

Compte rendu des échanges survenus au cours du séminaire
« idéotype Variétaux »
co-organisé par le GIS GC HP2E et le GIS Fruit
les 7 et 8 février 2013 à Paris

Contexte – Introduction

Contexte du séminaire

Les contraintes qui s'appliquent aux systèmes de production sont de plus en plus nombreuses et diversifiées (satisfaction des marchés, compétitivité économique aux différents maillons des filières, réduction des impacts environnementaux, réglementation évolutive, changement du climat et augmentation de sa variabilité interannuelle, volatilité des prix...). Maintenir ou accroître qualitativement et quantitativement les performances agronomiques dans ce contexte de production impose de faire évoluer conjointement les caractéristiques attendues des variétés et les méthodes pour concevoir et évaluer de nouveaux idéotypes. Ce séminaire avait un triple objectif

- définir une démarche partagée pour la conception et l'évaluation d'idéotypes ;
- faire un état des lieux des avancées méthodologiques et des outils disponibles pour aider à mettre en œuvre la démarche sur différentes espèces et dans des contextes de culture variés ;
- discuter la pertinence et l'opérationnalité de la notion d'idéotype et de la démarche proposée, d'identifier ses atouts et les verrous qui pourraient impacter sa mise en œuvre et entraver le passage d'un idéotype sur le papier à une démarche de sélection au champ.

La démarche proposée

Un important travail réflexif a été mené en amont du séminaire pour définir ce qu'est un idéotype et formaliser les grandes étapes d'une démarche de conception-évaluation d'idéotypes de plantes. Cette réflexion s'est largement appuyé sur les résultats d'initiatives antérieures, notamment les travaux menés dans le cadre du projet Endure¹ et l'école chercheur INRA-CIRAD intitulée « Conception d'idéotypes de plantes pour une agriculture durable ». L'idéotype a ainsi été défini comme « une combinaison optimale de caractères morphologiques et physiologiques ou de leurs déterminants génétiques conférant à un matériel végétal une adéquation satisfaisante à un environnement, à un mode de production et d'utilisation donné ». Une démarche en trois grandes étapes a été proposée pour construire des idéotypes de plantes (figure 1). La première étape (cadre Objectifs) consiste à définir un ou plusieurs cahiers des charges pour les idéotypes de plantes, la deuxième étape (cadre Conception) consiste à concevoir puis à construire des idéotypes susceptibles de répondre à ce(s) cahier(s) des charges et la troisième étape (cadre Evaluation) consiste à évaluer l'adéquation des idéotypes construits avec les cahiers des charges précédemment définis. Une description plus fine de la démarche est proposée en annexe.

¹ Inventory of major points to consider during the process of elaborating ideotypes in the context of alternative or innovative systems. Deliverable DR4.13 du projet ENDURE (European Network for Durable Exploitation of crop protection strategies)

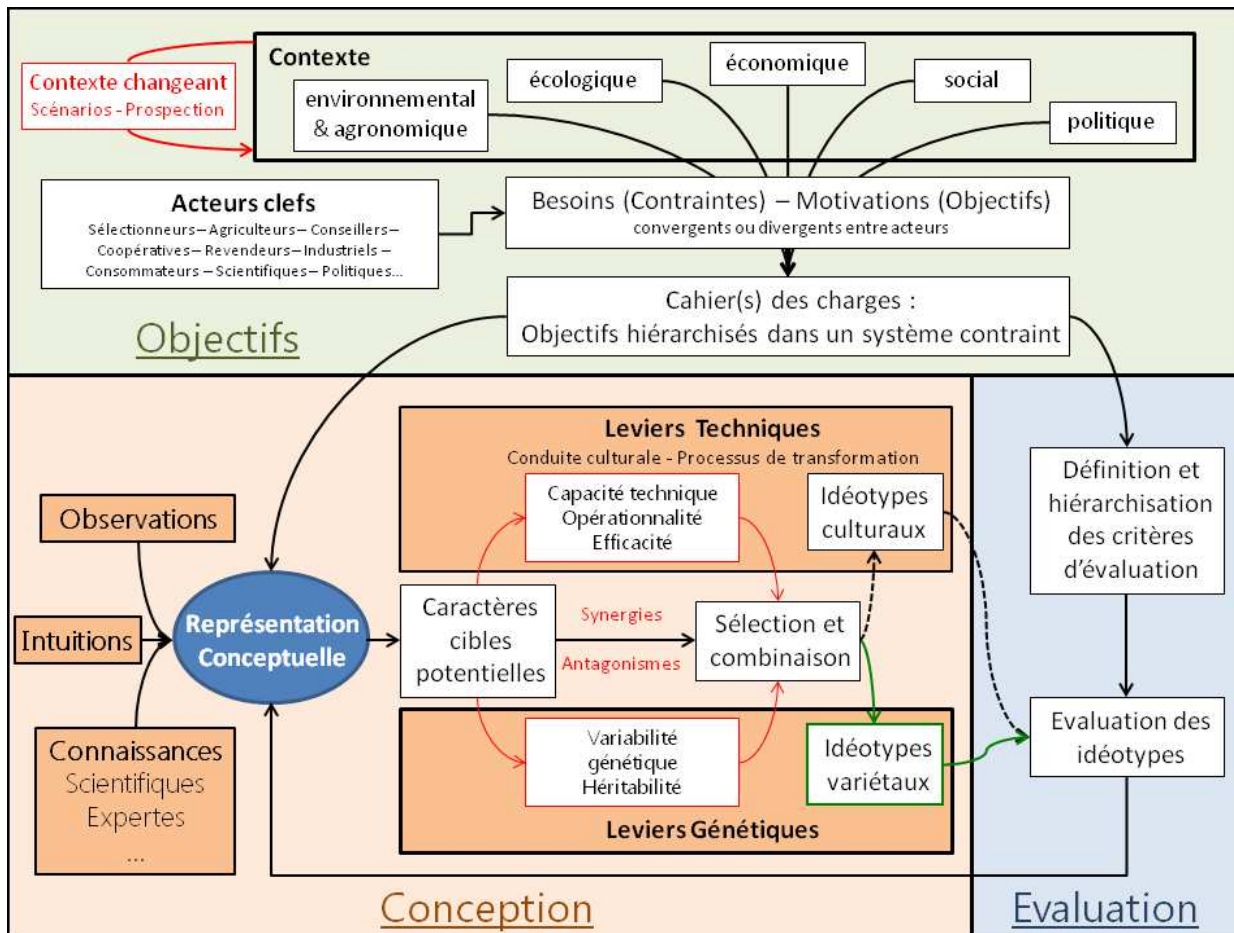


Figure 1 : Schéma de la démarche de conception évaluation d'idéotypes proposée dans le cadre du séminaire

