié pour sa souplesse de conduite et sa productivité élevée, tant en biomasse qu'en MAT à l'hectare**, avec en moyenne sur 3 ans 1 840 kg de MAT/ha/an. C'est d'ailleurs pourquoi ce mélange est régulièrement implanté depuis 2004 pour la fauche à Jeu-les-Bois dans l'étude conduite sur l'autonomie alimentaire d'un système biologique limousin naisseur-engraisseur.

En matière de gestion du pâturage, **l'ajustement de la conduite des prairies pâturées** à la pousse de l'herbe au printemps est un enjeu important pour sécuriser le pâturage des animaux en début d'été (juillet). En effet, **la fauche précoce à la mi-mai** des parcelles initialement prévues pour le pâturage, mais sur lesquelles la quantité d'herbe élevée risque d'engendrer un gaspillage - et qui sont alors ensilées ou enrubannées -, **permet d'assurer la disponibilité de repousses feuillues supplémentaires** dès la fin juin - début juillet et ainsi de prolonger le pâturage. Il est bien évident que, si la sécheresse estivale est importante, l'interruption du pâturage sera inévitable, mais retardée de 3 à 4 semaines par rapport à l'absence d'ajustement des surfaces pâturées.

Le développement de préconisations de "Jours d'Avance de Pâturage" par période clé au printemps dans le cadre de la méthode Herbo-LIS® d'aide à la gestion du pâturage (HARDY *et al.*, 2001 ; ARVALIS - Institut du végétal, 2005), permet de sécuriser le pâturage tant en système laitier qu'en système bovin viande et de faciliter la prise de décision de l'agriculteur. Dans les systèmes allaitants herbagers du Massif central, la fauche précoce au 15-20 mai des parcelles risquant d'être gaspillées par les animaux, gérée de manière plus souple par l'enrubannage que par l'ensilage d'herbe, apporte une sécurisation importante du système fourrager, en plus de la **récolte supplémentaire de stocks fourragers** de bonne qualité qu'elle permet (PELLETIER *et al.*, 2001 ; PAULIN *et al.*, 2001).

2. Sécurisation des stocks de maïs fourrage

■ Estimer les potentiels des milieux en maïs fourrage

Dans les systèmes fourragers mixtes, la connaissance des potentialités comparées de production de l'herbe et du maïs fourrage des parcelles de l'exploitation et des besoins du troupeau constitue une étape importante pour déterminer les surfaces à affecter aux deux types de fourrage et le chargement en animaux à l'hectare. Les

rendements historiques et l'état des stocks permettent aux éleveurs de calibrer leurs soles aux besoins en tenant compte des aléas. Toutefois, dans les régions à sécheresses estivales récurrentes comme le sud de la Bretagne et les Pays-de-la-Loire, les éleveurs ont de plus en plus tendance à se caler sur les rendements minimaux afin de sécuriser leurs approvisionnements.

Les nombreuses références acquises dans les années 1990 ont permis d'établir des fourchettes de potentiels de production du maïs (déciles et médianes) par petite région et type de réserve hydrique des sols (AGPM *et al.*, 1994, 1996). Elles montrent **l'intérêt de la productivité du maïs fourrage en années normales, mais aussi en années difficiles**, avec des tonnages généralement supérieurs à 8 t MS/ha sans irrigation dans les sols à plus de 80 mm de réserve utile, et à 12 t MS/ha dans les parcelles à bonne réserve utile ou bénéficiant d'une irrigation d'appoint les années sèches.

■ Adaptation en cours de campagne par la double destination de la sole maïs

La récolte tardive du maïs soit en grain, soit en ensilage, permet des ajustements de stocks **après la période estivale** de plus grand risque de sécheresse, **ce qui évite de sécuriser les systèmes par une surestimation assez fréquente des surfaces** affectées à la production fourragère. Cette technique d'adaptation opérationnelle concerne près de 100 000 ha annuels dans les zones d'élevage. En 2003, ce volant de sécurité avec transfert de maïs grain en ensilage a atteint près de 200 000 ha. Cette double finalité de la sole de maïs apporte de la souplesse au système en cas d'aléas climatiques.

