

01

Blé tendre

Les raisons du plafo des rendements

Formations ARVALIS: au cœur des métiers de l'agriculture



Pour en savoir plus, ARVALIS – Institut du végétal dispense une formation technique:

« **Physiologie des céréales à paille: du diagnostic dans la parcelle à la décision d'intervention** ».

Objectif: utiliser les données les plus récentes de la physiologie des céréales pour adapter les techniques de culture. Les connaissances en écophysiologie constituent un socle pour une meilleure connaissance des accidents en culture, du parasitisme, du rendement et de la qualité des produits.

Date et lieu: au choix des entreprises.

Durée: 1 jour.

Renseignements et inscriptions: Héléna Bezat, tél. 01 30 12 96 20.

ARVALIS
Institut du végétal

Depuis quelques années, le rendement du blé en France semble ne plus progresser. ARVALIS – Institut du végétal et l'INRA ont analysé les facteurs susceptibles de limiter la production française en faisant appel à l'agrométéorologie, la fertilisation azotée, la protection des cultures, et l'amélioration variétale. Quelles sont les principales origines du plafonnement et peut-on, parmi les facteurs incriminés, hiérarchiser leur impact respectif sur la production?

Si l'on estime l'augmentation de la production en France en considérant l'ensemble des données de récolte disponibles (depuis 1956), on relève que celle-ci avoisine 1,2 q/ha/an. Toutefois, on constate que depuis les années 1980, la pente diminue progressivement, avec une diminution plus soutenue depuis les années 1990.

Philippe Gate
p.gate@arvalisinstitutduvegetal.fr

ARVALIS – Institut du végétal

Gilles Charmet (INRA Clermont-Ferrand), Nadine Brisson (INRA, AGROCLIM, Avignon), David Gouache, Olivier Deudon, Philippe Braun, Gérard Briffaux, Christine Le Souder et Gilles Couleaud (ARVALIS – Institut du végétal).

Des inégalités entre régions

Après 1990, l'augmentation du rendement en France devient inférieure à 1 q/ha/an pour tendre vers 0 - soit une absence de progression - depuis les dix dernières années.

La situation est analogue aux Pays-Bas, en Espagne, au Danemark et en Italie. Seuls l'Allemagne et le Royaume-Uni se démarquent.

La diminution de la progression des rendements concerne tous les départements, à l'exception de la Somme, du Pas-de-Calais et des Côtes d'Armor. Cette stagnation s'opère aux alentours des années 1995 sauf pour le Gard, le Var, le Vaucluse, la Gironde et les Pyrénées-Atlantiques, où le plafonnement est intervenu dès les années 1980.



▲ **Les régions qui subissent les plus fortes pressions de maladies sont souvent celles qui dégagent les rendements moyens les plus forts.**

▶ **Producteurs, conseillers agricoles, instituts techniques, organismes de collecte et traders: beaucoup d'acteurs s'accordent à dire que le rendement ne progresse plus.**

nnement



Le progrès génétique n'a pas fléchi

Une étude récente a été menée par les généticiens de l'INRA sur ce sujet en considérant les résultats des essais variétaux de deux réseaux d'expérimentation (réseau propre à l'INRA et réseau CTPS).

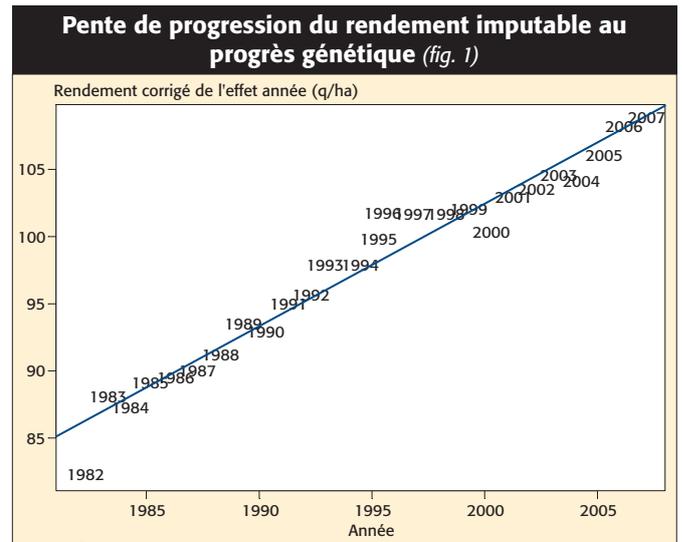
Pour les deux réseaux, en situations de parcelles traitées contre les maladies, on conclut que l'évolution du rendement au cours du temps s'est main-

