



HAL
open science

Sensibilité à la sécheresse des systèmes de culture (grandes cultures, vigne et arboriculture fruitière)

Philippe P. Debaeke, Michel Bertrand, Christian C. Gary

► **To cite this version:**

Philippe P. Debaeke, Michel Bertrand, Christian C. Gary. Sensibilité à la sécheresse des systèmes de culture (grandes cultures, vigne et arboriculture fruitière). 2006. <hal-02821714>

HAL Id: hal-02821714

<https://hal.inrae.fr/hal-02821714v1>

Submitted on 6 Jun 2020

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

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



HAL Authorization

1.1.3. Sensibilité à la sécheresse des systèmes de culture (grandes cultures, vigne et arboriculture fruitière)

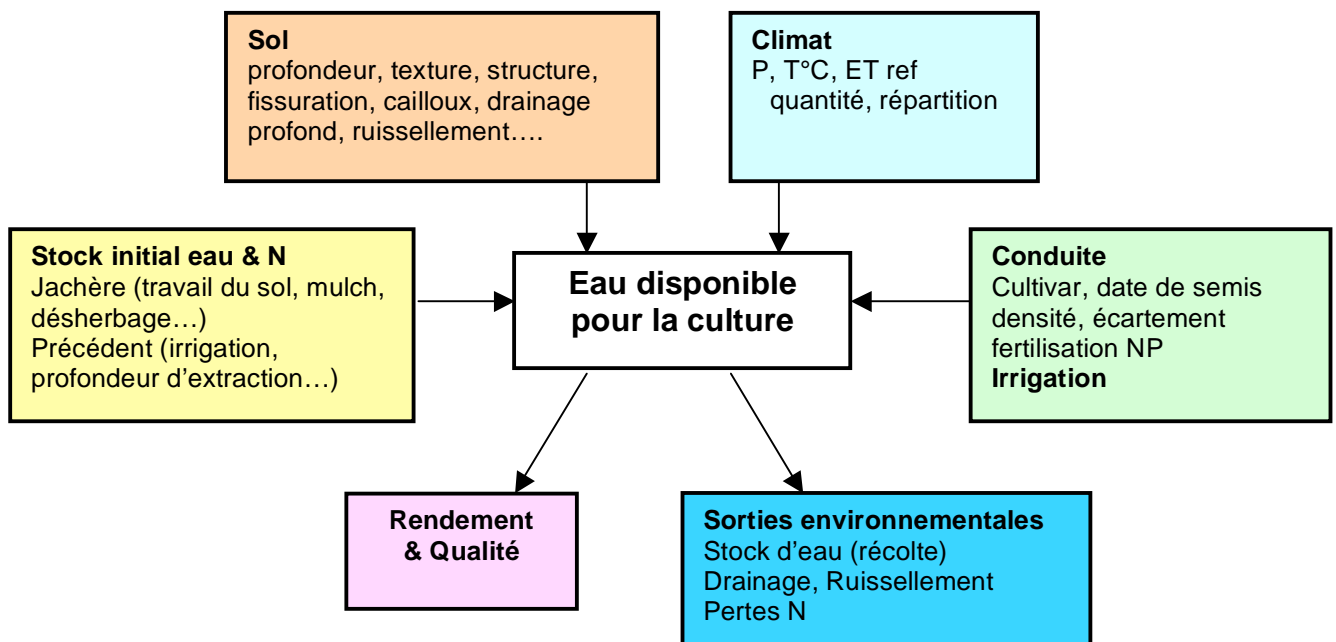
Philippe Debaeke (INRA, Toulouse), Michel Bertrand (INRA, Grignon), Christian Gary (INRA, Montpellier)

1.1.3.1. La sécheresse agricole dans le contexte français

Tout agriculteur en France qui n'a pas recours à l'irrigation est confronté au risque de sécheresse édaphique, avec plus de fréquence en conditions méridionales, sur sol superficiel et pour les cultures d'été. La sécheresse édaphique résulte en premier lieu de conditions physiques que l'on ne peut corriger (Figure 1) : défaut structurel de stockage en eau du sol (profondeur, structure, texture, pierrosité...), défaut de pluviométrie en interculture ou en période de végétation associée à une forte demande évaporative (rayonnement et températures élevés).

Figure 1. Déterminants de l'eau disponible pour la culture

La sécheresse peut être chronique ou occasionnelle ; elle peut être d'origine pédologique, climatique ou liée à la conduite de culture (semis tardifs, irrigation déficitaire...).



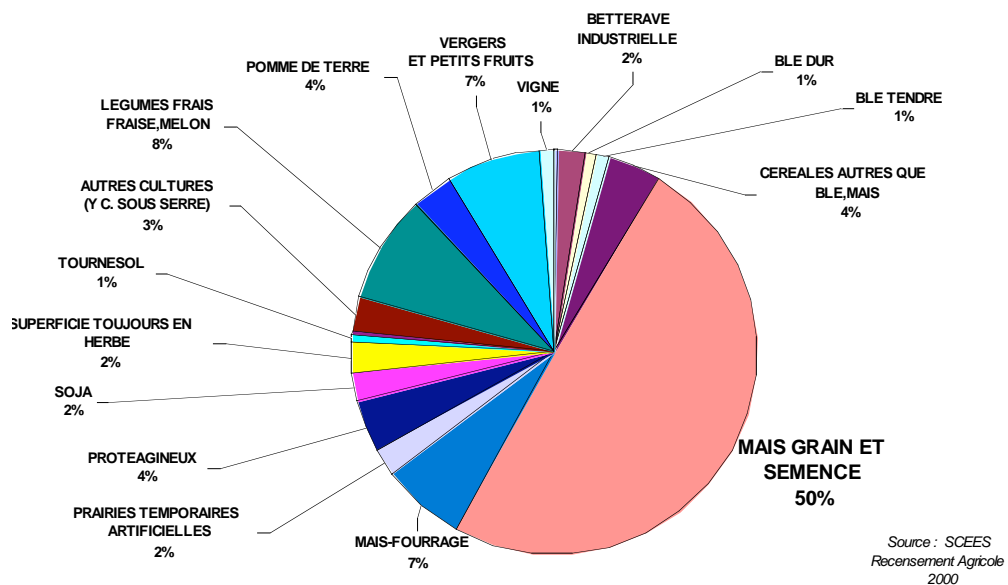
En zone méditerranéenne semi-aride, là où la plupart des références (internationales) sont produites, la variabilité de pluviométrie en interculture peut amener à l'impossibilité d'accomplir un cycle de culture de printemps si le stock est trop bas ; par ailleurs, c'est le retour des pluies à l'automne qui décide de la date d'implantation ; enfin, la distribution des pluies au cours de la saison conditionne le succès des techniques de rationnement végétatif et d'esquive (Cooper et Gregory, 1987 ; Turner, 2004). On parle ainsi de sécheresse terminale ('terminal drought') pour indiquer que c'est le manque d'eau qui clôt le cycle de la plante, avec des conséquences variables selon la précocité et l'intensité de la sécheresse. Ces conditions ne sont pas celles rencontrées par les systèmes de culture en France, bien que certaines années l'indice d'aridité Pluie/Evapotranspiration puisse positionner certaines situations françaises en régime semi-aride (1989 ou 2003 dans le Sud-Ouest, par exemple).

Dans la plupart des régions, les irrigants sont confrontés au risque de sécheresse hydrologique, avec ses conséquences sur le remplissage hivernal des retenues (barrages, lacs collinaires...) et des nappes, et sur les autorisations de pompage en nappes et rivières au cours de la saison. L'origine de la

ressource (barrage, lac ou rivière), le caractère collectif ou individuel de la gestion, l'incertitude sur le volume ou le débit disponible, la capacité d'irrigation de l'installation (mm par jour) sont autant d'éléments qui peuvent différencier au sein d'une même région la sensibilité à la sécheresse des systèmes de culture irrigués.

L'incapacité de relayer suffisamment le défaut de ressource édaphique et pluviométrique par une irrigation, tant pour des raisons de disponibilité totale que de période d'apport, introduit la notion d'irrigation déficitaire ou restrictive ; on parle plutôt d'irrigation d'appoint ou de complément pour caractériser un programme d'irrigation mettant en jeu un nombre limité d'applications en vue de compléter les ressources sol + pluie (Debaeke, 2003). L'irrigation de complément permet de stabiliser la quantité et la qualité produite, alors même qu'une production non irriguée resterait faisable et rentable (céréales à paille, sorgho...). On ne peut employer tout à fait ce terme pour l'irrigation du maïs-grain dans la plupart des contextes pédoclimatiques où cette culture est irriguée et pour certains systèmes (arboriculture fruitière, cultures légumières), qui ne pourraient exister durablement sans irrigation. Ainsi, en grande culture, l'irrigation de complément au sens strict (grandes cultures sauf maïs, soja et pomme de terre) ne concerne qu'une faible partie de la sole irriguée (20% environ de la sole irriguée en grande culture) (Figure 2). Dans certains milieux, la pomme de terre pourrait s'affranchir d'irrigation. Cependant, pour respecter le cahier des charges de l'industrie et du marché des pommes de terre de consommation (calibre et présentation des tubercules), cette culture est de plus en plus irriguée (notamment en Picardie : 46% de la surface en pomme de terre) avec des doses élevées (4 passages, 90-100 mm en Picardie) (Agreste, 2004).

