



Des indicateurs pour gérer la fertilité P et K

La fertilité en phosphore et en potasse met en jeu des facteurs physiques et chimiques divers et complexes. Il est difficile de prévoir son évolution dans un régime de fertilisation donné. Aussi la gestion de la fertilisation se passe difficilement de la mesure de la teneur par l'analyse de terre. Cependant, lorsque la dernière analyse d'une parcelle remonte à plus d'une rotation, on peut s'appuyer sur quelques points clés pour, d'une part, qualifier la conduite de la fertilisation depuis cette dernière analyse et, d'autre part, évaluer un éventuel risque pour la culture. Ces indicateurs peuvent compléter utilement l'analyse de terre pour appréhender le comportement spécifique du sol de sa parcelle.

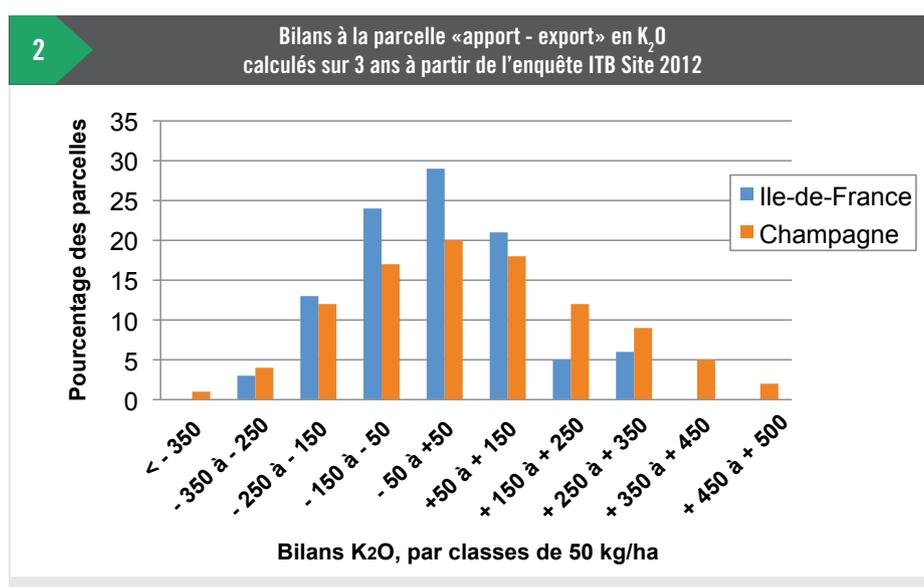
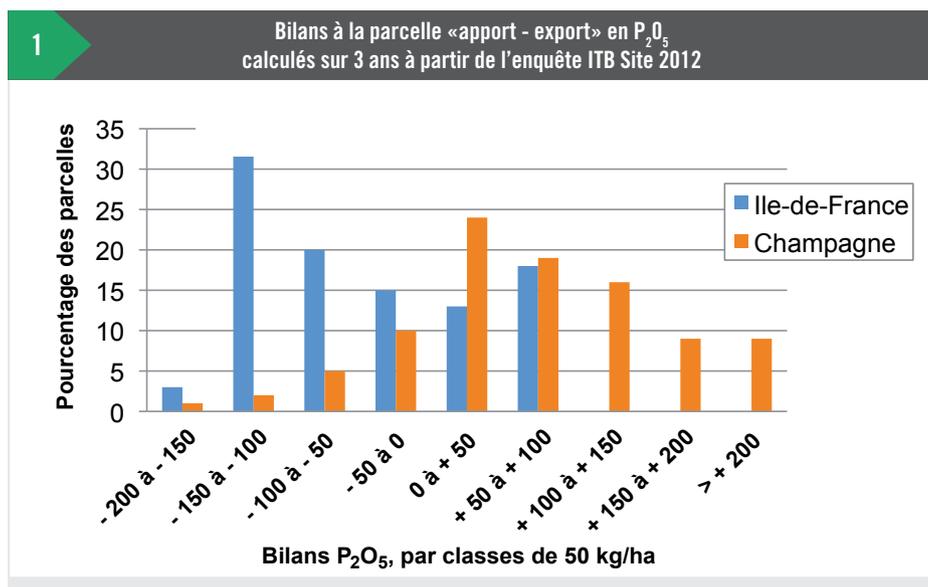
Les enquêtes annuelles des pratiques culturales dans les parcelles betteravières, enquête ITB Site, donnent un aperçu des conduites de fertilisation et de leur évolution. De façon très conforme aux évolutions des apports d'engrais minéraux toutes cultures confondues, les fertilisations minérales en P et K sur betterave sucrière ont globalement diminué durant la dernière décennie. Elles présentent cependant toujours une grande variabilité entre exploitations et entre parcelles. En calculant des bilans parcellaires, on identifie des bilans déficitaires, très majoritaires par exemple en région Ile-de-France pour le phosphore (figure 1) et la potasse dans notre échantillon enquêté, ou excédentaires, cas fréquent pour le phosphore en région Champagne (figure 2). Que faut-il penser de ces conduites contrastées ?