■ Intérêt de l'irrigation d'appoint

Dans les situations de sécheresses récurrentes, des irrigations d'appoint régularisent les rendements. Les résultats obtenus par ARVALIS - Institut du végétal sur la station de La Jaillière au cours des 16 dernières années montrent qu'une irrigation d'appoint moyenne de 90 mm (comprise entre 55 et 120 mm selon les années et les parcelles) **stabilise les rendements entre 12 et 16 t MS/ha** sur des sols de réserve utile de l'ordre de 60 à 80 mm alors qu'en sec les rendements varient de 6,5 à 13 t MS/ha (figure 4). L'irrigation apportée avant que

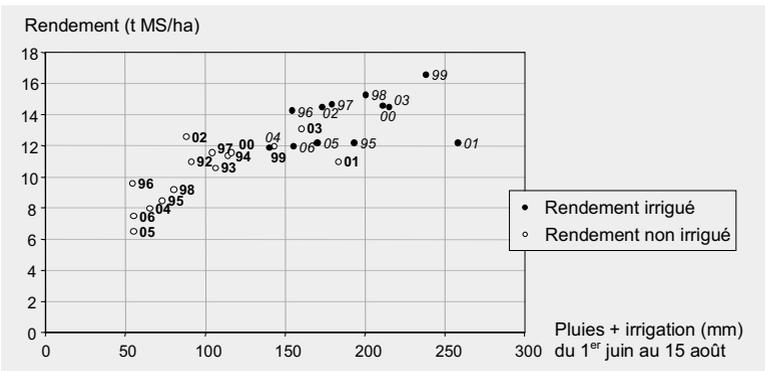


FIGURE 4 : Intérêt d'une irrigation d'appoint de 90 mm en situation de déficit hydrique. Comparaison de rendements en parcelles irriguées et non irriguées à La Jaillière (44) sur la période de 1992 à 2006 (pour chaque point, le chiffre correspond à l'année ; ARVALIS - Institut du végétal).

FIGURE 4 : Interest of an extra irrigation of 90 mm during a water shortage. Comparative yields of irrigated and dry plots at La Jaillière over the period 1992-2006 (each point corresponds to a year; ARVALIS - Institut du végétal).

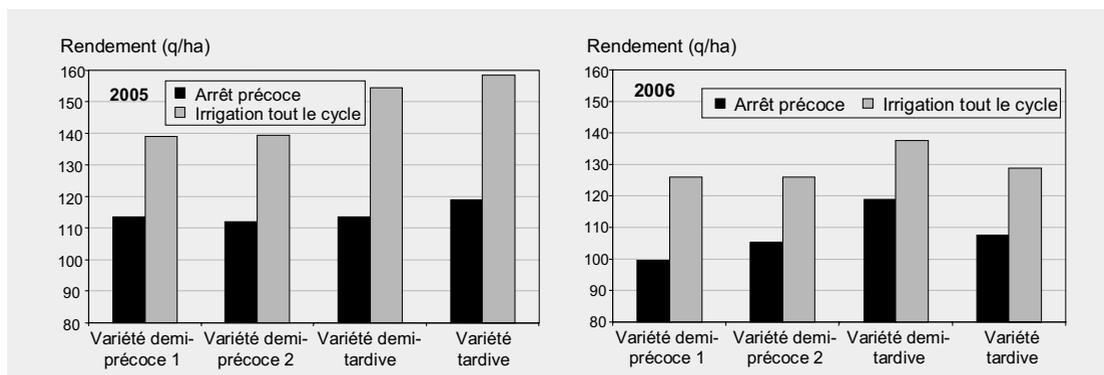


FIGURE 5 : Effet de la date d'arrêt d'irrigation et de l'année sur le rendement en grain de variétés de maïs appartenant à 3 groupes différents de précocité. Synthèse de 4 essais annuels en Poitou-Charentes (ARVALIS - Institut du végétal).