▶ Oui, le rendement plafonne en France, depuis les années 1995 environ.

tenue constante jusqu'à nos jours, avec une progression de l'ordre de 0,9 q/ha/an (*figure 1*). En conditions de parcelles non traitées contre les maladies, la même approche révèle que la progression est également restée constante avec, en ce cas, un niveau supérieur de progrès de 1,3 q/ha/an. Ce constat témoigne que les variétés actuelles sont plus tolérantes aux maladies. Cette aptitude n'est pas incompatible avec une augmentation des rendements en situations protégées contre les maladies. Les progrès en termes de tolérance, mais aussi de qualité peuvent être mis en relation avec la modification des règles d'inscription des variétés depuis une dizaine d'années qui visent à promouvoir les variétés de qualité et plus tolérantes aux maladies.

Cette progression constante du progrès génétique est également remarquable dans d'autres pays, notamment au Royaume-Uni et en Finlande.

Un échaudage thermique bloque le remplissage des grains, avec des conséquences directes sur la productivité. ▶



D'après les travaux de Gilles Charmet (INRA, Clermont-Ferrand).

Entre 1982 et 2007, les rendements ont progressé en moyenne de 0,9 q/ha/an en conditions de parcelles traitées contre les maladies.

© M. Giban



Les techniques culturales à privilégier

Dans les milieux séchants, il est recommandé d'élargir la gamme de précocité des semis afin de pouvoir profiter de conditions plus favorables à la germination et à l'émergence du coléoptile. En années plus sèches, il convient de préférer les préparations du sol simplifiées - afin de mieux conserver l'état d'humidité et ne pas rompre les remontées capillaires possibles - et de semer plus profond. Pour certaines implantations de printemps (orge de printemps, en particulier), le recours à des cultures intermédiaires (légumineuses) a fait ses preuves en favorisant la structure et un enracinement plus rapide. Vis-à-vis de la gestion de la fertilisation azotée, il convient d'intégrer les outils de pilotage, les prévisions météorologiques (pour le Coefficient Apparent d'Utilisation d'azote : CAU) et les modèles de prévision du rendement accessible : l'évolution du climat favorise une minéralisation précoce et une plus grande irrégularité du CAU. Pour la verse, il est probable que le risque potentiel en début de montaison soit en tendance plus élevé (tallage plus abondant, minéralisation précoce et durée de montée des tiges plus courte). Les sélectionneurs ne doivent donc pas écarter l'obtention de variétés tolérantes à la verse de leurs objectifs.

Quel aurait été le progrès génétique si l'on avait maintenu une forte sélection de variétés autres que panifiables ? Certaines innovations ont apporté des gains significatifs de rendement à leur époque (les variétés tardives du type de Maris Hobbit et Apollo parmi les anciennes, puis Ritmo ou Trémie parmi les plus récentes).

Le paysage variétal dans certaines régions du nord de la France a été transfiguré : en 15 ans, on est passé de 80 % de variétés non panifiables à 80-90 % de variétés panifiables.

Faible contribution des techniques culturales

Pour suivre et analyser les pratiques culturales, ARVALIS - Institut du végétal a exploité trois sources d'enquêtes situées au nord de la Loire (enquête ONIGC, enquête SCEES - Pratiques Culturales et panel ARVALIS - Institut du végétal de 200 agriculteurs).