Le bilan de fertilisation : un indicateur de l'évolution de la fertilité

Indépendamment de leur niveau d'exigence, les cultures exportent par leurs récoltes des quantités d'éléments P et K très différentes. Des exportations par les pailles enlevées s'ajoutent aux exportations par les grains. Les successions de cultures peuvent donc se traduire par des niveaux d'exportations variés, que les apports d'engrais, minéraux et organiques, vont compenser. Le calcul simple d'un bilan en éléments, établi sur une durée d'une rotation ou sur un nombre d'années couvrant la gamme des cultures conduites sur la parcelle, peut être calculé par la différence entre la somme des apports en kg/ha de P_2O_5 ou K_2O et les exportations des organes récoltés, également exprimées en kg/ha de P_2O_5 ou K_2O . Les apports sous forme organique peuvent être traduits en unités fertilisantes avec le tableau de la page III (valeurs fertilisantes en P_2O_5 et K_2O).

Tableau 1 : Eléments de calculs des quantités d'éléments exportées par des récoltes, pour établir des bilans "apports – exportations"

	Teneur P_2O_5 des récoltes	Teneur K_2O des récoltes	Unité des teneurs	Rendement	Unité (rendement)	Export P_2O_5	Export K_2O
Betterave	0,5	1,78	kg/t à 16 °	80	t/ha à 16 °	40	142
Betterave	0,5	1,78	kg/t à 16 °	95	t/ha à 16 °	48	169
Blé tendre	0,63	0,5	kg/q	90	q/ha	57	45
Pailles de blé (ramassées)	1,69	12,29	kg/t	4,5	t/ha	8	55
Orge d'hiver	0,65	0,56	kg/q	80	q/ha	52	45
Orge de printemps	0,65	0,56	kg/q	65	q/ha	42	36
Maïs grain	0,59	0,56	kg/q	100	q/ha	59	56
Pomme de terre consommation	0,96	3,9	kg/t	45	t/ha	43	176
Pomme de terre féculé	1,25	5,12	kg/t	55	t/ha	69	282
Colza	1,26	0,85	kg/q	35	q/ha	44	30
Pois protéagineux	0,79	1,17	kg/q	45	q/ha	36	53
Lin fibre	2,06	7,2	kg/t	6	t/ha	12	43
Blé dur	0,83	0,45	kg/q	80	q/ha	66	36



Les graphes ci-dessus présentent la distribution des bilans en P_2O_5 et K_2O calculés sur une succession culturale de 3 campagnes, dans deux régions prises à titre d'exemple et présentant des tendances contrastées. Ces bilans (apports d'engrais – exportations par les cultures) ont été établis à partir de l'enquête ITB Site en 2012.