FIGURE 5 : Effect of the date of end of irrigation and of the year on the grain yield of maize cultivars belonging to 3 different groups of earliness. Synthesis of 4 yearly trials in Poitou-Charentes (ARVALIS - Institut du végétal).

les réserves de survie des sols ne soient entamées, en 3 ou 4 arrosages au cours de la période qui encadre la floraison femelle et en début de croissance des grains, est **bien valorisée** comme le montre la figure 4, avec des gains de production significatifs. L'irrigation d'appoint en maïs fourrage, très utilisée par exemple dans le bocage vendéen, est probablement la technique la plus efficace.

■ Esquiver les périodes de déficit hydrique

Dans les régions à risque fréquent de déficit hydrique estival, la stratégie de décaler la phase de croissance la plus active, et qui est aussi celle de définition du nombre de grains, vers des périodes moins déficitaires en eau peut être une solution.

Avancer la date de semis répond à cet objectif. Cette stratégie s'inscrit dans un processus continu d'avancement progressif des dates de semis du maïs depuis plus de 20 ans, avec près de 20 jours gagnés. Néanmoins, outre quelques difficultés de mise en œuvre dans les sols à ressuyage lent, cette technique présente des limites dans les zones septentrionales (semis précoces actuels dès le 10-20 avril). En allongeant la durée de la phase juvénile, les températures froides du printemps exposent les plantes plus longtemps aux ravageurs de début de cycle. La maîtrise des adventices peut devenir aussi plus complexe. Les températures minimales basses au moment de la différenciation des épis sont également à craindre.

Le décalage des périodes sensibles du maïs vis-à-vis du manque d'eau passe aussi par le choix de la **durée de cycle des variétés** (LORGEOU *et al.*, 2006). Des essais portant sur le choix de la précocité des variétés de maïs grain ont été mis en place ces deux dernières années, notamment en Poitou-Charentes, une région concernée par des restrictions et des dates précoces d'arrêt d'arrosage. Les résultats (figure 5) montrent qu'en cas de dates d'arrêt d'irrigation anticipé par rapport aux besoins et de déficit de pluviométrie en août (le cas de 2005), le rendement en maïs grain des variétés plus précoces est proportionnellement moins affecté que celui des variétés plus tardives. En revanche, les résultats de 2006 mettent en évidence qu'en cas de déficit hydrique de juillet, de retour des pluies à la fin du mois de juillet et en août, et de sommes de températures très généreuses en automne, les variétés tardives ont mieux esquivé le déficit hydrique

précoce. En contexte irrigué, les essais de pilotage optimisé de l'irrigation réalisés sous les abris mobiles du Magneraud (17) sur une variété demi-précoce et une variété tardive confirment que le choix d'une variété plus précoce (de deux groupes) permet d'économiser un tour d'irrigation de 30 à 40 mm d'eau. Ces résultats obtenus en maïs grain, en situation de gestion restrictive de l'irrigation, sont extrapolables à la fraction "grain" du maïs fourrage qui correspond en moyenne à 40% de la biomasse. Ils confirment la nécessité d'**ajuster les stratégies en fonction des scénarios et intensités de déficits hydriques les plus fréquents.**

La comparaison des rendements en ensilage de variétés très précoces avec des précoces (écart de dates de floraison de 50 à 60 degrés-jours) montre qu'en situations à moindre rendement, essentiellement du fait de déficits hydriques, une variété plus précoce atteint des rendements comparables à ceux d'une plus tardive d'un groupe de précocité. Compte tenu de son moindre potentiel de rendement, elle se comporte mieux en valeur relative. Une variété adaptée en durée de cycle peut certes être seulement équivalente à une plus précoce dans les situations stressantes ; en revanche, elle s'extériorise pleinement si les conditions climatiques de l'année sont plus favorables (figure 6).