La fertilisation azotée a été prioritairement analysée puisque l'azote constitue le principal facteur limitant de

la production du blé sous nos climats.

La dose totale d'engrais azotée épanchée a légèrement augmenté entre les années 1990 et 2000 (+ 20-25 unités par hectare, avec peu de différence entre régions), puis a modérément diminué de 2000 jusqu'à nos jours (- 20 unités).

Schématiquement, on souligne donc qu'au moment où le rendement a commencé à stagner (vers 1995), il y a eu augmentation légère des doses d'azote. Par ailleurs, d'après les spécialistes, on peut estimer que la conduite des cultures était alors menée à des doses optimales, voire légèrement supra-optimales de fertilisation dans ces années-là.

De ce fait, on peut conclure que les pénalités engendrées par la seule réduction de 20 unités sont limitées sur le rendement moyen, avec le risque de limitation des plus hauts potentiels.

Cette assertion est renforcée par l'évolution du nombre d'apports d'engrais : entre 1994 et 2000, la pratique est passée de deux à trois apports sur le

▶ Certaines techniques culturales ont évolué mais leurs impacts ne peuvent expliquer ni le plafonnement ni l'ampleur de la variabilité interannuelle constatée.

cycle avec une stagnation à trois apports jusqu'à nos jours. Or, nous savons que le fait de fractionner en trois apports comparativement à deux apports améliore leur efficacité sur le rendement. Le gain de rendement est compris entre 0,5 et 1,3 quintal par hectare, soit une fourchette du même ordre de grandeur que les pertes engendrées par la réduction de 20 unités.

Cette stagnation des doses depuis les années 2000, associée à un progrès génétique constant, pourrait laisser croire que les blés sont actuellement sous-fertilisés. Cette hypothèse est totalement fautive : c'est avant tout - et quasi strictement - l'indice de récolte, le nombre de grains par épi et le poids des grains qui ont augmenté. Ces gains ont été réalisés sans augmentation de la biomasse végétative et l'augmentation de l'indice de récolte ne requiert pas de besoins en azote supplémentaire.

S'agissant du phosphore, l'augmentation significative du taux d'impasse n'a pas eu de conséquence sur le rendement du blé ; les teneurs initiales font que les teneurs actuelles restent encore majoritairement non limitantes pour une espèce comme le blé.

Effet de la protection fongicide

Quelle est la nuisibilité moyenne imputable aux maladies de l'année ? Au travers du réseau de parcelles d'ARVALIS - Institut du végétal, cet indicateur a été estimé depuis

◀ Le plafonnement des rendements ne s'est pas fait avec le même rythme selon les régions et les contextes pédoclimatiques.



© N. Cornec



© C. Druesne

la récolte 2001, par différence de rendement.

Il révèle une absence de relation entre le rendement national et la nuisibilité moyenne due aux maladies, à l'exception de la récolte 2007 (figure 2). Là où les rendements ont été les plus bas (2003 et 2006), la nuisibilité y a été la plus faible. Ces rendements décevants ont une origine d'abord climatique: gel puis sécheresse et forte température en 2003, échaudage thermique en 2006.

Là où les rendements sont satisfaisants (2004 et 2008), la nuisibilité peut être qualifiée de normale (2004) ou d'exceptionnelle (2008). En 2008, une analyse par région met en évidence que c'est dans les régions caractérisées par les plus fortes nuisibilités que le rendement a été le plus satisfaisant. Ce résultat est à mettre en relation avec deux aspects: des températures clémentes et une humidité non limitante favorisent le développement de certaines maladies (septoriose en 2008), mais avantagent également

l'obtention de rendements élevés dès lors que la protection est correcte.