Les présentations

Après avoir posé les objectifs du séminaire (Antoine Messéan et Carole Caranta, INRA) [Exposé 0], défini le concept d'idéotype et présenté la démarche globale de conception et d'évaluation d'un idéotype (Arnaud Gauffreteau et Charles-Eric Durel, INRA) [Exposé 1], Gilles Stagnaro (Limagrain) a donné la vision de l'idéotype par le sélectionneur. Il a précisé l'intérêt de la démarche, décrit la manière de faire actuellement et identifié les besoins en matière de recherche et d'outils [Exposé 2].

Suite à cette session introductive, la première journée du séminaire a consisté en un ensemble de présentations visant à illustrer sur 3 espèces (le pois, le blé et le pommier) les différentes étapes de la démarche par des chercheurs et professionnels qui ont mis ou mettent en œuvre tout ou partie de la démarche. La figure 2 replace les différentes présentations sur la démarche proposée.

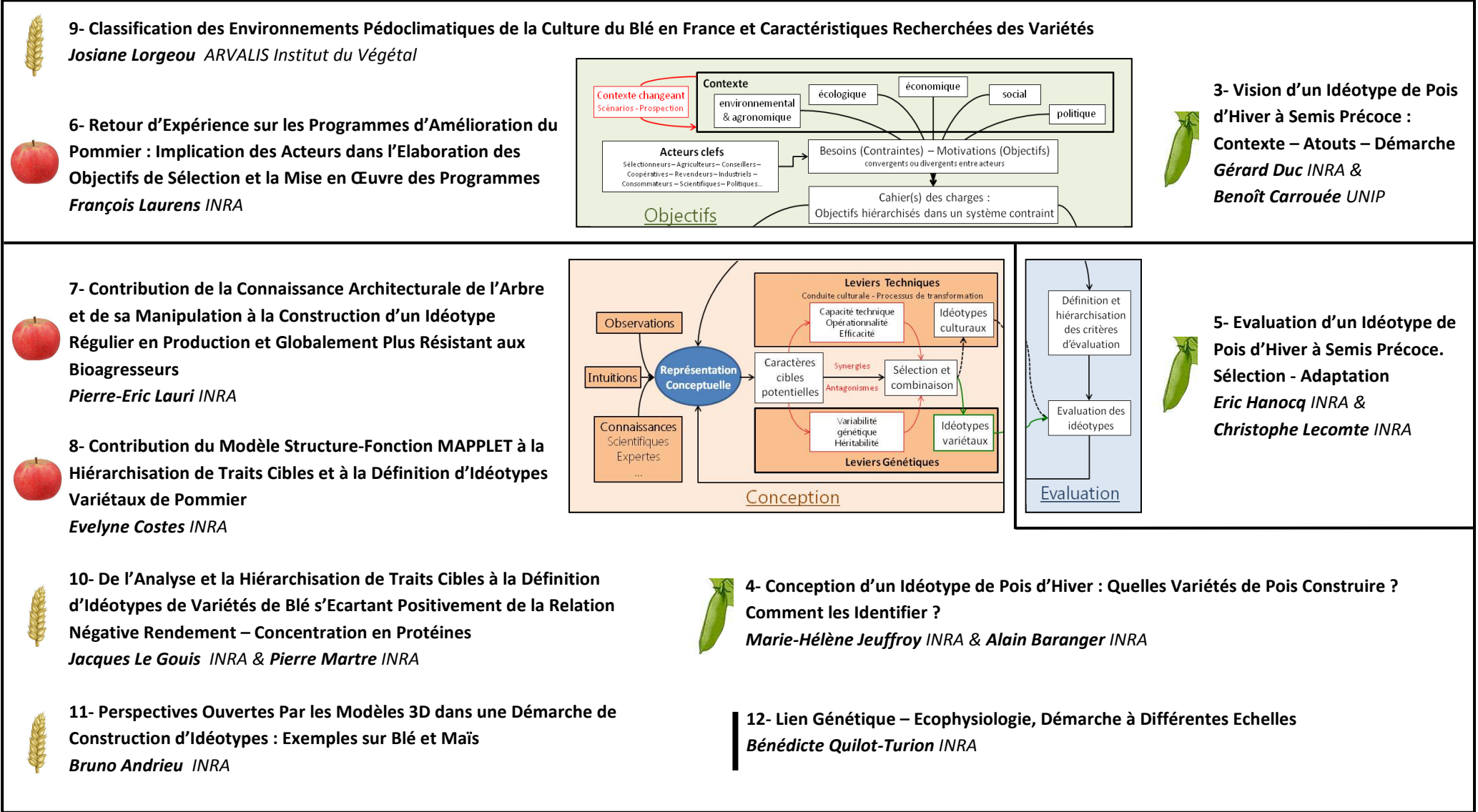


Figure 2 : Classification des présentations selon l'étape de la démarche et l'espèce concernées

Synthèse des idées forces issues du temps de présentation

Quelques idées forces issues des présentations de la première journée ont fait l'objet d'un bilan en début de deuxième journée. Nous reprenons ces idées ci-dessous en les classant par étape de la démarche.