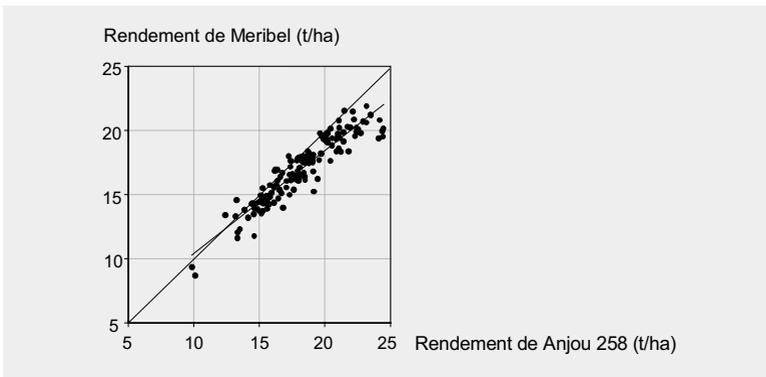


FIGURE 6 : **Comparaison des rendements en maïs fourrage** en réseau de Post-Inscription de ARVALIS - Institut du végétal et en expérimentation CTPS de variétés différenciées en précocité (très précoce Meribel et précoce Anjou 258).

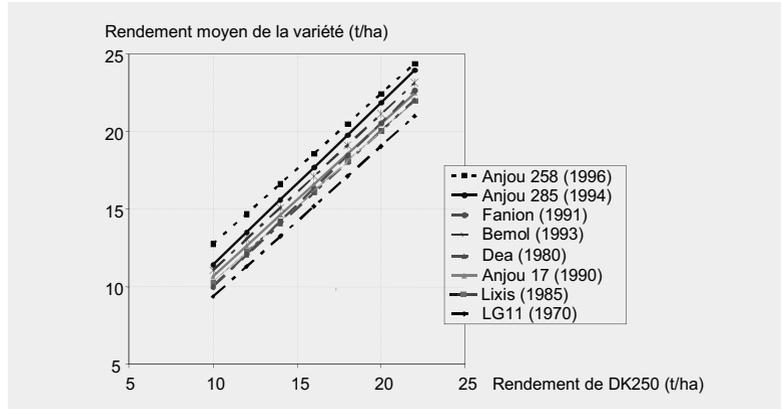
FIGURE 6 : **Comparative yields of forage maize cultivars** : Post-registration trials of cultivars differing in their earliness (very early Meribel and early Anjou 258 ; ARVALIS - Institut du végétal and CTPS).

■ Progrès génétiques et tolérance à la sécheresse

Le choix des variétés intervient sur les rendements en situation de sécheresse. Le progrès réalisé au cours des 30 dernières années est significatif en la matière (LORGEOU et BARRIERE, 1996). Il a été montré que les gains de rendement sont proportionnellement plus élevés dans les potentiels à 10 t MS/ha que dans les potentiels les plus élevés (figure 7). DERIEUX *et al.* (1987) ont montré que, outre des progrès moyens estimés à 0,8 q/ha/an sur la période 1950 à 1985 et qui se sont maintenus à un même rythme soutenu de 1%/ha/an (essais de Post-Inscription) depuis 1950, **l'amélioration du maïs grain a surtout porté sur la régularité des rendements et sur le comportement des variétés en conditions de facteurs limitants**, plus que sur le rendement en conditions optimales.

FIGURE 7 : Progrès génétique constaté pour le rendement en maïs fourrage au cours des 30 dernières années : comparaison des rendements de plusieurs générations de variétés précoces dans différents potentiels de rendements (réseau de Post-Inscription AGPM-ITCF et SEPRONA ; droites de régression calculées entre témoins successifs).

FIGURE 7 : Genetical progress in the yields of forage maize during the past thirty years : comparative yields of several generations of early cultivars in different classes of yield potentials (Post-registration trials by AGPM-ITCF and SEPRONA ; regression lines calculated between successive controls).



Les améliorations de la tolérance au déficit hydrique se poursuivent ; les évaluations des variétés en situation de restriction en eau s'intensifient. La sélection sur ce critère reste un enjeu stratégique en France et l'est aussi dans de nombreuses régions du monde. Avec l'évolution des biotechnologies, l'identification et la valorisation de la diversité génétique sont plus accessibles. Les études de génétique d'association devraient participer à l'amélioration de la production des plantes sous contraintes hydriques.