Évolution des IFT

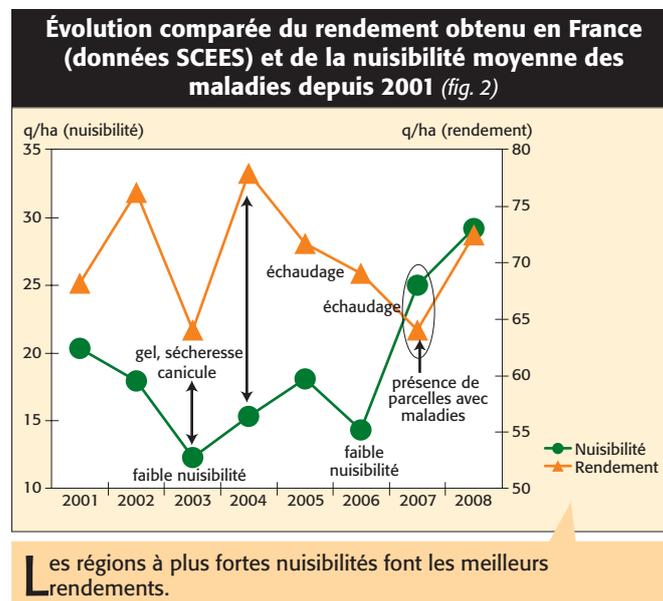
Sur la base des réseaux d'enquête, nous avons analysé l'évolution des pratiques culturales depuis 1995 en considérant l'indicateur IFT produit (Indice de Fréquence de Traitement). Cet indice est, par construction, lié aux doses de produits adminis-

trés: par exemple, un indice de deux signifie que l'agriculteur a appliqué sur le cycle du blé deux produits à la dose homologuée (pleine dose) ou un produit pleine dose suivi de deux applications toutes deux à mi-dose.

Entre 1995 et 2004, l'IFT a diminué en moyenne de 25 %, avec une faible variabilité entre les différentes régions. La plus forte diminution est interve-

▲ Des semis trop précoces peuvent augmenter les risques de gel d'épis.

nue en 2003. À partir de 1998, l'origine de la baisse de l'IFT est attribuée à l'application de produits à base de molécules plus efficaces - les strobilurines - pouvant donc être utilisés à plus faible dose. À partir de 2003, ces molécules ont été confrontées à des phénomènes de résistance, ce qui a conduit à les remplacer par des produits autres, souvent moins efficaces et requérant souvent une utilisation en mélange avec des dosages en hausse.



▶ L'évolution des facteurs climatiques ne s'est pas faite partout avec le même rythme.

Pourtant, dès 1995, les rendements commencent à stagner.

On observe en revanche une remontée significative de l'IFT en 2007 et en 2008 liée à la pression maladie de l'année.

En considérant que l'IFT de 1995 correspond à une dose proche de la dose op-



▲ Les gains de rendement induits par la génétique ne viennent pas d'une augmentation de la biomasse chez les variétés récentes.

© N. Cornec

▶ La variation interannuelle du rendement est largement soumise aux fortes températures et au déficit hydrique, y compris dans les régions à fortes potentialités.

Cette première étude devra donc être précisée en considérant la valeur de l'IFT par molécule optimale par année et par région. Elle fournit toutefois un ordre de grandeur réaliste des pénalités moyennes consécutives à l'évolution de l'utilisation des fongicides.

Parmi les facteurs autres ayant également contribué à éroder les rendements, on

Recherche variétale : obtenir de meilleures tolérances et caractéristiques de croissance