Définition des cahiers des charges pour les idéotypes

Cette étape commune à la sélection classique et la sélection sur idéotypes occupe une place centrale dans la démarche. La définition et la hiérarchisation des objectifs attendus de la culture vont d'une part orienter fortement la conception de l'idéotype et la sélection à venir [Exposé 2] et d'autre part permettre de définir les critères pour son évaluation [Exposé 1]. La définition du contexte d'utilisation des variétés futures nécessite de bien connaître les conditions de production au sein de la zone géographique cible. La définition de ces conditions peut s'appuyer sur l'utilisation de modèles, de données de sol et de climat ainsi que sur de l'expertise. Ces informations permettront d'identifier des zones de production homogènes [Exposé 9]. La demande du marché et le contexte de production tant climatique que technique ou réglementaire sont évolutifs [Exposés 2, 9]. Ils appellent donc la réalisation d'études prospectives, la mise en place de scénarios plausibles et l'identification d'éléments de contextes invariants parmi l'ensemble des scénarios considérés. Du fait de la segmentation importante des marchés, des environnements et des pratiques, il n'existe généralement pas un seul mais plusieurs cahiers des charges pour le créateur de variétés [Exposé 6]. Le cahier des charges dépendra largement des acteurs impliqués dans la réflexion, de leur motivation, de leurs contraintes et de leur perception du contexte de production. Surmonter les désaccords entre acteurs autour de la définition du cahier des charges est nécessaire mais peut s'avérer être une tâche particulièrement difficile [Exposé 6].

Conception des idéotypes

Cette étape différencie la sélection sur idéotype de la sélection classique de type 'sélection pour le rendement' ou 'élimination de défauts'. Elle consiste à proposer des stratégies pour répondre aux objectifs du cahier des charges et identifier les mécanismes « élémentaires » qui permettront de mettre en œuvre ces stratégies le plus efficacement [Exposé 1]. Cette démarche réflexive favorise donc la compréhension des mécanismes fins et nécessite de mobiliser des connaissances dans différentes disciplines telles que l'écophysiologie, la génétique, l'agronomie ou encore la pathologie [Exposés 4, 7, 10 et 12]. Ainsi, l'application de la démarche de conception d'idéotype favorise le dialogue entre les disciplines et entre les métiers (chercheurs, sélectionneurs, préconisateurs...) et permet d'identifier des verrous de connaissance qui appellent de nouvelles recherches [Exposé 4]. Il faut noter qu'il existe généralement plusieurs façons de répondre à un cahier des charges et qu'ainsi un cahier des charges pourra donner lieu à plusieurs idéotypes [Exposé 1].

L'établissement d'une représentation conceptuelle en amont de la construction des idéotypes consiste à proposer des stratégies pour répondre aux différents éléments du cahier des charges. Par exemple, dans le cas du pommier, pour améliorer la qualité des fruits, on pense qu'il faut agir sur l'architecture de l'arbre en favorisant un éclairage maximal de l'ensemble des branches et une répartition optimale des fruits [Exposé 7]. Dans le cas du pois, afin d'augmenter la biomasse, de réduire les stress abiotiques à floraison et d'améliorer les conditions au semis, la stratégie proposée est un pois d'hiver semé en septembre et à floraison en mai [Exposés 3 et 4]. Cette étape ne pose pas encore la question de la faisabilité des stratégies proposées. Elle invite le concepteur à mobiliser des connaissances de nature variées (scientifiques, expertes, intuitions) [Exposés 1 et 2] et facilite ainsi l'innovation notamment en

rupture. Une fois la (les) stratégie(s) établie(s), la construction des idéotypes (sélection et combinaison de caractères cibles) pourra se faire au travers de leviers génétiques [Exposés 4, 10 et 12] mais aussi de leviers techniques qui peuvent être plus immédiats et dont il convient d'étudier les interactions avec les leviers génétiques [Exposé 7].

Deux types d'outils sont utiles durant cette phase de conception des idéotypes

- Des modèles (architecturaux, écophysiologiques, agronomiques, génétiques, décisionnels). Ils permettent de formaliser les connaissances acquises [Exposé 4], d'identifier les caractères influents notamment par des analyses de sensibilité [Exposés 8, 10 et 11], de simuler plusieurs combinaisons de caractères en offrant la possibilité de sortir des gammes usuelles et d'établir les combinaisons les plus pertinentes [Exposés 10 et 11] ou encore d'identifier les QTL contrôlant le niveau des caractères influents [Exposé 12]. Les modèles étant des représentations inexacts de la réalité paramétrées sur des jeux de données particuliers, il est important de se poser la question de leur domaine de validité. De plus, le développement et l'utilisation intensive de modèles qui peuvent être relativement complexes pose la question des outils informatiques adaptés à ce genre de travail et donne une importance particulière aux plateformes de modélisations [Exposés 8 et 11].
- Des expérimentations : Elles sont nécessaires pour Identifier les traits cibles potentiels, pour évaluer leur impact sur les différents objectifs du cahier des charges [Exposé 10], pour acquérir de l'information sur des verrous de connaissance : l'héritabilité et la variabilité génétique des traits, leur corrélation... [Exposés 8 et 12]
Mener une sélection de prototype assez précocement permet de confronter l'idéotype sur le papier aux observations du terrain. Dans ce cadre, il est intéressant de coupler sélection classique et sélection sur idéotypes [Exposé 5].
Ces expérimentations nécessitent de disposer de ressources génétiques riches et bien caractérisées (phénotypage).

Evaluation des idéotypes

Cette étape consiste à évaluer la capacité des idéotypes à répondre aux objectifs spécifiés dans les cahiers des charges. Contrairement à la phase de conception qui se focalise généralement sur un nombre limité d'objectifs identifiés comme prioritaires dans le cahier des charges, l'évaluation se fait généralement de manière plus exhaustive sur l'ensemble des objectifs listés dans le cahier des charges [Exposé 1]. Deux modes d'évaluations des idéotypes ont été illustrés durant ce séminaire :

- L'évaluation *in silico* : Il s'agit de simuler les performances de l'idéotype dans des situations variées. Pour que ce type d'évaluation fonctionne il est nécessaire de disposer de modèles adaptés aux objectifs fixés dans le cahier des charges [Exposé 4]. Par exemple, si un des objectifs concerne l'organisation du travail dans l'exploitation il faudra que les modèles utilisés dans l'évaluation intègrent ce critère. Les modèles présentent l'avantage de permettre une évaluation précoce d'un idéotype dans des conditions de culture extrêmement variées. Par contre, ces modèles n'étant jamais exhaustifs, ils ne permettent généralement d'évaluer qu'une partie des objectifs fixés dans le cahier des charges.
- Evaluation par expérimentation sur du matériel génétique en cours de sélection : Contrairement à l'évaluation *in silico*, cette évaluation permet d'évaluer un idéotype sur l'ensemble des critères définis dans le cahier des charges, mais elle se fait généralement que sur un nombre limité de

milieux. Dans ces conditions, il est nécessaire de bien caractériser les environnements d'essais et d'analyser l'interaction génotype x environnement qui s'y exprime. Cette analyse peut faire appel à des outils statistiques ou à des modèles agronomiques génétiquement explicites [Exposé 5].