■ Implantation de la culture, ajustement des densités de culture

Les décisions techniques prises lors de la mise en place de la culture ont aussi une incidence sur les résultats et comportements aux stress hydriques.

La préservation de la **profondeur de sol** apte à être explorée par les racines est importante dans les situations à risque de sécheresse. De mauvaises conditions de récolte du précédent, de labour et de reprise au printemps créent des tassements de sol et des semelles difficiles à exploiter par les racines, réduisant ainsi la réserve utilisable en eau des sols.

La présence d'un **précédent récolté peu de temps avant le semis du maïs**, dans les situations de succession de ray-grass d'Italie et maïs, présente des inconvénients en matière d'épuisement de la réserve hydrique du sol et de qualité de l'implantation du maïs.

Les **densités de culture** sont aussi à optimiser en situations de déficit hydrique. Les peuplements optimaux correspondent aux densités auxquelles le bilan entre les besoins des plantes et l'offre du milieu en eau s'équilibre, ce qui conduit à des préconisations différenciées par potentiel de rendement, avec des recommandations de diminutions pouvant atteindre 20 000 plantes/ha entre des parcelles bien pourvues en eau et celles à risques de stress hydrique.

Discussion et conclusion

Comme le montrent les résultats précédents, toutes les espèces actuellement utilisées comme fourrage subissent des pertes de rendement sous l'effet de déficits hydriques. Leurs différences d'aptitude à valoriser l'eau ne suffisent pas toujours à proposer des alternatives de substitution d'espèces à la mesure de l'intensité et de la variabilité des épisodes de sécheresse. Les risques de pénurie ou de constitution de stocks trop importants peuvent néanmoins être minimisés par plusieurs types d'ajustements complémentaires portant sur la gestion des surfaces en prairies et en maïs, avec :

- des stratégies :

- de concordances des périodes de plus forts besoins en fourrage du troupeau (post-vêlage) avec les pics de production de l'herbe, notamment dans les systèmes herbagers. Cette solution doit bien entendu être compatible avec les calendriers des débouchés et, plus particulièrement, les demandes des entreprises de transformation des produits laitiers ;

- de répartition des risques de moindres rendements et des possibilités de constitution de stocks pour traverser les épisodes de pénurie, par le choix judicieux d'espèces fourragères, de maïs et de céréales dont la complémentarité des périodes de croissance assure une répartition de production au cours du temps (printemps, été et automne) ;

- de culture d'espèces productives, valorisant bien l'eau, de bonne valeur alimentaire et qui présentent de surcroît une grande souplesse de récolte sous forme de foin ou d'ensilage. Avec sa récolte d'automne, la culture du maïs, bien valorisée en fourrage et en grain, apporte de la robustesse aux systèmes fourragers, ce qui explique d'ailleurs son développement. Les études en cours, notamment à l'INRA de Lusignan, sur la production et la valeur alimentaire de l'ensilage de sorgho grain et sucrier en situations de déficit en eau, devraient permettre d'apprécier l'intérêt de ces cultures d'été dans les régions à sécheresses intenses et fréquentes ;

- de recours à des prairies multi-espèces. Plus productives en conditions difficiles que des cultures pures ou des associations, à condition que leurs compositions soient bien définies en fonction du type de sol et du mode d'exploitation, ces mélanges prairiaux contribuent à sécuriser les systèmes fourragers des zones herbagères ;

- des tactiques de conduite des cultures qui permettent quelques adaptations aux événements de sécheresse :

- en situations à risque récurrent de déficit hydrique, le choix de l'assolement, avec par exemple du dactyle ou des prairies multi-espèces et une culture d'été comme le maïs, se justifie du fait de leur bonne efficacité de l'eau. L'irrigation d'appoint permet de sécuriser efficacement les niveaux de production car elle est bien valorisée par ces cultures. Les choix des dates d'intervention (travail du sol, semis, récolte), des variétés (précocité et génotype), des densités de culture participent à l'optimisation de la production ;