La biomasse acquise à la floraison risque d'être pénalisée par l'élévation de la température en cours de montaison, le recours à des variétés plus précoces et l'intensité plus soutenue des déficits hydriques. Il apparaît donc logique de rechercher des variétés à fortes fertilités, c'est-à-dire produisant un effectif élevé de fleurs et requérant moins de biomasse à la floraison pour produire un nombre de grains/m² suffisant. De telles variétés existent (Trémie, par exemple) et des QTL (Quantitative Trait Locus ou Locus à effets quantitatifs : région d'ADN où est localisé un ou plusieurs gènes à l'origine du caractère en question) spécifiques de la fertilité ont d'ores et déjà été identifiés. Concernant la performance des variétés sous contraintes hydriques, nos résultats ont montré qu'elle est en relation étroite avec l'efficacité d'utilisation de l'eau (quintaux de grains produits par millimètre d'eau consommé). Entre les variétés les plus

sensibles et les plus tolérantes, un écart moyen de 7 q/ha a été trouvé. ARVALIS - Institut du végétal coordonne sur ce sujet un projet de recherche subventionné par le GNIS associant l'INRA, le CNRS et les sélectionneurs. Comme les stress abiotiques et biotiques sont susceptibles de coexister dans une même parcelle, des méthodes visant à identifier la tolérance globale des variétés sont actuellement en cours d'évaluation. Des premières études menées par l'INRA de Clermont-Ferrand ont récemment démontré qu'il existe face à la canicule des différences significatives de comportement entre les variétés. Ce point est crucial car, contrairement au risque de sécheresse, le risque d'échaudage concerne tous les types de sol et la plupart des régions. Enfin, avec une anticipation importante des stades et une variabilité climatique qui semble s'amplifier, on ne peut rejeter l'hypothèse d'un maintien des risques au moment de la méiose et de la fécondation.

Ceci met l'accent sur l'intérêt de caractériser l'aptitude des variétés à franchir ces étapes cruciales sous une plus large gamme de conditions environnementales. Par ailleurs, on peut faire l'hypothèse que, de plus en plus, des facteurs limitants différents pourront coexister au sein d'un même cycle. Il convient donc de rechercher des variétés capables de tolérer un ensemble de stress (climatiques, azotés ou liés aux maladies). Derrière ces préjugés, des mécanismes physiologiques communs existent et offrent une voie à la sélection de variétés « multitolérantes ». Enfin, face aux maladies, il est possible de cultiver des variétés associant tolérance et forte productivité. Face au contournement des gènes de résistance et face au fait que les maladies qui se développent sur une même parcelle peuvent être différentes d'une année à l'autre, le recours à des mélanges variétaux est une solution à étudier.

▼ Avec un réseau de parcelles protégées de manière satisfaisante contre les maladies et des parcelles témoins non traitées, il est possible d'estimer la nuisibilité moyenne imputable aux maladies de l'année.



© N. Cornec

peut citer la simplification des rotations. Toutefois, compte tenu de l'évolution des surfaces en blé sur blé et de leurs taux actuels, leur participation à la limitation des rendements reste faible.

Utilisation de modèles de fonctionnement des cultures

Certains modèles sont capables de rendre compte des effets du climat sur le rendement. Leur utilisation sur des grandes séries d'années climatiques et sur différentes régions, en considérant que les techniques culturales sont conduites à l'optimum, a permis de mettre en évidence la participation des effets du climat dans les rendements obtenus.

Deux types de modèles ont été utilisés: l'un mis au point par l'INRA (STICS Blé), l'autre par ARVALIS – Institut du végétal.

Les résultats entre les deux modèles sont très convergents. Dans la plupart des situations, on observe d'abord un effet neutre ou positif du climat entre les années 1955 et 1995. Après 1995, on constate une incidence franchement négative du climat

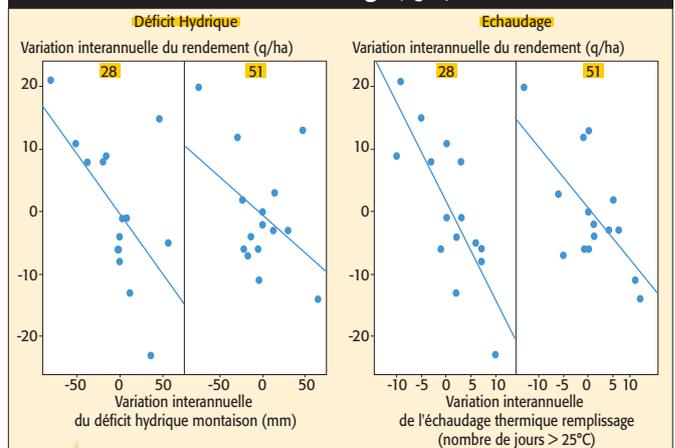
sur le rendement. Seules les bordures maritimes du nord et du nord-ouest manifestent peu d'effets climatiques pénalisants. Les pénalités sont plus accusées en région sud, dans le Centre et le Centre-Est. Ces constats sont cohérents avec les analyses précédentes.