La conception d'idéotypes de plantes est un processus itératif alternant les phases de conception et d'évaluation qui donnent lieu à des boucles de progrès. Les idéotypes peuvent ainsi évoluer selon les résultats de leur évaluation [Exposé 5].

Synthèse des échanges

Le séminaire s'est conclu par des ateliers d'échange. Leur objectif était d'apprécier la pertinence de la démarche pour les différents métiers et espèces représentés et d'identifier les verrous pouvant entraver sa mise en application.

Une démarche qui facilite les échanges/le partage/le dialogue/les collaborations

Parmi ses atouts, les participants au séminaire voient en cette démarche un bon moyen de susciter le dialogue et les échanges :

- (i) entre acteurs publics et professionnels impliqués dans la démarche au cours de la phase de définition du cahier des charges. Le partage d'informations apparaît nécessaire à la rédaction de cahiers des charges tenant compte de la diversité des stratégies et des contraintes en présence au sein des partenaires impliquées dans la démarche. Il permet aussi d'anticiper plus aisément l'évolution du contexte de production.
- (ii) entre disciplines (agronomie, génétique, écophysiologie, pathologie...) durant la phase de conception-évaluation de l'idéotype. Ces échanges participent au décroisement nécessaire entre disciplines de plus en plus spécialisées.
- (iii) entre chercheurs et professionnels durant la phase d'évaluation et de retours sur l'idéotype en développement. Le caractère itératif de la démarche de conception-évaluation implique des rencontres régulières entre les acteurs de la recherche (publique et privée) et du développement et participe ainsi à créer une dynamique de recherche tournée vers l'action.

Les participants voient en l'interdisciplinarité et la confrontation d'acteurs un facteur de créativité important. Ces collaborations peuvent lever les difficultés actuellement ressenties pour déterminer la nature des leviers à actionner génétiques ou/et techniques pour répondre à un objectif particulier. Cependant, ces échanges nécessitent une compréhension entre disciplines et métiers qu'il faut continuer à construire.

Définition des cahiers des charges

Les participants au séminaire sont tous confrontés à ce défi qui consiste à définir le « bon » cahier des charges pour les variétés futures. La définition du cahier des charges est perçue comme un filtre qui permet d'explicitier un choix de priorités parmi un grand nombre d'objectifs possibles pour les variétés à venir. Si ils sont convaincus de l'intérêt de ce travail ; les participants au séminaire perçoivent aussi ses difficultés.

Comment gérer la diversité des acteurs et des contextes de production ?

Comme évoqué précédemment, la constitution de cahiers des charges robustes nécessite d'impliquer une diversité d'acteurs intervenant aux différents niveaux de la filière de production. Les objectifs, les besoins et les contraintes de ces acteurs peuvent être assez divergents (marchés, milieux de culture, visions du monde différents...). Dans ce contexte, il est souvent difficile d'établir le périmètre d'application de la démarche (zone géographique cible, type de marché visé...) et de se mettre d'accord sur un cahier des charges. Ce travail est d'autant plus compliqué que les contraintes de concurrence entre acteurs et de confidentialité des stratégies individuelles peuvent censurer fortement le dialogue. L'étape de définition du cahier des charges doit avoir comme objectif d'explicitier ces divergences entre acteurs et pour cela doit parvenir à libérer la parole de chacun. Chaque acteur de la filière doit accepter de se remettre en question. La mise en œuvre de cette étape nécessite donc un accompagnement et peut-être un développement méthodologique.

Une deuxième difficulté évoquée réside dans la définition du contexte de production. Ce contexte est souvent fluctuant. C'est le cas par exemple des marchés peu structurés, comme dans le cas des matières premières substituables. C'est aussi le cas du contexte climatique ou économique (prix de l'énergie...). Il faut donc pouvoir intégrer ces aléas dans la définition même du cahier des charges, ce qui nécessite là encore des avancées méthodologiques.

Des pas de temps variables à considérer : notion de rupture et d'évolution pas à pas

Il est nécessaire de clarifier le pas de temps associé à chaque cahier des charges. Ces pas de temps interviennent notamment dans le choix des leviers à actionner durant l'étape de conception des idéotypes. Les leviers techniques plus rapides à mettre en œuvre pourront par exemple être préférés aux leviers génétiques dans le cas d'objectifs à courts termes.

La sélection des nouvelles variétés se réfléchit sur un pas de temps long (10 ans ou plus). Ainsi, les cahiers des charges doivent pouvoir intégrer des évolutions du contexte à long terme. Cet objectif nécessite de pouvoir mettre en œuvre des études prospectives afin d'établir des scénarios contextuels futurs. Ces scénarios permettent d'établir des cahiers des charges qu'il faut pouvoir tester notamment pour leur robustesse (pertinence du cahier des charges dans une variété de scénarios différents). Il apparaît très important d'avoir une vision prospective consolidée des cahiers des charges, par rapport aux grands enjeux et associant fortement l'aval des filières.

Deux façons d'innover en création variétale ont été évoquées durant les discussions. En général, l'innovation variétale s'appuie sur l'existant que l'on cherche à améliorer, on parle d'innovation pas à pas. Contrairement à l'innovation pas à pas, l'innovation de rupture consiste à construire totalement une variété sans lien avec l'existant en se donnant la possibilité d'explorer des chemins totalement nouveaux. La démarche d'idéotypage proposée durant le séminaire semble particulièrement bien adaptée à ce type d'innovation. Toutefois, l'innovation de rupture s'entend à plus long terme que l'innovation pas à pas et les idéotypes produits dépendront très fortement du cahier des charges établi ce qui donne une importance toute particulière à la prévision du contexte de production à long terme. De plus, il apparaît important aux participants d'analyser la place pour une rupture dans un environnement concurrentiel avec inerties comme celui de la sélection.