- le recours à des techniques d'esquive des périodes de plus fort déficit en eau présente un intérêt. La culture de variétés de maïs et des semis plus précoces permettent, dans les situations à faibles réserves en eau du sol et de déficits hydriques récurrents à partir de la fin du mois de juillet, d'avancer les phases de plus forte croissance vers des périodes moins pénalisantes. La fauche précoce des prairies, tant des parcelles excédentaires du pâturage de printemps que d'une part plus ou moins importante des parcelles fauchées, à raisonner selon le niveau de chargement de la surface en herbe, permet d'avancer la repousse de l'herbe avant les périodes de sécheresse précoce de fin de printemps-début d'été ;

- **des ajustements opérationnels en cours de campagne** avec :

- des bilans fourragers périodiques (avril, juin et fin août) permettant des prises de décision d'assolements et de récoltes des cultures annuelles. La rotation ray-grass d'Italie - maïs s'inscrit dans cette démarche, lorsque les sols et la pluviométrie hivernale sont favorables. L'ensilage de céréales immatures en juin peut être pratiqué pour pallier les situations de sécheresse précoce même si, comme cela fut le cas en 2006, la faisabilité présente des limites du fait d'une fenêtre de période de récolte étroite. La période optimale des stades de récolte de l'ensilage est courte et difficile à respecter en années chaudes où les stades s'enchaînent rapidement ou lors d'épisodes pluvieux de juin. Par ailleurs, lorsque la pousse de l'herbe a été affectée par la sécheresse pour les espèces fourragères pérennes, le rendement des céréales a lui aussi été affecté. Le bilan fourrager de fin août, après la période annuelle de production de toutes les espèces, permet, dans les systèmes mixtes intégrant du maïs, de statuer sur les quantités à stocker en fonction de l'état et de l'anticipation des stocks ;

- des possibilités de valorisation des cultures semées en dérobée et des jachères, lorsque les dates d'autorisation sont adéquates.

Intervention présentée au Journées de l'A.F.P.F.,
"Productions fourragères et adaptations à la sécheresse",
les 27-28 mars 2007.

Remerciements : Les auteurs remercient vivement leurs collègues d'ARVALIS - Institut du végétal, A. Bouthier, B. Carpentier, J.M. Deumier et J.P. Renoux, pour leur contribution de relecture.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AGPM et Chambres d'Agriculture des Pays-de-la-Loire (1994) : "Analyse et estimation des rendements dans les régions. Potentialités du maïs en Pays-de-la-Loire", *Perspectives Agricoles*, n°194, septembre 1994, 96-108.
- AGPM, Chambres d'Agriculture de Bretagne, ITCF (1996) : "Le maïs ensilage en Bretagne, Etude des potentialités", *Perspectives Agricoles*, n°215, juillet-août 1996, 74-88.
- ARVALIS - Institut du végétal (2005) : *Gérez le pâturage avec la méthode HerbOLIS®*, document promotionnel, 4p.