Figure 2. Répartition des cultures irriguées en surface en 2000



Le cas de la vigne est particulier. Pour la production de raisin de table, on cherche à éviter le déficit hydrique comme pour la plupart des cultures fruitières. Pour la production de raisin de cuve en revanche, le déficit hydrique est utilisé comme un moyen de piloter l'élaboration du rendement et de la qualité en limitant le développement végétatif (pour favoriser la croissance des fruits et générer un microclimat moins favorable aux maladies cryptogamiques), en ajustant le niveau de rendement au cahier des charges adopté (AOC, vin de pays) et en favorisant l'accumulation de composés associés à la qualité des baies (sucres, anthocyanes...). Quand elle est pratiquée, l'irrigation est donc toujours déficitaire.

On peut caractériser de différentes manières la sécheresse perçue par l'agriculteur, avec des implications variables pour l'adaptation de ses systèmes de culture.

Un premier trait concerne le **caractère exceptionnel ou structurel (sol, climat) de la sécheresse**. On observe des sécheresses 'structurelles', prévisibles (liées au sol, au climat, à l'accès à la ressource pour

l'irrigation, aux systèmes de culture pratiqués) qui affectent régulièrement une partie du territoire et plutôt les cultures de printemps et d'été, et des sécheresses 'exceptionnelles' qui affectent toutes les cultures et la majorité du territoire national. Ces dernières ont un caractère catastrophique et nécessitent une prise en charge de type "calamités agricoles". La sécheresse structurelle fait l'objet d'une adaptation du système de culture (robustesse). Elle peut se traduire également par la souscription de contrats d'assurance récolte.

Un second trait concerne le **caractère aléatoire ou prévisible** de la sécheresse (prévision saisonnière). Dans de nombreuses régions sèches, la période d'arrêt ou de reprise des pluies est cyclique (c'est le cas en région méditerranéenne), avec une certaine régularité en dépit d'une variation sur les quantités de pluie annuelles (la sécheresse est plus ou moins marquée). Dans les régions de l'Ouest Atlantique, la variabilité est à l'évidence plus forte et les possibilités d'anticipation plus réduites : on distingue *a posteriori* des années sèches ou pas avec des fréquences d'1 à 2 années sur 5. Dans certaines régions du globe (Australie, par exemple), une prévision saisonnière du climat (consécutive à la manifestation d'un effet El Niño) est possible, offrant des marges de manoeuvre supplémentaires aux agriculteurs pour s'adapter au risque sécheresse (Meinke et Stone, 2005). Cette prévision saisonnière est à l'évidence plus incertaine pour la France (CSM, 1999). Cependant la connaissance de l'état des ressources en eau en fin d'hiver peut déjà aider aux choix stratégiques pour la campagne d'irrigation (quelles cultures d'été ? quelle irrigation ?).

Enfin, les événements de sécheresse se distinguent par leur **intensité, leur dynamique de mise en place, (brutale ou progressive), leur durée (sécheresses intermittentes ou prolongées) et leurs époques d'apparition** par rapport au cycle cultural (Choisnel, 1993) :

- (1) sécheresse d'automne : liée à un retour différé des pluies (alors que le sol est sec en fin d'été)
- (2) sécheresse d'automne-hiver : liée à un déficit pluviométrique à une période où le drainage est la norme et où la faible évaporation permet un recombement en profondeur de la réserve en eau consommée lors de l'été précédent (1988-89 et 1989-90, par exemple)
- (3) sécheresse de printemps : souvent intermittente, parfois durable (sécheresse de 1976...)
- (4) sécheresse d'été (parfois très marquée comme en 1986), habituelle dans la plupart des régions, en raison du développement de la végétation, de l'augmentation de la demande évaporative, de pluies estivales plus aléatoires ; la sécheresse se manifeste plus ou moins précocement selon le type de sol et les besoins en eau. C'est ce scénario qui est le plus étudié sur le plan agronomique.

C'est souvent la conjonction d'une sécheresse d'hiver et/ou de printemps et d'une sécheresse estivale marquée qui est à l'origine des épisodes de sécheresse exceptionnels : on passe d'une sécheresse intermittente à une sécheresse continue, qui réduit les possibilités de récupération (surtout pour les cultures à cycle court). Ce n'était pas le cas en 2003, où l'hiver a été normalement pluvieux. Par contre le scénario 2005 répond à ce cas de figure (comme 1990 dans le Sud-Ouest).

S'y ajoutent souvent des températures élevées (dès le mois de juin) qui aggravent ou accélèrent la mise en place de la sécheresse pluviométrique (et réduisent la durée de cycle, donc les possibilités de récupération).

Les conséquences sont diverses pour le sol et le peuplement selon la période d'occurrence de la sécheresse.

Tableau 1. Effets de la sécheresse sur le sol et la culture selon la période à laquelle elle se manifeste

Processus affectés	automne	hiver	printemps	été
Recombement de la réserve en eau du sol	+	++	+	
Implantation des cultures (y compris travail du sol)	++ (cultures d'hiver)	+	++ (cultures de printemps)	
Prélèvement d'azote (croissance pré-floraison)		+ (cultures d'hiver)	++ (cultures d'hiver et de printemps)	+ cultures de printemps)
Alimentation hydrique			+	++

+ : effet modéré de la sécheresse ; ++ : effet important de la sécheresse

En ce qui concerne les cultures pérennes fruitières (vignes, vergers), la période de sécheresse affectera successivement :

- au printemps, la mise en place des organes végétatifs et l'élaboration du nombre de fruits ;
- en été, la croissance des fruits, en termes d'accumulation de matière sèche et d'eau, l'élaboration de leur qualité, et l'induction florale qui détermine la fructification de la saison suivante ;
- à l'automne (après récolte des fruits), la durée d'activité de l'appareil végétatif et par conséquent la reconstitution des réserves carbonées et azotées utiles au démarrage du cycle végétatif suivant.

Idées principales

- . *Tout agriculteur en France qui n'a pas recours à l'irrigation est confronté au risque de sécheresse édaphique, avec plus de fréquence en conditions méridionales, sur sol superficiel et en cultures d'été.*
- . *On peut caractériser la sécheresse agricole par plusieurs critères : exceptionnelle ou structurelle, prévisible ou aléatoire, intense ou non, précoce ou non, durable ou non : ces caractéristiques permettent ou non à l'agriculteur de s'adapter (en stratégie, en tactique...).*
- . *La durée et l'époque d'apparition de la sécheresse sont des facteurs clés pour en évaluer les impacts (sol ou plante).*

1.1.3.2. Les impacts annuels et pluri-annuels de la sécheresse

1.1.3.2.1. Conséquences globales d'une sécheresse sur les états du milieu et du peuplement

A l'échelle annuelle, les conséquences d'une sécheresse dépendent de sa période de démarrage (par rapport au stade cultural) et de sa durée d'action.

. Effets sur le peuplement (production et qualité)

Les effets le plus souvent observés au champ sont :

- une levée retardée, incomplète et irrégulière (en vagues) : défaut de peuplement plus grave pour les cultures qui ne ramifient pas (betterave, tournesol...), hétérogénéité dans les stades phénologiques jusqu'à la récolte...
- une implantation racinaire médiocre et superficielle : couverture du sol retardée, carences précoces, sensibilité à la sécheresse de fin de cycle...
- un défaut ou un retard de mise en solution des engrais (azotés) et des pertes par volatilisation
- un défaut de prélèvement du nitrate dans les horizons superficiels, qui sont les plus concentrés et les plus sensibles à la sécheresse édaphique
- une réduction de la surface foliaire, de la biomasse aérienne et du nombre d'organes (grains et fruits en particulier), en raison d'un défaut de transpiration et d'une carence azotée (cf. section 1.1.2.)
- une sénescence accélérée et un défaut de remplissage du grain (ou une réduction de calibre des fruits)
- des conséquences variables sur la qualité du grain ou du fruit.

La reprise tardive des pluies après un épisode de sécheresse peut permettre une compensation partielle par d'autres composantes du rendement (par exemple poids d'1 grain, s'il pleut en période de remplissage). Pour certaines espèces, une reprise de la ramification (tallage pour les céréales) peut être défavorable car elle décale le cycle vers des périodes plus échaudantes qui ne permettront pas de bien valoriser cette apparition de nouveaux organes.

Sur le plan **qualitatif**, les teneurs en huile (colza, tournesol) sont souvent affectées par le stress hydrique en fin de cycle. A l'inverse, dans ces mêmes conditions, les teneurs en protéines du grain sont généralement élevées. Chez les espèces fruitières, plusieurs processus affectés par la contrainte hydrique se superposent : flux d'assimilats, flux d'eau, maturation, équilibre entre tissus liés à la taille du fruit... Cela conduit à associer la qualité de la baie de raisin à des contraintes hydriques modérées.

Par contre si la sécheresse est précoce, le défaut d'absorption d'azote peut également conduire à une diminution de la teneur en protéines sauf si la reprise des pluies permet une absorption de l'azote non

utilisé, après la floraison de la culture. Dans le cas de la vigne, une teneur réduite en azote des moûts entraîne un ralentissement de la fermentation, mais elle peut être corrigée à la cave.

. Effets sur l'humidité et la structure du sol

Les effets précédents sont à mettre en relation avec un défaut d'humidité du sol (en surface ou/et en profondeur), un état structural défavorable si les conditions de travail du sol n'ont pas permis une fragmentation suffisante, un contact terre/graine insuffisant, une fissuration excessive du sol (fentes de retrait)...

Le type de sol et les choix d'intervention mécanique (types d'outils, profondeur, fréquence de passage...) seront déterminants pour l'économie d'eau (notamment en surface) et la réussite de l'implantation. Par contre, la sécheresse permet des récoltes plus précoces sans risque de compaction, facilitant ainsi l'implantation des cultures suivantes.