La conception des idéotypes : une étape en débat

Si les étapes de définition du cahier des charges et d'évaluation font l'unanimité entre les participants au séminaire, ce n'est pas le cas de l'étape de conception d'idéotypes. Si les chercheurs voient un

intérêt à cette étape, les professionnels et particulièrement les semenciers sont généralement plus réservés et ne la mettraient pas immédiatement en œuvre dans leurs structures respectives.

Des modèles pour quoi faire ?

La modélisation (mécanistique, statistique, décisionnelle...) est centrale dans l'étape de conception d'idéotypes. C'est une des raisons qui, semble-t-il, rend certains participants sceptique vis-à-vis de la démarche.

Les participants au séminaire voient généralement dans les modèles de bons outils (i) pour comprendre l'existant (résultats d'essais...), (ii) pour formaliser les connaissances et aborder des objectifs souvent complexes pour lesquels une représentation conceptuelle peut être utile voire nécessaire (actions multi-caractères, interaction GxE, adaptation au sans labour...), (iii) pour identifier les caractères influents ou (iv) pour comprendre et mesurer la variabilité génétique pour un caractère donné. Ces modèles apparaissent aussi nécessaires à la conception et l'évaluation ex-ante d'innovations, qu'elles soient variétales ou techniques. Les concepteurs de modèles les considèrent comme des outils essentiels à la conception.

Si les potentialités des modèles apparaissent évidentes pour une grande majorité des participants, leur mise en œuvre pour guider la création variétale ne fait pas l'unanimité. Ainsi, certains professionnels ont avancé que la modélisation n'était pas mise en pratique dans le cadre de la sélection (« on n'a jamais inscrit une variété sur la base d'un modèle »). Plusieurs explications ont été proposées pour expliquer ceci.

- (i) Les modèles apparaissent souvent comme simplistes et incomplets et leur utilisation pourrait emmener à « enfoncer des portes ouvertes ». De plus, le risque d'erreur des modèles apparaît trop important pour y fonder des choix de sélection.

Deux points de vue s'opposent quand à la nature des modèles nécessaires pour concevoir des idéotypes. Pour certains, il faut un modèle global qui représente tout, et de manière suffisamment précise (« tant que les modèles ne sont pas capables de simuler le fonctionnement d'une plante, ils ne sont pas utiles »). Toutefois, cette recherche du modèle global et précis est considérée comme utopique par nombre de participants au séminaire (« ce type de modèle c'est pour dans 20 ans »). Pour d'autres, des modèles partiels permettent de contribuer à la définition des idéotypes comme cela a été illustré sur pois dans le cas de la résistance au gel hivernal. Ces modèles permettent de répondre à quelques uns des objectifs définis dans le cahier des charges.

- (ii) Les modèles apparaissent comme difficiles d'accès, souvent boîte noire, ce qui entraîne un manque de confiance du côté des utilisateurs non développeurs. Pour palier ce manque de confiance, il faudrait a minima améliorer la pédagogie autour des modèles, organiser des formations, voire développer des processus de co-construction associant le(s) chercheur(s) développeurs et les utilisateurs des modèles.
- (iii) Enfin, il y a un besoin de faire converger des modèles écophysiologiques, épidémiologiques et génétiques. Il existe encore trop peu de modèles écophysiologiques présentant un paramétrage génétique, or la connaissance de la variabilité génétique des paramètres des modèles ainsi que leur interaction est fondamentale pour concevoir des idéotypes plausibles.

La nécessité de confronter la modélisation au monde réel

Les participants insistent sur l'importance d'une confrontation régulière et précoce entre l'idéotype sur le papier, ses performances in silico et la réalité du terrain. Une évaluation précoce au champ des idéotypes en cours de conception permet de palier le problème d'imprécision et d'incomplétude des modèles utilisés. Elle permet d'écarter les idéotypes non recevables et en même temps d'améliorer les représentations conceptuelles sous-jacentes. Elle permet aussi de ne pas perdre de temps dans le processus de sélection. Enfin, elle permet d'évaluer la précision et la robustesse des modèles (écophysiologiques, génétiques, agronomiques...) utilisés durant la phase de conception et le cas échéant de les améliorer.

Enfin, les participants insistent sur le fait que le travail annuel d'évaluation sur du matériel existant par les différents acteurs impliqués dans l'évaluation des variétés produit une information très riche valorisable pour la conception et l'évaluation des idéotypes à court et moyen terme.

Un risque de rétrécissement de la diversité

Un des principaux reproches fait à la démarche de conception d'idéotypes est qu'en se focalisant sur un nombre limité de caractères variétaux, elle risque de réduire la diversité génétique existante. La démarche apparaît trop rigide et en contradiction avec le besoin de flexibilité en sélection qui permet, en maintenant une certaine variabilité génétique, de pouvoir réorienter légèrement la sélection dans un pas de temps court en fonction des attentes du marché. Appliquée de manière linéaire, la démarche proposée présente le risque de passer à côté de l'idéotype inattendu ou pire de s'orienter vers une gamme d'idéotypes réduite et en inadéquation avec les attentes du marché. Ainsi, la démarche doit être prise comme un guide qui accompagne un processus de créativité et ne doit en aucun cas appauvrir la diversité des démarches de chacun.

Idéotypes de chercheurs vs idéotypes variétaux : la notion d'idéotypes flous

Il ressort des discussions que la mise en œuvre opérationnelle de la démarche au travers d'un processus de sélection n'est pas suffisamment explicite sur le schéma.

Pour l'heure la démarche est surtout pratiquée en recherche. Comme il est difficile d'intégrer simultanément plusieurs caractères au sein de l'idéotype du fait d'une mauvaise perception de leur interaction, les idéotypes de chercheurs sont généralement basés sur un nombre limité de caractères introduits de manière successive pour répondre à un cahier des charges relativement simple.

Comme dit précédemment, la sélection sur idéotype n'est pas pratiquée chez les sélectionneurs participant au séminaire, du fait de la faible confiance dans les modèles et du risque de rétrécissement de la diversité génétique. Cependant, ils considèrent que ce type de démarche pourrait donner naissance à des variétés intéressantes qu'ils pourraient utiliser comme parents dans leurs schémas de sélection. Enfin, pour palier le problème de rétrécissement de la diversité génétique la notion d'idéotypes flous a été évoquée. Ces idéotypes seraient basés sur des caractères assez génériques et la recherche de compromis tout en préservant une diversité choisie. Cette notion intéressante, qui se rapproche probablement plus de ce qui est actuellement pratiqué en sélection mériterait toutefois d'être mieux définie.