- CHALONY L. (2006) : *Production et valorisation au pâturage des prairies multi-espèces*, mémoire de fin d'études de l'Ecole Supérieure d'Agriculture d'Angers et ARVALIS - Institut du végétal, septembre 2006, 96 p.
- COUTARD J.P. (2005) : "Privilégier les prairies à flore variée", dossier *Du sol à l'animal en Agriculture Biologique*, juin 2005, 4p.
- COUTARD J.P. (2007) : "Privilégier les prairies à flore variée", *Actes Journées AFFF Productions fourragères et Adaptations à la Sécheresse*, 27-28 mars 2007, 198-199.
- DERIEUX M., DARRIGRAND M., GALLAIS A., BARRIÈRE Y., BLOC D., MONTALANT Y. (1987) : "Estimation du progrès génétique réalisé chez le maïs grain en France entre 1950 et 1985", *Agronomie*, 7 (1) 1-11.
- HARDY A., LE BRIS X., PELLETIER P. (2001) : "Herb'ITCF® : une méthode d'aide à la gestion du pâturage", *Fourrages*, 167, 399-415.
- LEMAIRE G., PFLIMLIN A. (2007) : "Les sécheresses passées et à venir : quels impacts et quelles adaptations pour les systèmes fourragers ?", *Fourrages*, 190 (cet ouvrage).
- LORGEOU J., BARRIÈRE Y. (1996) : "Le progrès génétique en maïs fourrage", *Recueil des communications du colloque Maïs ensilage de Nantes*, AGPM, 17-18 septembre 1996, 319-334.
- LORGEOU J., BOUTHIER A., RENOUX J.P., CLOUTÉ G. (2006) : "Stratégie d'évitement en maïs grain dans le Centre Ouest. Adapter le cycle aux contraintes hydriques par la précocité", *Perspectives Agricoles*, n°326, mars 2006, 62-68.
- PAULIN S., PELLETIER P., VERGNE J.L. (2001) : "La méthode Herb'ITCF® appliquée au LEGTA des Vaseix", *Actes des Journées AFFF Nouveaux regards sur le pâturage*, A37.
- PELLETIER P. (2003) : "Choix des mélanges prairiaux pour des prairies pâturées ou fauchées en élevage bovin viande biologique", *Actes de la 3^e Journée Technique du Pôle Scientifique AB du Massif Central*, 32-37.
- PELLETIER P., GOURICHON H., LE GOUX P. (2001) : "Utilisation de la méthode Herb'ITCF® par deux groupes d'éleveurs en Creuse. Exemples des GDA de la Combraille et d'Auzances", *Actes Journées AFFF Nouveaux regards sur le pâturage*, A38.
- PELLETIER P., BRANDON G., FOUSSIER T. (2002a) : "Composition du mélange prairial pour des prairies pâturées en élevage bovin viande biologique : premiers résultats", *Renc. Rech. Ruminants*, 9, 232.
- PELLETIER P., BRANDON G., FOUSSIER T. (2002b) : "Prairies fauchées en élevage bovin viande biologique : composition du mélange prairial et influence de la date de première coupe. Premiers résultats", *Renc. Rech. Ruminants*, 9, 233.
- PFLIMLIN A. (1998) : "Risques climatiques et sécurités fourragères selon les régions d'élevage. Cas de la sécheresse", *Fourrages*, 156, 541-555.
- RAPHALEN J.L. (1985) : "Comparaison de la production de matière sèche de quelques espèces fourragères dans l'Ouest", *Fourrages*, 102, 29-39.
- RAPHALEN J.L. (1988) : *Irrigation des fourrages, Synthèse d'essais ITCF sur la valorisation de l'eau par les plantes fourragères 1969-1987*, document interne.
- RAPHALEN J.L., LE BRIS X. (1985) : "Production des prairies et climat", *Fourrages*, 102, 19-28.
- SURAUULT F., VERON R., HUYGHE C. (2007) : "Production fourragère de prairies mono ou plurispécifiques en année à déficit hydrique marqué (2005)", *Actes Journées AFFF Productions fourragères et Adaptations à la Sécheresse*, 27-28 mars 2007, 206-207.

SUMMARY

Adaptations to drought by adequate management practices of pastures and of maize

The possibilities of optimizing forage systems subject to water constraints differ according to the livestock-farming systems and the pedoclimatic conditions. Adaptations by cultivation and management techniques in the case of forage crops consist in the choice of complementary species with a more or less flexible possibility of use, and in operational decisions regarding the constitution of forage stores during the year as demanded by the evolution of the weather.

This paper compares the production of different forage crops, among which leys sown with associations or with a mixture of species, subject to more or less severe water constraints. The interest of an extra irrigation of grass leys or of maize is presented. A number of ways to escape water shortages during summer can be contemplated : in the case of leys, cutting at an early date will secure re-growths in early summer ; in the case of maize, adequate cultivars and earlier sowing dates will do. In mixed systems, making silage from maize grown for grain and the converse operation will help making forage stores more secure. Another lever is given by the genetic progress of the new generations of maize cultivars, with a significant yield increase in average yields. Strategic and tactical elements for the constitution of forage stores and for the operational management of pastures and maize during the year are discussed.