. Effets sur les bioagresseurs

Sur le plan des bioagresseurs, les années sèches sont très peu concernées par les **maladies cryptogamiques**, tant pour l'infection initiale que pour la progression au sein du peuplement. C'est en particulier le cas lors de sécheresses printanières (montaison des céréales). Cependant des alternances de petites pluies et de périodes sèches peuvent favoriser certains pathogènes à condition que le statut azoté du peuplement ne soit pas trop limitant (oïdium des céréales, mildiou de la vigne...). La reprise des pluies peut provoquer également des attaques de rouille brune sur céréales dont le caractère tardif limite cependant la nuisance, ou de botrytis sur les baies de raisin potentiellement très dommageable à la qualité de la vendange. Les plantes affaiblies par la sécheresse pourraient alors être moins résistantes aux attaques de pathogènes (Schoeneweiss, 1985). Ainsi sur tournesol, les attaques de *Macrophomina* sont plus fréquentes pour des plantes subissant la sécheresse (Alexandrov et Koteva, 2001). A l'inverse, l'irrigation, en favorisant la fermeture du couvert et le maintien d'une plus forte humidité relative, est un facteur propice au développement de certaines maladies (par exemple *Sclerotinia* et *Phomopsis* chez le tournesol) (Alexandrov et Angelova, 2004 ; Debaeke et al., 2003).

Les **ravageurs** peuvent se développer surtout si des changements de régimes thermiques accompagnent la sécheresse (cycles supplémentaires, nouveaux ravageurs "tropicaux"). Les conditions sèches et chaudes peuvent être diversement favorables au développement de nombreux insectes ravageurs des cultures. Ainsi pour la pyrale du maïs, les températures élevées accélèrent les cycles de développement alors que la sécheresse compromet la survie des œufs et des jeunes larves (Faure et al., 2004). Par ailleurs, les plantes affaiblies par la sécheresse pourraient être plus sensibles à l'attaque de certains insectes (Haile, 2001).

L'impact des **adventices** serait plus marqué en raison de la forte compétition pour l'eau que certaines mauvaises herbes peuvent exercer notamment en culture d'été. Si la sécheresse se produit tôt, la levée des adventices sera cependant compromise. Par contre, le défaut de peuplement cultivé (lié à une sécheresse précoce) peut favoriser un salissement en tâches au cours de la saison et une grenaison augmentant le salissement potentiel.

Le défaut d'efficacité de certains herbicides de pré-levée (faible migration en profondeur) peut être responsable de salissements parfois conséquents lors d'années sèches.

Là encore, le cas de la vigne est particulier puisque la recherche d'une contrainte hydrique peut contribuer à justifier l'installation d'un enherbement (spontané ou semé) dans les inter-rangs. Une sécheresse exceptionnelle peut conduire à une contrainte hydrique excessive liée à la compétition pour les ressources hydriques et azotées (faible minéralisation).

En conclusion, les prévisions sont difficiles à réaliser dans ce domaine : de manière certaine, un moindre développement des maladies à dissémination aérienne affectant le couvert foliaire ; de fortes incertitudes sur le développement et l'impact des maladies telluriques, des ravageurs, et des adventices.

. Arrières effets de la sécheresse

Les arrières effets de la sécheresse, qui s'apprécient dans nos conditions à l'échelle de 2 campagnes successives (pour les grandes cultures), rarement plus, se manifestent de plusieurs manières :

- un défaut de remplissage plus ou moins important de la réserve en eau du sol au début de l'automne, plus marqué après certaines cultures d'été à forte extraction en profondeur (sorgho, tournesol) ou après luzerne, limité après maïs irrigué (Debaeke et Cabelguenne, 1994) ; si la période d'interculture est pluvieuse, le début de drainage pourra être retardé dans le premier cas, ce qui est un atout ; si la période est très déficitaire (comme en 1989 ou en 2004), le non-recomblement de la réserve (en sol profond) peut être observé en sortie d'hiver. Les risques d'un drainage au cours de la culture seront très faibles en année sèche et le début de drainage à l'automne dépendra de la date d'arrêt de l'irrigation en fin d'été.
- un reliquat d'azote à la récolte du précédent qui peut être important (lié à une inefficacité de l'azote) et doit donc être pris en compte pour raisonner l'occupation du sol à l'automne et le raisonnement de la fertilisation de la culture suivante (Debaeke et al., 1996).
- dans certains cas, des résidus de produits phytosanitaires dans les horizons superficiels en raison d'une faible dégradation ou de l'absence d'entraînement en profondeur, avec des risques de phytotoxicité pour la culture suivante (blé après tournesol, par exemple), ce qui doit être considéré pour le choix du travail du sol après l'année de sécheresse.
- en cultures pérennes, une vitesse de développement végétatif ralentie au débourrement liée à un défaut d'accumulation de réserves, et une fructification limitée par une mauvaise induction florale au cours de l'année n-1.

Idées principales :

- . *La sécheresse peut avoir des effets positifs pour la production (surtout si elle est modérée).*
- . *On peut considérer en grande culture que les effets à moyen / long terme sur le bilan hydrique sont négligeables dans le contexte d'alternances de périodes sèches et humides que l'on connaît généralement.*
- . *Pour les cultures pérennes, des effets défavorables pour la fructification l'année suivante sont à craindre.*

1.1.3.2.2. Variabilité inter-annuelle des pertes de rendement et de la qualité des graines : effet de la sécheresse

Plusieurs sources de données peuvent renseigner sur les baisses de rendement liées à la sécheresse :

- les expérimentations agronomiques, qui ont le défaut d'être locales et souvent menées en milieu favorable (sols profonds) ;
- les modèles de simulation, qui s'appuient sur la connaissance agronomique mais dont le paramétrage est délicat ;
- les données statistiques régionalisées sur les rendements moyens (SCEES).

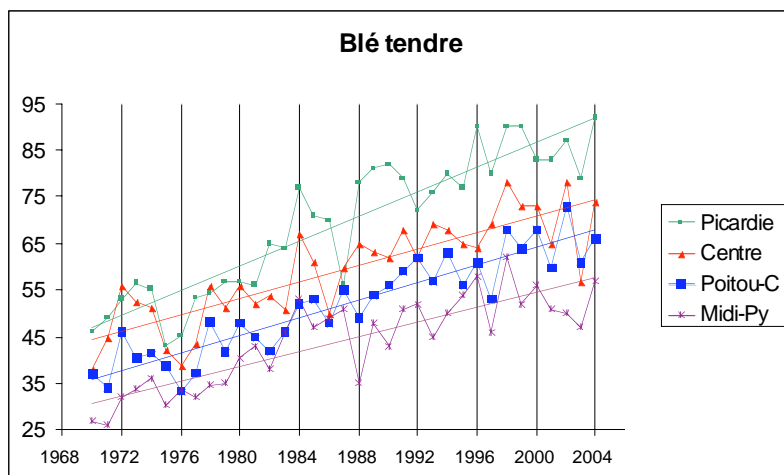
Notre estimation s'est basée sur ces données régionales disponibles sur la période 1970-2005. Ces données rendent compte de la sensibilité des cultures dans leur système de culture (en particulier mode d'irrigation et sols).

. Rendement (source SCEES)

La sensibilité des cultures à la sécheresse dépend de leur sensibilité intrinsèque évoquée plus haut (phases sensibles et critiques, capacités d'extraction d'eau, processus d'endurcissement et d'ajustement...) mais aussi des conditions de culture qui leur sont appliquées (période de semis, irrigation) et des choix variétaux qui sont faits (précocité...). La perte de rendement résulte *in fine* du stade où survient le plus fréquemment le déficit hydrique. Il nous faut superposer ces 3 informations pour comprendre la sensibilité des cultures à la sécheresse telle qu'elle nous est révélée par notre méthode d'estimation basée sur l'analyse des données régionale du SCEES.

Dans 4 régions françaises (Picardie, Centre, Poitou-Charentes, Midi-Pyrénées), nous avons analysé les séries chronologiques de rendement depuis 1970 pour 10 cultures (blé tendre, blé dur, orge d'hiver, colza, maïs-grain, tournesol, sorgho-grain, soja, betterave sucrière, pomme de terre). Pour chaque année, un rendement de référence peut être calculé qui traduit le rendement accessible étant donné le progrès génétique, l'amélioration des techniques culturales et l'évolution climatique (hausse des températures, par exemple) (Figures 3, et 4 à 7 en annexe).

Figure 3. Evolution des rendements du blé tendre pour 4 régions françaises



On montre bien la progression annuelle moyenne des rendements : 11,3 q/ha (betterave), 6,3 q/ha (pomme de terre), 1,4 q/ha (maïs), 1,1 q/ha (blé tendre), 0,9 q/ha (orge d'hiver), 0,8 q/ha (sorgho), 0,5 q/ha (colza), 0,3 q/ha (soja), 0,2 q/ha (tournesol). Si on exprime cet accroissement relativement au rendement de la période 1995-2005, on obtient les valeurs suivantes : 1,7% (maïs), 1,6% (blé tendre, betterave), 1,5% (orge d'hiver), 1,4% (colza, sorgho, pomme de terre), 1,0% (soja) et 0,8% (tournesol).