Des moyens nécessaires importants pour mettre en œuvre la démarche

La démarche requiert des connaissances préalables et des moyens pour développer les modèles et acquérir de nouvelles connaissances. Selon les participants, si elle est envisageable sur des espèces « majeures », elle serait difficile à mettre en œuvre sur des espèces « mineures » où les connaissances sont souvent moins nombreuses et les modèles non disponibles.

Cette observation repose la question de la mutualisation des données, de leur organisation au sein de bases de données communes ainsi que du développement de plateformes de modélisation facilitant l'accès, le développement et la prise en main des modèles.

Conclusion

Il ressort des échanges que si la démarche présente des atouts évidents (approche pluridisciplinaires et multi-acteurs de la définition des cahiers des charges et des idéotypes pour y répondre), son application nécessite de lever certains verrous importants, concernant notamment les modèles nécessaires, le cout d'application de la démarche et le risque de limitation de la variabilité génétique.

Il ressort aussi que cette approche permet de faire réfléchir au-delà de la seule innovation variétale et est donc complémentaire d'autres méthodes de sélection probablement plus disciplinaires (sélection génomique, sélection directe). Il ne faut donc pas voire en cette démarche un remplaçant potentiel aux démarches existantes mais plutôt une opportunité offerte à chacun d'enrichir sa propre démarche. Une première étape en ce sens peut être de réinterpréter la sélection passée dans le cadre du schéma et ainsi définir les modalités pour sa mise en œuvre à venir.

Annexe

Proposition d'une démarche pour la conception et l'évaluation d'idéotypes de plantes

Le concept d'idéotype a été proposé au départ par C.M. Donald (1968) comme support de réflexion pour renouveler les approches de sélection empiriques de type 'sélection pour le rendement' ou 'élimination de défauts'. Littéralement, le terme 'idéotype' signifie 'une forme représentant une idée' (Zeven, 1975). Appliqué aux plantes agricoles, un idéotype est donc un type de plante correspondant à une idée. Il ne s'agit pas nécessairement d'une plante 'idéale' comme cela est parfois mal traduit. Plus globalement, Donald (1968) définit l'idéotype comme 'un modèle biologique dont on attend qu'il se comporte d'une manière prédictible dans un environnement défini'. La notion de 'plante modèle' est sous-jacente à cette définition de l'idéotype. Elle offre un espace de réflexion pour raisonner la sélection de manière plus formalisée et détaillée que la sélection traditionnelle sur objectifs globaux (Sedgley, 1991 ; Rasmusson, 1991). La sélection sur idéotype (« ideotype breeding ») a été initialement développée sur plantes annuelles, principalement en céréales (Mock et Pearce, 1975 ; Rasmusson, 1987 ; Peng et al., 2008 ; Hanocq et al., 2009), et s'est progressivement étendue à certaines espèces forestières ou fruitières (Dickmann et al., 1994; Socias et al., 1998 ; Lauri et Costes, 2005; Cilas et al., 2006).

Dans le cadre de ce séminaire, nous proposons de définir un idéotype de plante de la façon suivante : « une combinaison optimale de caractères morphologiques et physiologiques ou de leurs déterminants génétiques conférant à un matériel végétal une adéquation satisfaisante à un environnement, à un mode de production et d'utilisation donné » (définition issue de l'école chercheur INRA-Cirad intitulée « Conception d'idéotypes de plantes pour une agriculture durable »).

Pour construire des idéotypes de plantes, nous proposons une démarche en trois grandes étapes. La première étape (cadre Objectifs) consiste à définir un ou plusieurs cahiers des charges pour les idéotypes de plantes, la deuxième étape (cadre Conception) consiste à concevoir puis à construire des idéotypes susceptibles de répondre à ce(s) cahier(s) des charges et la troisième étape (cadre Evaluation) consiste à évaluer l'adéquation des idéotypes construits avec les cahiers des charges précédemment définis. Le processus n'est pas linéaire, les étapes de construction-évaluation donnent lieu à des boucles de progrès, les idéotypes pouvant évoluer selon les résultats de leur évaluation.

Définition des cahiers des charges

Toute démarche de conception/évaluation d'idéotypes sera fortement marquée par les acteurs qui participent à cette démarche et le contexte dans lequel elle se construit. La démarche est généralement initiée par un petit nombre d'acteurs motivés par la production de nouvelles variétés adaptées à un territoire et/ou une utilisation défini(es). Il leur appartient en premier lieu de définir le contexte d'utilisation de leurs nouvelles variétés (**cadre contexte**). Il s'agit notamment de définir :

- Le contexte environnemental et agronomique : Quelle zone géographique est ciblée (région, pays, continent...) ? Quelles sont les conditions biotiques et pédoclimatiques dans lesquelles seront cultivées ces variétés (gammes plus ou moins larges) ? Quelle est la variabilité spatiale et temporelle de ces conditions environnementales ? Quels sont les systèmes de production ciblés (conventionnels, biologiques, intégrés...) ?

- Le contexte économique : Quels sont les débouchés ? Quels sont les filières et les acteurs économiques ciblés (agriculteurs, coopératives, industriels, consommateurs...) ? Quel est le contexte économique dans ces filières ? Quelles sont les propriétés technologiques attendues par les filières ?
- Le contexte écologique : Quel est le niveau « d'intensification écologique » recherché, fondé sur quels critères ?
- Le contexte social, politique et réglementaire : Quelles sont les réglementations en vigueur dans la zone géographique et pour le type d'utilisation pressentie ? Y-a-t'il une pression sociale et/ou des orientations politiques particulières à prendre en compte ?

Les éléments contextuels peuvent être extrêmement nombreux. Dans la pratique, il peut être nécessaire de restreindre le contexte à quelques spécifications particulières ; il est cependant important de garder en mémoire l'ensemble des éléments contextuels de manière à limiter le risque de s'orienter vers des variétés mal adaptées à la demande. Une difficulté majeure dans la définition du contexte est que ce dernier est évolutif et que la vitesse d'évolution de certains éléments du contexte peut être plus rapide que le pas de temps nécessaire à la création de variétés. Il faudra donc bien souvent considérer plusieurs scénarios contextuels, en les basant autant que possible sur des études prospectives, raisonner certains éléments du contexte en termes de risques et chercher à identifier les éléments invariants.