L'analyse de ces simulations tend à montrer que les facteurs responsables des plus faibles rendements depuis 1995 sont surtout la présence et l'intensité de sécheresses plus fréquentes, ainsi que l'occurrence de températures trop élevées pour le blé.

Confrontation avec les faits

Ces hypothèses sont confirmées par deux approches complémentaires. La première explique la variation du rendement sur la base des rendements statistiques (SCEES) pour cinq régions. (PACA, Bourgogne, Centre, Haute Normandie et Picardie). La température et le déficit hydrique expliquent à 88 % (PACA) et 65 % (Normandie) la variabilité interannuelle du rendement régional.

Variation interannuelle des rendements (1990-2005) dans la Marne et l'Eure-et-Loir expliquée par le déficit hydrique et l'échaudage (fig. 3)



Variation interannuelle: variable année N - variable année N-1

L'écart de rendement entre deux années successives est mis en relation avec des écarts interannuels de conditions climatiques. Pour la quasi-totalité des départements, dont ici les départements de l'Eure-et-Loir et de la Marne, on observe des relations négatives significatives entre les variables sécheresse en cours de maturation et nombre de jours trop chauds au cours du remplissage.

La deuxième démarche - plus basique - a consisté à calculer pour toutes les années l'écart de rendement entre chaque année et celle qui la précède, avec un résultat analogue (figure 3).

Pour apporter des éléments probants supplémentaires, nous avons comparé l'évolution des rendements établis selon les statistiques régionales et nos expérimentations (menées à l'optimum). Cette analyse comparative a été menée en Champagne, Bourgogne, Bretagne et PACA.

Pour toutes les régions, on note une exacte synchronie

quant à la variation d'une année à l'autre des rendements (figure 4): le poids du climat est prééminent. Si, effectivement, le plafonnement du rendement était dû à des changements d'attitude en termes de techniques culturales, une telle concomitance n'existerait pas entre les deux sources d'information.

Stratégies d'adaptation

Le plafonnement et la variabilité interannuelle des rendements sont expliqués pour environ 60 % par les conditions climatiques. Le début de la période du plafonnement, ainsi que la nature des