Tout écart négatif par rapport à cette référence traduit un facteur limitant majeur (sécheresse ou maladie en général). Les indices agroclimatiques et la connaissance des situations vécues permettent d'identifier les facteurs limitants majeurs. La perte de rendement liée à la sécheresse est générale en 1976, 2003 et 2005. Les autres épisodes de sécheresse qui ont davantage touché le Sud-Ouest sont 1982, 1986, 1989, 1990, 1997 et 2004.

Ainsi, lors des grandes sécheresses de 1976 et 2003, on évalue les pertes de rendement :

- sur blé (Tableau 2) : 10 à 30% selon les régions (les petites terres du Centre étant plus sensibles) ;
- sur maïs (Tableau 3 en annexe) : 10 à 55% (selon l'équipement d'irrigation et les restrictions d'accès à la ressource maïs aussi à cause du fait que plus de la moitié du maïs grain est cultivé sans irrigation et donc soumis directement aux sècheresses) ;
- sur tournesol (Tableau 4 en annexe) : 5 à 20% en 2003, 40 à 70% en 1976 (tournesol majoritairement non irrigué) ;
- sur sorgho : 14 à 37% (sorgho majoritairement non irrigué).

Tableau 2. Blé tendre : écart de rendement à la référence annuelle (q/ha et %)

	France	Picardie	Centre	Poitou-Charentes	Midi-Pyrénées
1976	-7,8	-9,6 (21%)	-10,9 (28%)	-8,2 (25%)	-2,0 (6%)
2003	-12,8	-11,6 (15%)	-16,4 (29%)	-6,0 (10%)	-9,8 (21%)
2005	-6,0				

Si l'on compare la sensibilité à la sécheresse des cultures entre 1976 et 2003, on retrouve des ordres de grandeur comparables pour le colza, le blé et le maïs, avec le classement suivant pour les pertes : colza

8%, blé 17%, maïs 21% (Figure 8, en annexe). Par contre, la sensibilité de la pomme de terre et de la betterave a été considérablement réduite (développement de l'irrigation). Le sorgho et le tournesol montrent des résultats contrastés : sur ces cultures 'jeunes', l'amélioration génétique a beaucoup progressé au cours de la période.

En 2005, les pertes ont été plus faibles (<10%), le sorgho (10%), le maïs (9%), le blé (6,5%) et le soja (6%) ayant été les plus affectés. Les pertes ne dépassent pas 2% pour les autres productions (dont le tournesol, l'orge, le colza, la pomme de terre et la betterave).

Les séries statistiques permettent de classer les cultures selon leur sensibilité à la sécheresse, en tenant compte des systèmes de culture pratiqués : le colza et le tournesol apparaissent peu sensibles, le blé moyennement sensible, le sorgho (en sec) et le maïs (sec + irrigué) assez sensibles. Notons que le sorgho est plus sensible si la sécheresse se manifeste tôt car l'implantation est alors pénalisée ; par contre, le sorgho tolère bien une sécheresse au cours du remplissage des graines. Le sorgho (comme le tournesol) est souvent cultivé sur des sols plus superficiels que le maïs, ce qui le pénalise d'autant dans les statistiques.

Sur l'exemple de Midi-Pyrénées, nous avons chiffré les pertes pour 7 épisodes marqués de sécheresse depuis 1976 (Tableau 5) : sécheresses de printemps comme en 1997 (6-10 q/ha de pertes sur céréales), sécheresses d'été comme en 1986, 1989 ou 2004 (8-11 q/ha de pertes pour le sorgho non irrigué, 5-6 q/ha pour le maïs irrigué), sécheresses longues comme 2003 (10-13 q/ha de pertes en blé, 4 en tournesol, 26 en sorgho, 27 en maïs, du fait de restrictions à l'irrigation).

Tableau 5. Midi-Pyrénées : évaluation des pertes de rendement liées à la sécheresse (q/ha)

	Blé T	Blé D	Tournesol	Sorgho	Maïs
1976	-2.0	+3.0	-6.0	-9.0	-8.9
1986	+5.6	+4.0	-0.5	-10.9	-4.8
1989	+2.3	-4.2	-2.9	-8.3	-4.6
1990	-3.5	+2.9	-2.1	-11.1	-9.2
1997	-6.0	-10.0	+1.0	+11.6	+14.7
2003	-9.8	-12.8	-3.8	-26.2	-26.9
2004	-0.6	-1.8	-0.9	-7.8	-5.5

Printemps + été
 Printemps
 Eté

On note par ailleurs que les pertes dues à la sécheresse sont de la même ampleur que des attaques parasitaires mal contrôlées (Midi-Pyrénées : phomopsis sur tournesol en 1992-93 : 17-36% ; rouille brune sur blé en 1988 : 16%) (Figures 3 ; Figure 5). Une différence notable concerne le caractère général des pertes liées à la sécheresse qui affecte le plus souvent cultures d'hiver et d'été.

Depuis quelques années seulement, les statistiques du SCEES distinguent les rendements du maïs en sec et en irrigué. Une forte baisse du rendement en non irrigué est observée en 2003 (-30% par rapport à 2002, contre -12% avec irrigation), mais les baisses sont plus faibles en 2005 (-12% en sec, -3% en irrigué).

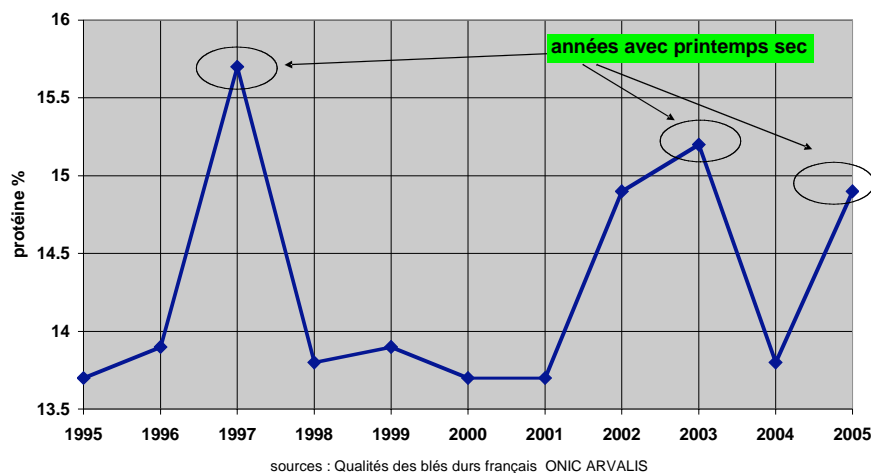
Tableau 6. Répartition des surfaces et rendement du maïs selon l'irrigation

	2002	2003	2004	2005
Maïs non irrigué : Surfaces (ha)	1 027 095	900 610	1 011 183	931 476
Rendement (q/ha)	84	59 (-30%)	83	74
Maïs irrigué : Surfaces (ha)	753 055	735 160	755 392	683 317
% du total maïs	(42%)	(45%)	(43%)	(42%)
Rendement (q/ha)	101	89 (-12%)	103	98

. Teneur en protéines du blé (d'après ONIC, résultats communiqués par ARVALIS)

La teneur en protéines des céréales augmente lors des années à printemps sec (1997, 2003, 2005), compensant ainsi en partie le défaut de rendement par un supplément de qualité valorisable.

Figure 9 Taux de protéine du blé dur de la région Sud-Ouest en %



sources : Qualités des blés durs français ONIC ARVALIS

. Teneur en huile du tournesol et du colza (d'après les données du Cetiom)

La teneur en huile du tournesol (1993-2005) est de 46,3% en moyenne pour les régions Nord et Est et de 45,1 pour les régions plus méridionales (Centre, Poitou-Charentes, Midi-Pyrénées). C'est en 1993 (maladies) et en 2003 (sécheresse) que l'on a observé les plus faibles teneurs en huile : respectivement 1,3% et 1,2% de perte en huile par rapport à la moyenne de 45,4%, se surajoutant à une perte de rendement.

Pour le colza, la variabilité inter-régionale est faible. En 2003, la perte d'huile a été de 1,6% par rapport à la valeur moyenne de 43,3%.

Ces résultats confirment les données de la littérature qui concluent toujours à une baisse de la teneur en huile en présence de contrainte hydrique en post-floraison pour les oléagineux (Ouattar et al., 1992 ; Champolivier et Merrien, 1996 ; Baldini et al., 2002 ; Santonoceto et al., 2003).

Idées principales

- . Les séries statistiques permettent de classer les cultures selon leur sensibilité dans les systèmes de culture (ainsi colza et tournesol sont peu sensibles, blé moyennement sensible, sorgho (sec) et maïs (irrigué) assez sensibles) : pertes de 10 à 25% lors des grandes sécheresses ; cette sensibilité évolue avec le déplacement des cultures vers certains sols ou l'adoption de l'irrigation (pomme de terre par exemple).
- . La teneur en protéines (céréales) augmente en année sèche ; la teneur en huile (oléagineux) suit la tendance inverse.

1.1.3.3. Réaction des agriculteurs face à la sécheresse

1.1.3.3.1. Les marges de manoeuvre

Plusieurs stratégies d'adaptation au stress hydrique à l'échelle de la culture ont été décrites dans la littérature, principalement pour évaluer l'adaptation variétale (Ludlow & Muchow, 1990) mais que l'on peut appliquer également à la conduite de culture:

(a) l'**esquive**, qui consiste à achever le cycle cultural avant l'apparition de sécheresses drastiques ('terminal drought') ou, sous nos climats, de décaler les phases les plus sensibles par rapport aux périodes de forte demande climatique ou de faibles précipitations ;

(b) la **tolérance**, lorsque la culture maintient sa croissance à de plus faibles teneurs en eau (sol, plante).