La deuxième tâche des acteurs initiateurs de la démarche consiste à identifier les acteurs à impliquer dans la démarche (**cadre acteurs clefs**). Devront être représentés les principaux acteurs ayant un impact sur l'avenir potentiel des nouvelles variétés dans le contexte d'utilisation préalablement défini. Parmi eux, nous comptons les obtenteurs des nouvelles variétés (sélectionneurs...), les utilisateurs (agriculteurs, coopératives, industriels, consommateurs), les préconisateurs (instituts techniques, coopératives, négoce, chambres d'agriculture, industriels...) ou encore des acteurs plus institutionnels orientant fortement la sélection (CTPS, ministère de l'agriculture...). Le groupe de réflexion devra aussi inclure des scientifiques ayant des compétences en génétique, en agronomie, en écophysiologie, en pathologie, en entomologie mais aussi en sciences sociales (économie, sociologie...).

L'étape suivante, consiste, pour le groupe d'acteurs formé, à préciser, dans le contexte préalablement défini, leurs **contraintes** (techniques, humaines, calendaires...) et leurs **motivations** (maximiser les revenus, stabiliser la production, améliorer la qualité du produit, limiter les intrants...).

Des contraintes et motivations des acteurs appliquées au contexte de l'étude découlent des **cahiers des charges** pour la plante/le couvert. Un cahier des charges peut ici être défini comme un ensemble hiérarchisé d'objectifs fixés pour la plante/le couvert permettant, dans un contexte donné, de répondre aux attentes des acteurs. Ce cahier des charges ne doit pas être confondu avec la description d'un idéotype. En effet, les objectifs fixés dans un cahier des charges sont généralement des propriétés ou valeurs d'usage pour lesquelles il est attendu une amélioration (rendement, résistance aux maladies ou à la sécheresse...) alors qu'un idéotype doit se traduire par une description fine des mécanismes (morphologiques, physiologiques, moléculaires...) susceptibles de permettre aux plantes d'atteindre ces objectifs. Ainsi, pour chaque cahier des charges établi, plusieurs idéotypes de plante peuvent être proposés. Chaque cahier des charges est un consensus entre plusieurs acteurs dont les contraintes et motivations donnent lieu à des objectifs qui peuvent être convergents ou divergents et qu'il faut s'attacher à satisfaire au mieux.

On trouve dans la littérature des exemples de cahiers des charges pour des idéotypes de plantes adaptés à des contextes de production particuliers (Van Bueren et al., 2002 ; Desclaux et al., 2009 ; Makanda et al., 2011). La définition de ces cahiers des charges passe généralement par des enquêtes individuelles auprès des acteurs ainsi que des réunions de concertation et de définition de stratégies entre les acteurs. Ces derniers peuvent s'appuyer sur des études prospectives pour lesquelles des méthodologies exploratoires sont de plus en plus formalisées. Des outils d'aide à la décision de type évaluation multi-critères comme DEXi (Bohanec et al., 2000 ; Bohanec, 2009) peuvent aussi être très utiles pour formaliser la hiérarchisation des objectifs dans un ensemble de contraintes.

Conception d'idéotypes de plantes

Pour chacun des cahiers des charges produits, la conception d'idéotypes se fait ensuite selon trois grandes étapes :

Dans un premier temps, est élaborée une **représentation conceptuelle** de la plante/du couvert que l'on cherche à obtenir. Cette représentation s'apparente à un ensemble hiérarchisé de stratégies permettant de répondre aux différents éléments du cahier des charges. Par exemple, pour éviter des stress hydriques de fin de cycle, on pense qu'il peut être intéressant d'avancer la date de floraison ou de maturité ; pour augmenter le rendement, on pense qu'il peut être utile d'augmenter la densité de peuplement et en conséquence de limiter la compétitivité entre plantes tout en renforçant la résistance à la verse ; pour améliorer la qualité des fruits, on pense qu'il faut agir sur l'architecture de l'arbre en favorisant un éclairage maximal de l'ensemble des branches et une répartition optimale des fruits. Pour élaborer cette représentation conceptuelle, les acteurs pourront s'appuyer sur des connaissances scientifiques formalisées (issues de l'expérimentation, de la modélisation), des connaissances expertes, des observations de terrain ou sur des intuitions issues du vécu de chaque acteur. Il est important de noter que pour innover, il faut quelque fois sortir des connaissances acquises et qu'à ce stade, nous ne posons pas encore la question de la mise en œuvre du concept établi ni même de sa faisabilité.

Une fois cette représentation conceptuelle établie, l'étape de construction de l'idéotype commence. L'ensemble des **caractères cibles potentiels** qui permettraient de mettre en œuvre les stratégies établies à l'étape précédente sont identifiés (vitesse de croissance, port de la plante, phénologie, mécanismes de résistance aux stress biotiques et abiotiques...). La possibilité d'agir sur chaque caractère d'intérêt sera évaluée. Deux grands types de leviers sont envisagés pour agir sur les caractères d'intérêt :

- les **leviers techniques** issus de la conduite culturale (application d'un régulateur de croissance, date et densité de semis, taille...) ou des processus de transformation industrielle (process de panification...) qui pourront être évalués selon leur faisabilité, leur opérationnalité et leur efficacité ;
- les **leviers génétiques** mis en œuvre par la sélection (caractères morphologiques et phénologiques variés, tolérances à différents stress biotiques et abiotiques...) qui pourront être évalués en termes de variabilité génétique et d'héritabilité associées à chaque caractère.