Des valeurs de quantités exportées moyennes sont indiquées dans le tableau 1. Ce calcul n'est pas suffisant pour raisonner la fertilisation, mais il permet de situer le régime de fertilisation des années précédentes, déficitaire, excédentaire ou équilibré. Bien que la relation entre un bilan "apport - export" et l'évolution de la teneur du sol ne soit pas unique et constante, même pour un type de sol donné, on peut situer des ordres de grandeur, qui peuvent être utiles pour juger de ses pratiques. On peut les résumer ainsi :

- On verra une évolution des teneurs du sol pour des valeurs de bilans au-delà de + 100 kg/ha (excédentaires) ou - 100 kg/ha (déficitaires), elles seront peu sensibles à des valeurs en deçà (plus proches de 0, donc de l'équilibre).
- L'évolution de teneur à la baisse dans un régime déficitaire peut être rapide si l'on part d'une teneur initiale élevée.
- Des données issues d'expérimentations de longue durée permettent de situer la baisse de teneur P_2O_5 Olsen dans une gamme de - 30 à - 60 ppm pour un bilan de - 400 kg/ha P_2O_5 dans un sol de limon moyen. Ces ordres de grandeur valent également pour des sols de limons argileux ou limons sableux, ainsi que pour les sols calcaires. Par contre, dans ces sols calcaires, des bilans nettement excédentaires en sols de craie ne se traduiront pas par des augmentations proportionnelles de la teneur, une partie des éléments se trouvant immobilisée.
- Pour le potassium en sols à dominante limoneuse, on peut évaluer la vitesse de baisse de la teneur en K_2O échangeable à 40 à 60 ppm pour un bilan déficitaire de 400 kg/ha.
- Les sols de craie et cranettes se distinguent surtout vis-à-vis des régimes déficitaires en potasse. La baisse de teneur du sol peut être deux fois plus rapide que pour des sols de limon pour un même niveau de déficit, avec des valeurs de - 60 à - 100 ppm K_2O pour des bilans de - 400 kg/ha de K_2O .

On indique ici des ordres de grandeur, qui permettent de situer un état de fertilité actuel d'une parcelle à partir d'une analyse établie antérieurement. Ce qui peut donner en particulier une indication du risque si la teneur initiale était faible.

Par ailleurs, le bilan "apport - exportation" sur une ou plusieurs rotations permet de caractériser le comportement de son sol et sa "réactivité" au régime de fertilisation, en le confrontant à l'évolution des teneurs entre deux analyses sur la même période.

Conduite dispendieuse ou conduite à risque ?

Les bilans excédentaires sont justifiés lorsqu'ils correspondent à un conseil raisonné en situation de teneur faible, inférieure au seuil Tr de la méthode Comifer. En dehors de cette situation, ils ne se justifient pas. L'engrais apporté n'est pas perdu et reste en grande partie disponible, mais une conséquence directe d'apports excédentaires est l'augmentation des quantités d'éléments exportés dans les récoltes, et ce sans effet sur la productivité (consommation de luxe). En terre de craie correctement pourvue, les fertilisations en P excédentaires se justifient d'autant moins que c'est dans ces sols que l'effet d'immobilisation peut être le plus marqué et limiter la disponibilité ultérieure des éléments apportés. Inversement, un bilan déficitaire, donc des fertilisations inférieures aux exportations, ne présentent généralement pas de risque car des sols bien pourvus resteront en capacité d'alimenter la culture. Cependant, des conduites en impasse continue sont déconseillées, sauf suivi régulier de teneur analytique. Pour ces situations, il est utile de connaître le niveau de teneur en dessous duquel on prend un risque fort de perte de productivité si on prolonge l'impasse.

Teneurs du sol : y a-t-il risque de carence pour la betterave ?