Par la conduite de culture, il est possible également de réduire les besoins en eau de la culture. On parle ainsi de '**rationnement végétatif**' pour désigner une stratégie de (c) **réduction précoce du prélèvement d'eau** en vue d'un report aux phases de plus forts besoins (floraison, remplissage). La réduction de la surface foliaire par la culture soumise au stress hydrique modéré constitue ainsi une **stratégie d'évitement** de la sécheresse à venir.

Enfin, le recours à l'irrigation permet (d) **atténuer le stress** pendant les phases les plus sensibles.

Dans les zones où le rendement est régulièrement limité par l'eau, c'est l'application d'une combinaison satisfaisante de ces stratégies qui permet de réduire les impacts du stress hydrique, en évitant de trop pénaliser le rendement les années les plus favorables (recherche de "productivité sous contrainte hydrique" et non de "tolérance à la sécheresse").

La plupart de ces concepts ont été développés dans le cadre de l'aridoculture (*dryland farming*), mode de production basé sur la capture et l'utilisation la plus efficace possible des précipitations et de l'eau stockée pendant les périodes d'interculture. On parle de culture pluviale (*rainfed farming*) en situation plus humide pour désigner un système non irrigué permettant la production de cultures d'été en se basant sur la seule ressource 'précipitations'. Alors qu'en aridoculture, l'eau est le facteur limitant majeur, on considère qu'en culture pluviale d'autres considérations telles que la gestion de la fertilité minérale ou la protection contre les bio-agresseurs sont tout aussi importantes que la conservation de l'eau (Robinson, 2003). C'est dans ce contexte que se placent en général nos problématiques françaises de systèmes de culture.

L'agriculteur dispose donc de plusieurs stratégies d'adaptation aux faibles disponibilités hydriques qu'il devra combiner de manière optimale par rapport à des objectifs de production quantitative et qualitative (mais aussi de respect d'objectifs assignés à la culture suivante) et en vue de réduire la variabilité inter-annuelle. Chacune de ces stratégies peut se traduire en objectifs concrets pour la gestion de la ressource.

- (1) **Maximiser le stockage de l'eau au semis de la culture** : principalement par les techniques de "conservation" combinant travail du sol et gestion des résidus de récolte (infiltration rapide et profonde, limitation des pertes évaporatives), par la prévention des infestations adventices, par la pratique de la jachère...
- (2) **Optimiser l'usage de l'eau stockée tout au long du cycle de végétation** : par un prélèvement d'eau maximal mais optimal dans le temps (enracinement), par le choix d'une densité de peuplement et d'un écartement entre rangs, par la gestion de l'azote...
- (3) **Choisir une espèce ou une variété tolérante à la contrainte hydrique** (ou peu consommatrice en eau) ;
- (4) **Eviter la coïncidence entre périodes de forte demande évaporative ou de faible pluviométrie et périodes clés du cycle cultural** (en particulier, phases critiques ou sensibles) : choix d'une date de semis et d'une précocité variétale...
- (5) **Suppléer aux déficits hydriques les plus importants, les années à printemps sec, par une irrigation de complément**, pour les systèmes de culture concernés par ce type d'irrigation (céréales d'hiver, pois...) ;
- (6) **Suppléer aux déficits hydriques plus conséquents et réguliers par des irrigations jugées indispensables à la rentabilité et à la commercialisation de certaines productions** (< 50% des surfaces de maïs-grain qui sont implantés sur sols à réserve en eau faible à moyenne et sous climat séchant ; vergers ; légumes).

Selon les contextes hydrauliques, les questions de gestion optimale de la ressource en eau d'irrigation se posent différemment à l'échelle de l'exploitation (Deumier et al., 1996 ; Puech et al., 1997 ; Nolot et Debaeke, 2003) :

- en conditions où l'eau d'irrigation est peu ou pas limitante, les cultures exigeantes, à forte valorisation de l'eau, sont privilégiées (maïs, soja, par exemple) : il s'agit alors d'optimiser le calendrier d'irrigation pour chaque culture, en donnant la priorité au pilotage de l'irrigation (assurer les besoins) tout en limitant les effets indésirables pour l'environnement ou la culture suivante (pollution azotée, dégradation de la structure) ;
- en condition d'eau d'irrigation plus limitée (en volumes, débits, surfaces), il s'agit d'optimiser le choix d'assolement et d'allocation de la ressource entre cultures (voire variétés) compte tenu des périodes de sensibilité au stress de chaque espèce : une diversification plus grande est attendue, avec des cultures faiblement voire non irriguées ;
- en l'absence d'irrigation, il s'agit d'adapter la conduite de culture et les choix d'espèces et de variétés à la variabilité attendue du déficit hydrique et au risque de plus faible valorisation des intrants. Les adaptations à l'échelle de la culture et du système de culture dépendront fortement de l'intensité de la contrainte.

L'efficacité de ces stratégies devra être évaluée par rapport au maintien d'une production à un niveau acceptable mais également par la réduction de la variabilité de résultat qui accompagne souvent les situations où le déficit hydrique est chronique mais surtout très variable.

La variabilité pluviométrique peut rendre difficile l'identification de pratiques optimales sous certains climats. D'où le recours chaque fois que possible à des outils d'évaluation de scénarios basés sur la modélisation (Cabelguenne et al., 1995 ; Bergez et al., 2002).

Idées principales

- . *L'agriculteur dispose de plusieurs stratégies d'adaptation aux faibles disponibilités hydriques. Chacune de ces stratégies peut se traduire en objectifs concrets pour la gestion de la ressource : cf. (1) à (6).*
- . *Le contexte français n'est pas (encore) celui de l'aridoculture ; néanmoins, l'irrigation s'est beaucoup développée depuis 10-15 ans.*
- . *On peut distinguer une irrigation de complément (1-2 apports), occasionnelle (1 année sur 5) qui permet de régulariser la production et la qualité et une irrigation plus conséquente (5-7 apports en moyenne) et plus régulière (tous les ans) sans laquelle certaines cultures ne seraient pas possibles dans certaines régions (climat séchant, sol superficiel).*

1.1.3.3.2. Comment les agriculteurs se sont-ils ajustés lors des sécheresses récentes ?

Dans les régions arides et semi-arides où l'efficacité d'utilisation de l'eau est toujours problématique, les systèmes de culture se sont adaptés depuis longtemps (Loomis, 1983 ; Turner, 2004). Dans nos régions humides à sub-humides où la sécheresse marquée est occasionnelle, cet événement est accepté comme un risque.

L'analyse des sécheresses récentes montre que les agriculteurs s'ajustent avant tout par l'**assolement**, en augmentant la part des cultures d'hiver ou des cultures d'été à besoin d'irrigation limité (tournesol, sorgho). Il est plus difficile de savoir si d'autres adaptations au niveau de l'itinéraire technique sont fondées ou non sur la perception d'un risque de sécheresse accru.

Après les années **1988-91**, où une série de périodes sèches s'est manifestée notamment dans le Sud-Ouest, c'est la prise de conscience d'une nécessité d'une gestion de l'eau à l'échelle de l'exploitation et des possibilités de diversifier les cultures irriguées, dans un contexte de prix plus favorable aux autres cultures d'été (tournesol en particulier). C'est aussi la découverte que des cycles de sécheresse cumulée avec non-recharge hivernale peuvent se rencontrer même sous nos climats.

En **2003**, la sécheresse brutale, après un hiver froid et pluvieux, n'a pas permis d'anticipation au niveau des choix d'assolements.

En **2005**, c'est la connaissance du défaut de remplissage hivernal des sols et des réserves qui a permis d'anticiper fortement sur le choix d'assolement, tout spécialement dans les situations où la réserve en eau des sols était faible et l'irrigation très dépendante de la recharge hivernale (lacs, nappes superficielles...) : le risque sécheresse avait été largement annoncé en février-mars par les Ministères chargés de l'agriculture et de l'environnement (Comité Sécheresse). Dans les régions, le suivi de l'état de remplissage des ressources est de plus en plus organisé et efficace (DIREN, SAR, Agence de l'Eau...). Ce suivi permet d'informer les filières qui peuvent alors s'organiser à temps.

D'après le SCEES (Agreste – Notes de conjoncture générale), la surface de maïs grain aurait perdu 10% par rapport à 2004 (16% en Poitou-Charentes, 22% dans les Pays de la Loire, 9% en Midi-Pyrénées, 4% en Aquitaine) en raison du déficit hydrologique hivernal et printanier¹. Au cours de l'été (Pays de la Loire), certaines parcelles semées en maïs grain ont été reconverties en ensilage pour pallier la diminution de production fourragère. Les surfaces de sorgho a augmenté de 5% (surtout en Poitou-Charentes). La sole de tournesol a augmenté de 6% (9% en Midi-Pyrénées, 7% en Aquitaine et Pays de la Loire, 5% dans le Centre, 2% en Poitou-Charentes). Localement, le tournesol a progressé fortement (+20-30%) dans le Tarn-et-Garonne et le Lot-et-Garonne au détriment des cultures irriguées (maïs), mais a reculé dans l'Aude au profit du blé dur.

Le colza, plus précoce encore que les céréales d'hiver, a atteint un rendement record en 2005 (36,4 q/ha). Ce comportement favorable, combiné au développement des biocarburants, pourrait accroître encore la part du colza dans les assolements.

En dépit de ces réajustements annuels, les surfaces de tournesol et de sorgho baissent régulièrement depuis 10-15 ans pour des raisons de prix et de marchés.