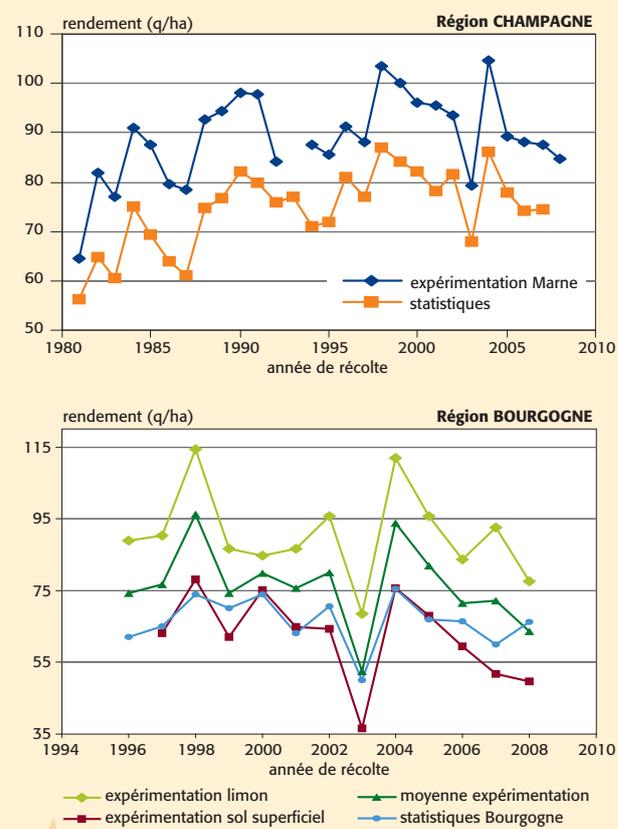


facteurs climatiques identifiés, sont cohérents avec les conclusions émises par les experts du GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat). L'anticipation des stades (*encadré 1*) n'a pas été suffisante pour annuler l'impact des facteurs climatiques. Les technologies actuelles de sélection puis de caractérisation des variétés occupent déjà des voies d'adaptation aux évolutions climatiques. Evidemment l'optimisation des autres techniques de production (protection et nutrition de la culture) reste un enjeu fort ■



Les rendements décevants étaient principalement dus au gel et à la sécheresse en 2003 et à l'échaudage thermique en 2006. ▶

Évolution comparée des rendements en régions Bourgogne et Champagne (SCEES) et des moyennes des rendements issus des expérimentations ARVALIS – Institut du végétal (fig. 4)



Les expérimentations de l'institut sont conduites à l'optimum des techniques de culture. On note dans tous les cas une exacte concomitance.



© E. Masson, ARVALIS-Institut du végétal

Mieux esquiver les risques (enc. 1)

Le risque d'échaudage thermique et de sécheresse s'accroît en fonction de la date d'épiaison. Ces constats prèchent pour des dates d'épiaison précoces dans la plupart des régions. Dans le cadre des bordures du nord, il est tout à fait possible de ne rien modifier puisque les risques climatiques y sont les plus faibles. Ces régions sont *a priori* peu concernées par l'évolution climatique. Dans les autres régions, la recherche d'une épiaison précoce doit tenir compte de l'augmentation du risque de gel d'épis. Mais renforcer la présence de variétés précoces ne doit pas engendrer l'utilisation de semis trop précoces : l'attitude est plutôt de semer des variétés précoces à des dates déjà pratiquées sur des variétés plus tardives, en acceptant un risque de gel d'épis supérieur.

Le recours à des semis ultra-précoces se traduirait par une augmentation plus significative des gels d'épis ainsi que par une élévation significative d'autres risques indirects susceptibles d'affecter le coût de production : pucerons à l'automne, infestation plus grande de mauvaises herbes, augmentation de la quantité d'inoculum « à la sortie de l'hiver » de certaines maladies cryptogamiques (septoriose et piétin verse) et augmentation du risque de verse.

Pour les régions caractérisées par un fort échaudage et des sols à faibles réserves (Bourgogne, Berry...), la substitution du blé par l'orge d'hiver peut être une stratégie efficace. On constate en effet une performance et une meilleure stabilité de cette espèce en année plus sèche ou plus chaude. De ce fait, le rendement de l'orge d'hiver diminue moins rapidement que celui du blé. Construire un blé qui aurait la phénologie d'une orge d'hiver tout en conservant le potentiel d'un blé est une direction à promouvoir. Dans les régions peu gélives, l'orge de printemps peut être semée à l'automne, notamment dans les zones où cette culture n'est pas irriguée.

En cas de scénario avec des températures élevées en automne et en hiver, (comme en 2007 et en 1995), la date du stade épi à 1 cm risque d'être beaucoup trop précoce avec les variétés actuelles, précoces à l'épiaison. La construction de variétés plus précoces à l'épiaison, mais néanmoins stables au stade épi à 1 cm est envisageable en combinant forte précocité intrinsèque et forte exigence en durée du jour. Ces notions font effectivement appel à des gènes de développement que l'on peut introduire au sein d'une même variété.