Les essais ITB regroupés dans les figures 3 et 4 donnent une information sur le niveau de teneur en dessous duquel on prend un risque important si la parcelle n'est pas fertilisée, qu'on peut qualifier de "niveau d'alerte" : En caractérisant chaque essai par l'indice de rendement de la parcelle témoin (rapport entre le rendement de la parcelle sans

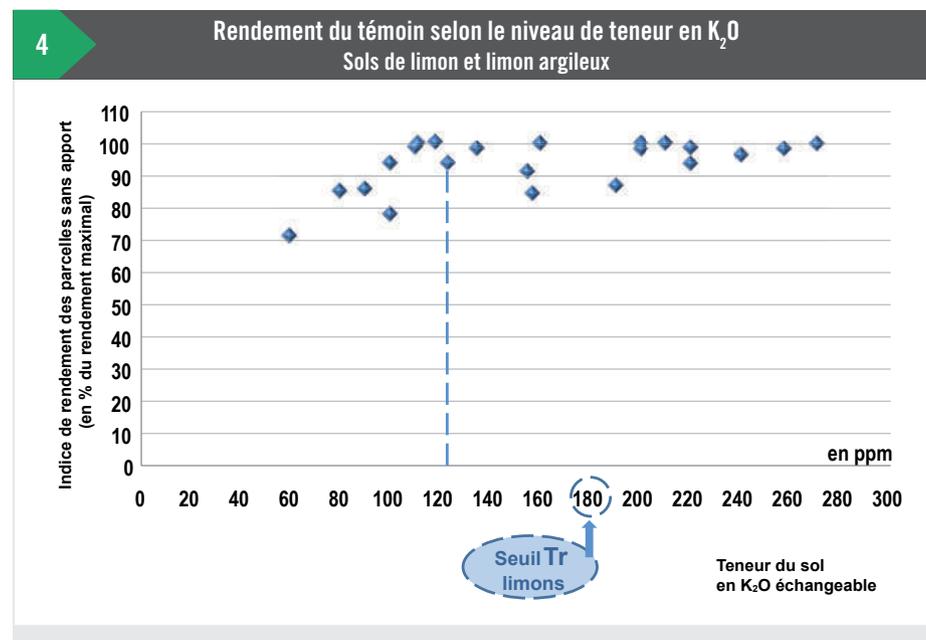
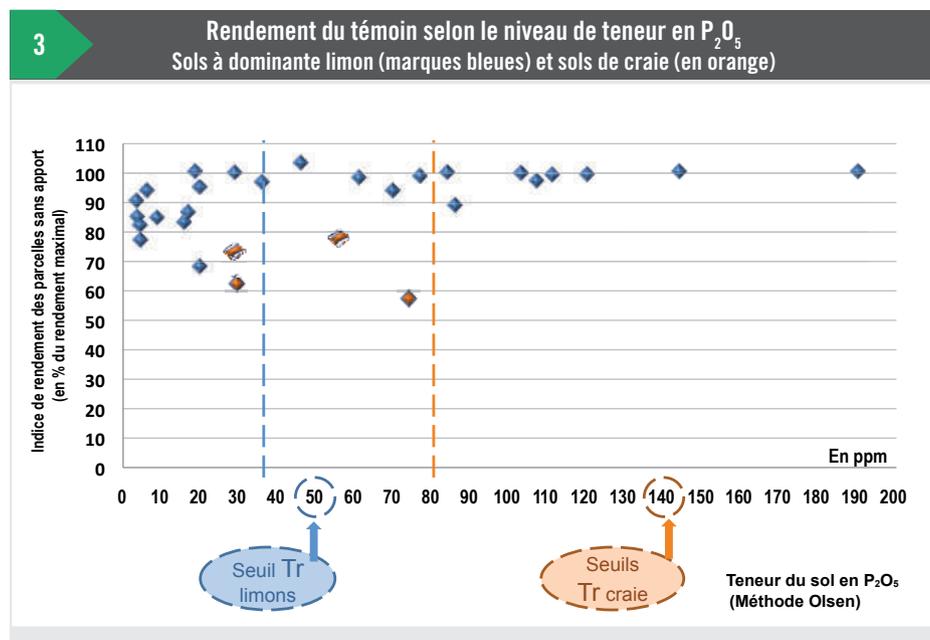
apport d'engrais et le rendement maximal obtenu avec une fertilisation), on constate que :