Pour le sorgho, un regain d'intérêt s'observe après chaque épisode marqué de sécheresse (1989-90 par exemple), mais il n'y a pas eu jusqu'à présent d'évolution de fond quant au choix d'espèces plus tolérantes à la sécheresse, pour des raisons de marchés (sorgho) et de prix (sorgho, tournesol).

En Poitou-Charentes (sol de groies), le semis de variétés demi-précoces semées assez tôt a permis une esquive de la sécheresse effective en 2005 puisque la floraison est atteinte dès la fin juin. Cette adaptation est moins évidente là où les sols se réchauffent plus lentement (boulbènes du Sud-Ouest).

En **2006**, les alertes ministérielles ont été précoces car le risque d'un non-recomblement des réserves en fin d'hiver a été longtemps présent. De ce fait, mais aussi à cause de la nouvelle PAC, les données 2006 témoignent d'une adaptation significative des agriculteurs (choix de cultures plus précoces ou à plus faible demande en eau). La sole de colza d'hiver a augmenté de façon très nette (+12%), la hausse concernant l'ensemble des régions. La sole de blé dur d'hiver est supérieure de 6% à celle récoltée en 2005, augmentant de façon très nette dans le Centre et en Poitou-Charentes. Alors que le blé tendre est stable, l'orge d'hiver a augmenté de 11 %. Les surfaces en maïs grain ont baissé à nouveau de 9% en 2006, soit une baisse de 17 % en deux ans. Par contre, le sorgho a augmenté de 10 % en 2006 (soit +19 % en 2 ans) alors que le tournesol a peu varié. Les surfaces de maïs fourrage sont restées stables.

Idées principales

L'analyse des sécheresses récentes montre que les agriculteurs s'ajustent avant tout par l'assolement, en augmentant la part des cultures d'hiver (colza, blé, orge) et celles des cultures d'été à besoin d'irrigation limité (sorgho, tournesol). Tout dépend si l'alerte sécheresse est suffisamment précoce.

¹ Les prix moins favorables du maïs en 2004 et le retour à l'obligation de gel à 10% ont probablement contribué à la baisse des surfaces semées en 2005.

1.1.3.3. Comment les agriculteurs gèrent-ils l'irrigation : choix stratégiques et tactiques ; quelles adaptations face à la sécheresse hydrologique ?

La surface irrigable représente près de 10% de la SAU, avec de fortes variations régionales. La surface équipée pour l'irrigation était de 2,7 Mha alors que l'irrigation a concerné 1,9 Mha en 2003 (Agreste, 2005). Cette surface équipée est relativement stable depuis ces dernières années alors que l'augmentation a été de 41% entre 1988 et 1995. Ce sont surtout les régions Centre, Poitou-Charentes, Pays de la Loire où l'irrigation était moins traditionnelle qui ont connu un fort développement depuis les sécheresses de 1989 et 1990 (Morardet et al., 1998).

Le maïs (grain et semences) est très nettement la principale culture irriguée (51% de la sole irriguée). Le maïs est principalement pluvial en Bretagne, Normandie, Nord-Picardie et Est (Gleyses et Rieu, 2004).

Le taux global d'irrigation du maïs (surface irriguée / surface de la culture) a fortement augmenté depuis 1988 : entre 42 et 45% sur la période 2000-2004 alors qu'il était de 29% en 1988. Ceci cache de fortes disparités régionales (Gleyses et Rieu, 2004) : le taux d'irrigation dépasse en effet 75% dans une partie importante du bassin Adour-Garonne (Landes, Coteaux de Gascogne, Vallées et Terrasses de la Garonne), en Beauce, sur la Vienne et dans la moyenne vallée du Rhône (Drôme).

Les préoccupations des irrigants concernent la maîtrise globale de leurs systèmes irrigués en recherchant une utilisation optimale des moyens d'arrosage (ressource en eau, main d'œuvre et matériel) (Deumier et al., 1996).

Les choix stratégiques liés au dimensionnement des équipements d'irrigation et aux types de cultures à irriguer, engagent l'irrigant pour plusieurs années (Tableau 7).

Tableau 7. Choix stratégiques et tactiques de l'irrigant (Deumier et al., 2005)

Choix stratégiques		CHOIX TACTIQUES
Pour plusieurs années	Chaque année	Chaque année avec décision chaque semaine
<ul style="list-style-type: none"> . Accès à la ressource . Dimension et choix des équipements et matériels d'irrigation de la sole irrigable . Main d'œuvre pour l'irrigation . Type de cultures irriguées = assolement irrigué 	<ul style="list-style-type: none"> . Ajustement de l'assolement de la sole irrigable aux contraintes économiques (marge) et hydrauliques (ressource) . Stratégie de conduite de l'irrigation = calendrier prévisionnel d'irrigation . Ajustement du plan prévisionnel d'utilisation du matériel d'irrigation 	<ul style="list-style-type: none"> . Pilotage de l'irrigation en cours de campagne = adaptation du calendrier prévisionnel d'arrosage . Gestion et contrôle du matériel d'irrigation.
Prise en compte du climat "historique"		Prise en compte du climat observé et des prévisions météorologiques.

Les charges d'irrigation en grande culture représentent 20 à 30% du produit brut (aides compensatoires comprises). Compte tenu de ce coût élevé, les aménagements hydrauliques sont rarement dimensionnés pour faire face aux années les plus sèches et les équipements d'irrigation dans les exploitations agricoles ne permettent pas de satisfaire les besoins en eau des cultures dans toutes les situations. Les systèmes d'irrigation sont réfléchis pour couvrir les besoins en eau 8 années sur 10 dans les meilleurs cas.

Chaque année cependant l'irrigant a la possibilité d'ajuster ses choix en fonction des contraintes économiques de l'année (hypothèse de prix des produits, montants des aides compensatoires, coût de l'eau...) et hydrauliques (état de la ressource en eau) dans le cadre défini auparavant :

- l'assolement de la sole irrigable doit tenir compte en effet de ces contraintes : quelles cultures, quel volume d'eau et quel débit pour chaque culture irriguée ?

- le calendrier prévisionnel d’arrosage et le plan d’utilisation du matériel d’irrigation sont alors revus et adaptés. Cela est particulièrement vrai pour les chantiers d’irrigation avec des canons-enrouleurs.

Pendant la campagne d’irrigation, l’irrigant conduit les irrigations en adaptant le calendrier prévisionnel d’arrosage aux événements : état de la culture irriguée, ressource en eau, climat. Il a à gérer et à contrôler le fonctionnement du matériel d’irrigation dans le cadre d’un tour d’eau, temps nécessaire pour irriguer l’ensemble des parcelles de la sole irriguée. Ce tour d’eau dure généralement de 4 à 10 jours et confère une inertie certaine au chantier d’irrigation.

Cependant, les pratiques d’irrigation varient selon la place des cultures irriguées dans le revenu, l’aversion au risque des agriculteurs, les moyens d’arrosage, la ressource accessible, et les objectifs propres de l’agriculteur (Labbe et al., 2000 ; Maton et al., 2005).

On voit donc que l’irrigation des cultures ne se limite évidemment pas à décider chaque jour si l’on doit irriguer ou pas. C’est une technique complexe pour laquelle les choix stratégiques sont aussi importants que les choix tactiques en cours de campagne. Par ailleurs, les agriculteurs mettent en œuvre des règles de décision plus ou moins formalisées et quantifiées pour décider notamment du démarrage de l’irrigation (stade de développement de la culture, état du sol et de la végétation, nombre de jours sans pluie...).

Si la ressource en eau d’irrigation n’est pas assurée, l’agriculteur s’adapte en modifiant la composition de la sole irriguée (cultures moins exigeantes en eau, étalement des périodes de besoin) et en modifiant les stratégies d’irrigation par culture (date de démarrage, fréquence de retour). Dans le dernier cas, il peut s’agir d’une décision individuelle ou collective (organisation d’une gestion en commun des débits prélevés pour retarder l’interdiction de pompage à l’échelle d’une rivière, par exemple).

Idées principales

L’irrigation des cultures est une technique complexe pour laquelle les choix stratégiques sont aussi importants que les choix tactiques en cours de campagne. L’organisation d’un chantier d’irrigation introduit une certaine inertie dans les changements de stratégie en cours de campagne.

1.1.3.4. Le conseil en irrigation

L’état des lieux réalisé dans le cadre de l’opération IRRI-MIEUX en 1999 (Guiberteau, 1999) montre que les actions de conseil irrigation sont portées essentiellement par les Chambres d’Agriculture (72% des actions) avec une implication moindre mais probablement croissante d’autres organismes tels que les industriels, les coopératives, les compagnies d’aménagement et certaines structures spécialisées.

Des groupes de travail constitués par les organismes de conseil et animés par ARVALIS – Institut du végétal, le Cemagref et l’INRA produisent, partagent et structurent des références utilisées dans les actions de conseil. C’est ainsi que les guides de l’utilisateur IRRINOV® écrits en partenariat avec les Chambres d’Agriculture et des organismes économiques tels que Limagrain pour le maïs semence, Mc Cain pour la pomme de terre, rassemblent les informations techniques de référence pour l’irrigation du maïs, des céréales, des protéagineux et des pommes de terre. La méthodologie est souvent utilisée dans le suivi des parcelles de référence, bases des avertissements irrigation.

Les actions de conseil portent essentiellement sur le pilotage de l’irrigation en cours de campagne (Tableau 8). Ce sont en effet les actions les plus nombreuses et elles s’adressent à la majorité des irrigants (conseil de masse). Les **avertissements irrigation** existent dans la quasi-totalité des départements où l’irrigation est significative. Ils donnent à l’agriculteur un cadre général pour la conduite des irrigations des cultures.