Ce travail permet de **sélectionner** les caractères élémentaires de la plante les moins difficiles à actionner (par la technique ou la génétique) et les plus efficaces pour atteindre les objectifs fixés dans le cahier des charges. La **combinaison** des caractères élémentaires devra faire l'objet d'une analyse des **synergies** et **antagonismes** qui existent entre eux (corrélations génétiques et environnementales). Certains

caractères peuvent en effet avoir une action positive sur certains éléments du cahier des charges et négatives sur d'autres éléments. Par exemple, dans le cas du pommier, un port architectural 'centrifuge' va favoriser la pénétration de la lumière dans l'arbre et la coloration des fruits ; Ce port semble aussi permettre de limiter les épidémies de tavelure, mais dans le même temps il semble favoriser le carpocapse. Ce travail permettra finalement de définir des **idéotypes variétaux** généralement associés à des **idéotypes cultureaux**. Ces idéotypes cultureaux sont des combinaisons de techniques (culturales ou de transformation) impactant certains des caractères phénotypiques élémentaires qui définissent les idéotypes de plantes choisis. Ils ne sont donc qu'une partie de l'itinéraire technique prévisionnel. En effet, certaines interventions qui impactent exclusivement l'environnement de culture (une grande partie des applications de pesticides par exemple) n'en font pas partie. Ces éléments de l'itinéraire technique doivent être considérés durant la phase de définition du cahier des charges et plus précisément lors de la description des conditions de culture (cadre contexte environnemental et agronomique) qui résultent d'une interaction entre une conduite et un environnement.

Cette étape de conception et particulièrement de construction des idéotypes fait appel à des connaissances variées notamment en génétique, en agronomie, en écophysiologie, en entomologie et en pathologie, souvent issues de l'expérimentation et qui peuvent être formalisées grâce à des outils de modélisation (mécaniste, statistique, décisionnelle...). Cette étape permettra souvent d'identifier des verrous de connaissances qui pourront donner lieux à de nouvelles études.

D'un point de vue pratique, la conception d'un idéotype de plante se fera généralement de manière itérative. Les objectifs du cahier des charges seront considérés successivement selon leur niveau d'importance pour les acteurs. L'idéotype évoluera donc graduellement à la lumière des résultats de son évaluation.

Evaluation de l'idéotype

Une fois les idéotypes conçus, leur capacité à répondre aux objectifs spécifiés dans les cahiers des charges doit être évaluée. Pour chaque cahier des charges, des **critères d'évaluation** seront **définis et hiérarchisés**. Il s'agira d'établir des indicateurs permettant de juger du niveau de satisfaction de chacun des objectifs du cahier des charges. Cette grille d'évaluation servira à **évaluer les idéotypes** produits et à ne conserver que ceux qui présentent un niveau de satisfaction global du cahier des charges acceptable. Pour établir ce niveau de satisfaction global, différentes méthodes d'évaluations multicritères pourront être mobilisées (DEXi, surclassement de synthèse...). Cette évaluation sert aussi à identifier les éléments du cahier des charges qui nécessitent un travail supplémentaire, elle permet de modifier la représentation conceptuelle de l'étape précédente et alimente ainsi une boucle de progrès. Nous voyons ici qu'il est important que les objectifs listés dans le cahier des charges soient définis de manière assez exhaustive pour que l'évaluation puisse se faire sur une gamme de critères suffisamment large. En effet, même si la conception d'idéotypes est largement basée sur quelques objectifs identifiés comme prioritaires dans le cahier des charges, tous les objectifs donneront lieux à une évaluation et permettront d'accéder à une connaissance plus fine de l'idéotype produit. L'élargissement des services écosystémiques attendus de l'activité agricole pourrait, par exemple, diversifier dans l'avenir les critères d'évaluation des idéotypes variétaux.

- Bohanec M., Zupan B., Rajkovic V., 2000. Applications of qualitative multi-attribute decision models in health care. *International Journal of Medical Informatics* 58: 191-205.
- Bohanec M., 2009. DEXi: program for multi-attribute decision making, Version 3.02. Jozef Stefan Institute, Ljubljana. <http://www-ai.ijs.si/MarkoBohanec/dexi.html>.
- Cilas C., Bar-Hen A., Montagnon C., Godin C., 2006. Definition of architectural ideotypes for good yield capacity in *Coffea canephora*. *Annals Bot.* 97: 405–411.
- Desclaux D., Chiffolleaux Y., Nolot J.M., 2009. Pluralité des agricultures biologiques : Enjeux pour la construction des marchés, le choix des variétés et les schémas d'amélioration des plantes. *Innovations Agronomiques* 4: 297-306.
- Dickmann D.I., Gold M.A., Flore J.A., 1994. The ideotype concept and the genetic improvement of tree crops. *Plant Breed. Rev.* 12: 163-193.
- Donald, 1968. The breeding of crop ideotype. *Euphytica* 17: 385-403.
- E. Hanocq, M.H. Jeuffroy, I. Lejeune-Hénaut, N. Munier-Jolain, 2009. Construire des idéotypes pour des systèmes de culture variés en pois d'hiver. *Innovations Agronomiques* 7: 14-28
- Lauri P.E., Costes E., 2005. Progress in whole-tree architectural studies for apple cultivar characterization at INRA, France - Contribution to the ideotype approach. *Acta Horticulturae* 663: 357-362.
- Makanda I., Derera J., Tongoona P., Sibiya J., 2011. Development of sorghum for bio-energy : a view from the stakeholders and priorities for breeding dual purpose varieties. *African Journal of Agricultural Research* 6: 4477-4486.
- Mock J.J., Pearce R.B., 1975. An ideotype of maize. *Euphytica* 24: 613-623.
- Peng S., Khush G.S., Virk P., Tang Q., Zou Y., 2008. Progress in ideotype breeding to increase rice yield potential. *Field Crop Res* 108: 32-38.
- Rasmusson, D.C., 1987. An evaluation of ideotype breeding. *Crop Science.* 27: 1140-1146.
- Rasmusson, D.C., 1991. A plant breeder's experience with ideotype breeding. *Field Crops Research.* 26: 191-200.
- Sedgley R.H., 1991. An appraisal of the Donald ideotype after 21 years. *Field Crops Research* 26: 93-112.
- Socias R., Felipe A.J., Gómez Aparisi J., García J.E., Dicenta F., 1998. The ideotype concept in almond. *Acta Hort.* 470: 51-56.
- Van Bueren E.T.L., Struik P.C., Jacobsen E., 2002. Ecological concepts in organic farming and their consequences for an organic crop ideotype. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 50, 1-26
- Zeven A.C., 1975. Editorial: idiotype and ideotype. *Euphytica* 24: 565.