Tableau 8. Nombre d'actions de conseil irrigation engagées en France par type de conseil
(Source "Etat des lieux des actions de conseil et d'appui technique en irrigation" Janvier 1999 –
Opération IRRI-MIEUX)

		Conseil de masse	Conseil de groupe	Conseil individuel	Total
Choix stratégique	Mobilisation de la ressource et équipement d'irrigation	0	7	27	34
Choix tactique	Contrôle du matériel		4	12	16
	Pilotage de l'irrigation	26	7	7	40

Ainsi, par exemple, en Haute-Garonne, les avertissements d'irrigations sont envoyés chaque semaine à plus de 1000 irrigants (Deumier et al., 2005). Il s'agit d'un conseil global qui s'appuie sur le suivi de 20 parcelles de référence situées chez les irrigants (11 parcelles de maïs et 9 parcelles de soja) et sur les relevés météorologiques de 10 stations Météo-France. Chaque message comprend 4 rubriques :

- le rappel sur la consommation en eau des cultures la semaine précédant l'envoi,
- la rubrique "ce qu'il faut faire" indiquant la marche à suivre pour la semaine en cours,
- la rubrique "actualité sur l'eau" qui rend compte des événements relatifs à l'état et à l'évolution de la ressource en eau,
- la rubrique "données climatiques brutes" avec le détail des ETP et pluies pour chaque parcelle de référence et chaque station météorologique.

Les conseils de groupe et individuels de pilotage sont moins développés mais probablement en augmentation. Les conseils pour la maîtrise du matériel accompagnent souvent les actions de pilotage. Ce sont principalement des actions individuelles.

Les actions d'ordre stratégique (mobilisation de la ressource et aide à l'équipement d'irrigation) concernent moins d'irrigants que dans les années de forte croissance des surfaces irriguées et sont surtout des actions individuelles.

Enfin, les actions de conseil sur les choix d'assolements et de stratégie d'irrigation absents en 1999 reviennent actuellement sur le devant de la scène compte tenu des évolutions économiques et réglementaires (PAC 2007, loi sur l'eau). Les opérateurs du conseil sont tous engagés aujourd'hui dans des études et simulations pour aider les irrigants à bien négocier ce moment délicat.

Que font les agriculteurs du conseil en irrigation ? L'avertissement est plutôt un cadre global pour conforter des décisions qu'une recommandation qui sera appliquée à la parcelle.

L'enquête "Pratiques Culturelles" menée en 2001 en Aquitaine (Agreste, 2005) montre que 18% des irrigants utilisent des outils de pilotage individuels et que 15% "suivent" les avertissements collectifs. Les autres irrigants se répartissent en 2 catégories :

- ceux qui pratiquent une simple observation de leurs parcelles (40%),
- ceux qui arrosent de manière systématique selon un schéma peu variable d'une année sur l'autre (27%).

Ces derniers sont aussi ceux qui consomment l'essentiel de l'eau d'irrigation allouée au maïs grain (44%).

Tableau 9. Part des surfaces et volumes d'irrigation en fonction des méthodes de déclenchement de l'irrigation en Aquitaine (2001)

Conduite de l'irrigation	Nombre d'irrigants	Surface	Volume d'eau	Dose moyenne (mm)	Rendement (q/ha)
"Comme d'habitude"	27%	33%	44%	203	94
Simple observation	40%	31%	19%	94	93
Outils de pilotage	18%	18%	21%	183	96
Avis technique	15%	17%	16%	138	100
Ensemble	100%	100%	100%	154	95

Source : Agreste Aquitaine, 2005

Idées principales

La généralisation de l'avertissement irrigation (conseil de masse) apparaît comme un cadre général pour conforter les décisions des irrigants plus que pour indiquer la bonne stratégie adaptée à chaque exploitation.

Remerciements à J.M. Deumier (Arvalis - Institut du Végétal), A. Merrien et L. Champolivier (Cetiom) pour la fourniture de références techniques.

Références bibliographiques

- Agreste (2004). Enquête sur les pratiques culturales en 2001. *Agreste Chiffres et Données*, n°159, 253 p.
- Agreste (2005). 2.7 Millions d'hectares équipés en 2003. *Agreste Cahier*, n°2
- Agreste-Aquitaine (2005). *L'irrigation, un outil de développement en voie de stabilisation*, N°3, Mars 2005, 6 p.
- Alexandrov V., Koteva V. (2001). Attack on sunflower by charcoal rot (*Sclerotium bataticola* T.) under the influence of climate and mineral fertilization. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 7, 271-274
- Alexandrov V., Angelova M. (2004). Influence of meteorological conditions and agronomical practices upon attack of sunflower by Sclerotinia white rot (*Sclerotinia sclerotiorum* Lib.). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 10 (2), 185-189
- Baldini M., Giovanardi R., Tahmasebi-Enferadi S., Vannozzi G.P. (2002). Effects of water regime on fatty acid accumulation and final fatty acid composition in the oil of standard and high oleic sunflower hybrids. *Italian Journal of Agronomy*, 6, 119-126
- Bergez JE, Deumier JM, Lacroix B, Leroy P, Wallach D (2002). Improving irrigation schedules by using a biophysical and decisional model. *European Journal of Agronomy*, 16, 123-135
- Cabelguenne M., Jones C.A., Williams J.R. (1995). Strategies for limited irrigations of maize in southwestern France - a modeling approach. *Transactions of the ASAE*, 38, 507-511
- Champolivier L., Merrien A. (1996). Effects of water stress applied at different growth stages to Brassica napus L. var. oleifera on yield, yield components and seed quality. *European Journal of Agronomy*, 5, 153-160
- Choisnel E (1993). Le risque sécheresse en agriculture. *Chambres d'Agriculture*, n°807, 6-12
- Connor D.J., Loomis R.S. (1991). Strategies and tactics for water-limited agriculture in low rainfall Mediterranean climates, in : *Proceedings International Symposium on Improvement and Management of Winter Cereals under Temperature, Drought and Salinity Stresses*, INIA, Cordoba (Spain), p. 441-465
- Conseil Supérieur de la Météorologie (1999). Table ronde sur les besoins des utilisateurs potentiels des prévisions saisonnières. *CR 29ème assemblée plénière*, Paris, 11/02/1999, p. 53-59.
- Cooper P.J.M., Gregory P.J (1987). Soil water management in the rain-fed farming systems of the Mediterranean region. *Soil Use Management*, 3, 57-62
- Debaeke P. (2003). Irrigation, Supplemental. In *Encyclopedia of Water Science*, B.A. Stewart & T.Howell (eds), Marcel Dekker, Inc., New York, 537-539
- Debaeke P., Cabelguenne M. (1994). Influence of previous crop on available water for a subsequent winter wheat on a deep silty clay soil. *Proc. 3rd ESA Congress*, Padova (Italy), p. 682-683
- Debaeke P., Nolot J.M. (2000). Testing crop management systems for sunflower in South-West France. *Proc. 15th International Sunflower Conference*, Toulouse, C, 1-6
- Debaeke P., Aboudrare A. (2004). Adaptation of crop management to water-limited environments. *European Journal of Agronomy*, 21, 433-446
- Debaeke P., Aussenac T., Fabre J.L., Hilaire A., Thuries L. (1996). Grain nitrogen content of winter bread wheat (*Triticum aestivum* L.) as related to crop management and to the previous crop. *European Journal of Agronomy*, 5, 273-286
- Debaeke P., Estragnat A., Reau R. (2003). Influence of crop management on sunflower stem canker (*Diaporthe helianthi*). *Agronomie*, 23, 581-592
- Debaeke P., Nolot J.M., Raffailac D. (2006). A rule-based method for the development of crop management systems applied to grain sorghum in south-western France. *Agricultural Systems* (sous presse).
- Deumier J.M., Balas B., Leroy P., Jacquin C. (1996). Maîtrise des systèmes irrigués. Gestion d'un équipement existant. *Comptes-Rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, 82 (5), 89-102.

- Deumier J.M., Boussaguet J., Mailheau M. (2005). Stratégie des agriculteurs, pilotage et ajustement des apports d'eau aux besoins des cultures. Actes du *Colloque Cemagref « Eau et agriculture durable »*, SIMA, Paris, 1/03/2005.
- Faure A., Guéry B., Guinefoleau J.P., Weissenberger A., Naïbo B., Decoin M. (2004). Bilan phytosanitaire 2003 du maïs. *Phytoma*, 567, 39-41
- Flagella Z., Rotunno T., Tarantino E., Di Caterina R., De Caro A. (2002). Changes in seed yield and oil fatty acid composition of high oleic sunflower hybrids in relation to the sowing date and the water regime. *European Journal of Agronomy*, 17, 221-230
- Gleyzes G., Rieu T. (2004). *L'irrigation en France. Etat des lieux 2000 et évolution*. Cemagref Editions, 60 p.
- Guiberteau M. (1999). *Etat des lieux des actions de conseil et d'appui technique en irrigation*. Rapport Irri-Mieux, ANDA, 64 p.
- Haile F.J. (2001). Drought stress, insects, and yield loss. In : *Biotic stress and yield loss*, R.K.D. Peterson and L.G.Higley eds, CRC press, 117-13
- ITCF (1993). *Gérer l'irrigation en grandes cultures*, Brochure Optim'Eau, Mai 1993, 56 p.
- Labbe F., Ruelle P., Garin P., Leroy P. (2000). Modelling irrigation scheduling to analyse water management at farm level, during water shortages. *European Journal of Agronomy*, 12, 55-67
- Leroy P., Deumier J.M., Jacquin C. (1996). Water management at farm level. Method and tool to support strategic decisions – In : *Management of Limited Water Resources. Agro-economical Consequences*. Final report of the EU contract no. 8001-CT91-0109
- Loomis R.S. (1983). Crop manipulations for efficient use of water: an overview. In : *Limitations to efficient water use in crop production* (Taylor H.M., Jordan W.R., Sinclair T.R., eds), American Society of Agronomy, Madison (WI, USA), p.345-374
- Maton L., Leenhardt D., Goulard M., Bergez J.E. (2005). Assessing the irrigation strategies over a wide geographical area from structural data about farming systems. *Agricultural Systems*, 86, 293-311.
- Meinke H., Stone R. (2005). Seasonal and inter-annual climate forecasting: The new tool for increasing preparedness to climate variability and change in agricultural planning and operations. *Climatic Change*, 70, 221-253.
- Morardet S., Mailhol J.C., Vidal A., Garin P., Gleyzes G. (1998). Sécheresse et demande en eau d'irrigation : éléments de réflexion. *Ingénieries*, n°13, 15-28.
- Nolot J.M., Debaeke P. (2003). Principes et outils de conception, conduite et évaluation de systèmes de culture. *Cahiers Agricultures*, 12, 387-400
- Quattar S., El Asri M., Lhatoute B., Lahlou O. (1992). Effet du régime hydrique sur la productivité et la teneur en huile du tournesol. *Cahiers Agricultures*, 1, 173-179.
- Puech J., Cabelguenne M., Attonaty J.M., Leroy P., Amigues J.P., Balas B., Perarnaud V. (1997). Gestion de l'eau à l'échelle de l'exploitation agricole. In : *L'eau dans l'espace rural* (Riou C, Bonhomme R, Chassin P, Neveu A, Papy F, eds), AUPELF-URELF & INRA Editions, p. 101-119
- Rinaldi M., Rizzo V., Franceso F. (1996). Effects of winter sowing on sunflower yield, oil and plant characteristics in Southern Italy. *Proceedings 14th International Sunflower Conference*, Beijing (China), 345-350.
- Robinson C.A. (2003). Dryland farming. In : *Encyclopedia of Water Science*, B.A. Stewart & T.Howell (eds), Marcel Dekker, Inc., New York, 183-186
- Santonoceto C., Anastasi U., Riggi E., Abbate V. (2003). Accumulation dynamics of dry matter, oil and major fatty acids in sunflower seeds in relation to genotype and water regime. *Italian Journal of Agronomy*, 7 (1), 3-14
- Schoeneweiss D.F. (1985). Water stress predisposition to disease – an overview. In : *Water, fungi and plants* (P.G.Ayres and L.Boddy eds), Cambridge University Press, 157-174.
- Sivakumar M.V.K, Glinni A.F. (2002). Applications of crop growth models in the semiarid regions, in : Ahuha L.R., Ma L., Howell T.A. (Eds), *Agricultural System Models in Field Research and Technology transfer*, Lewis Publishers, 2002, 178-205
- Turner N. (2004). Agronomic options for improving rainfall use efficiency of crops in dryland farming systems. *Journal of Experimental Botany*, 54, 2413-2425.

Annexe

Figure 4. Evolution des rendements du maïs grain pour 3 régions françaises

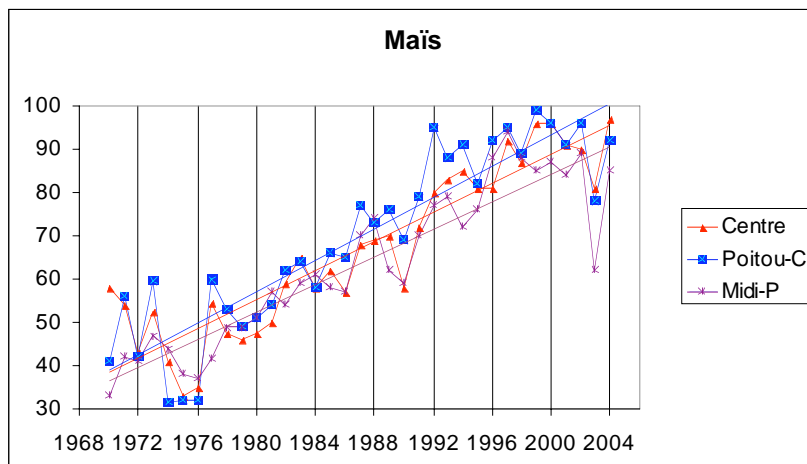


Tableau 3. Maïs grain : écart de rendement à la référence annuelle (q/ha & %)

	France	Picardie	Centre	Poitou-Charentes	Midi-Pyrénées
1976	-11,7	-19,0 (49%)	-13,4 (38%)	-17,5 (54%)	-8,9 (24%)
2003	-18,9	-7,9 (10%)	-12,6 (16%)	-20,6 (26%)	-26,9 (43%)
2005	-4,8				

Figure 5. Evolution des rendements du tournesol pour 3 régions françaises

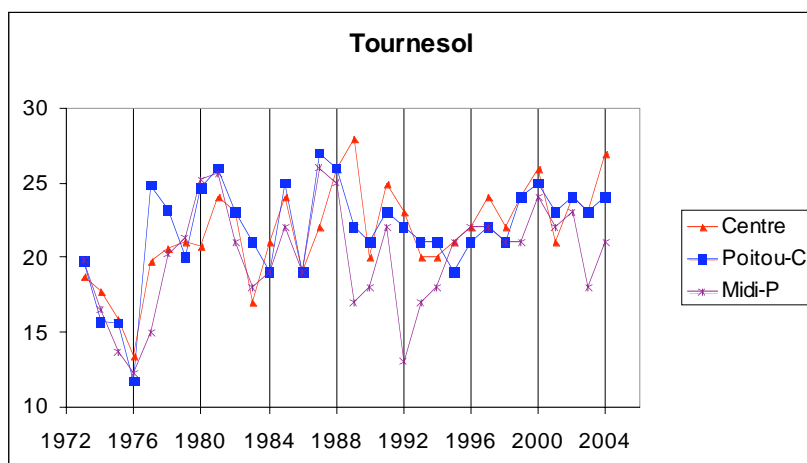


Tableau 4. Tournesol : écart de rendement à la référence annuelle (q/ha & %)

	France	Centre	Poitou-Charentes	Midi-Pyrénées
1976	-6,5	-5,3 (40%)	-8,0 (68%)	-6,0 (49%)
2003	-2,2	-1,9 (8%)	-0,9 (4%)	-3,8 (21%)
2005	-2,0			

Figure 6. Evolution des rendements du colza pour 4 régions françaises

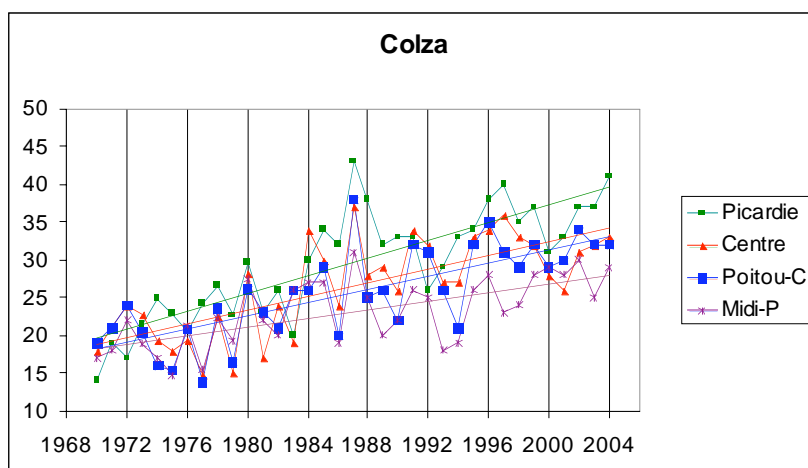


Figure 7. Evolution des rendements du sorgho pour 2 régions

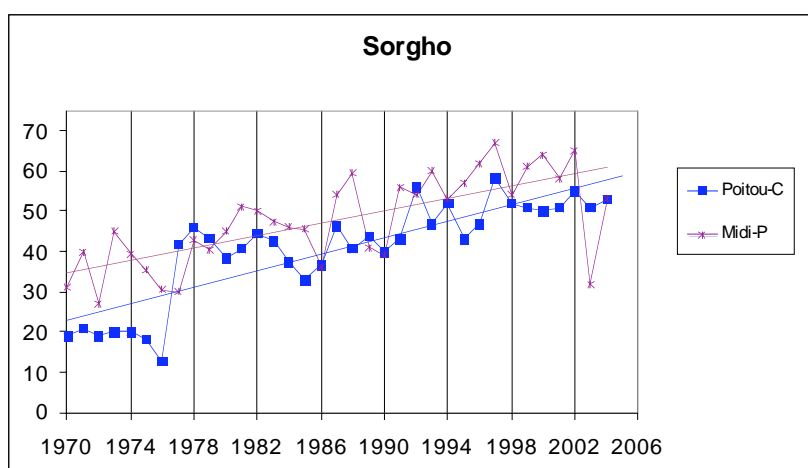


Figure 8. Pertes de rendement liées à la sécheresse (%)
 Comparaison entre cultures : Total France 1976 & 2003
 (ref = rendement de référence lié au progrès génétique)