- Pour la fertilisation P_2O_5 , figure 3, le seuil d'alerte se situe autour de 35 ppm Olsen pour des sols à dominante limoneuse, limons argileux et limons sableux. Ce seuil est nettement plus élevé en terre de craie ou cranettes. Ce seuil en dessous duquel la productivité de la culture est réellement mise en jeu se situe autour de 80 ppm Olsen. Dans certains cas, la plante est fragilisée par la carence et rendue plus vulnérable aux bio-agresseurs. Cet effet indirect explique les plus fortes pertes de rendement.
- Pour la fertilisation K_2O , figure 4, le risque pour la culture est réellement marqué lorsque la teneur du sol est inférieure à 120 ppm de K_2O échangeable (les pertes de rendements des points situés plus à droite de la courbe ne sont pas statistiquement significatives).

Attention : les "niveaux d'alerte" des teneurs d'analyse de terre que nous avons proposé ici ne doivent pas être confondus avec les "valeurs seuils", Tr et Ti, utilisées pour le conseil par la méthode Comifer. La logique du conseil est justement d'éviter de se placer dans une situation à risque, donc de renforcer la fertilisation quand la teneur devient critique, avec des seuils situés au-dessus de la zone de risque.

Ce qu'il faut retenir

- La fertilisation phosphopotassique doit être raisonnée sur la base d'analyses de terre.
- La synthèse des expérimentations sur betterave sucrière permet d'établir des niveaux d'alerte pour les teneurs basses, en dessous desquels il y a un risque de carence préjudiciable au rendement.
- L'application des règles de conseil établies par le Comifer est cohérente avec ces résultats expérimentaux et permet d'éviter ce risque.
- Des calculs simples de bilan "apports - exportations" permettent de qualifier sa conduite de fertilisation, excédentaire, déficitaire, ou équilibrée, et d'estimer, grossièrement, son impact à moyen terme sur la fertilité du sol.



Résultats d'expérimentations annuelles de l'ITB, conduites dans des parcelles de teneurs variées en P_2O_5 et K_2O (en abscisse). Chaque point représente un résultat d'essai. Les résultats sont exprimés en indice de rendement, rapport entre le rendement du témoin sans apport d'engrais avant betteraves et rendement maximal établi sur les modalités fertilisées de l'essai. Le trait vertical pointillé matérialise le "niveau d'alerte", en dessous duquel il y a un gros risque de perte de productivité pour la culture de betterave. Les seuils "Tr" sont les seuils de teneurs appliqués dans la méthode Comifer, en dessous desquels les doses conseillées seront renforcées.

On voit que le positionnement de ces seuils permet d'éviter la plage de risque, et sont cohérents avec nos résultats expérimentaux.

Les conseils par la méthode Comifer pour la betterave

Les tableaux ci-dessous proposent des conseils de doses établis selon la méthode Comifer pour la betterave sucrière. Ces conseils tiennent compte du caractère exigeant de la culture, ainsi que de ses niveaux d'exportation, et ne peuvent pas être appliqués sur d'autres cultures. Pour des conseils plus précis et adaptés aux caractéristiques détaillées des parcelles, l'ITB propose un outil de calcul en ligne sur son site Internet www.itbfr.org.

Comment utiliser les tableaux ?

On choisit le type de sol correspondant à la parcelle à fertiliser. On utilise ensuite le résultat de l'analyse de terre qui indique une valeur de teneur et, pour le cas du phosphore, une méthode d'analyse (Joret-Hébert ou Olsen). Il n'y a qu'une méthode d'analyse pour le potassium. La teneur peut être mesurée en g/kg ou en ppm (partie par million). Le coefficient de passage de l'un à l'autre est : 0,1 g/kg = 100 ppm. Dans les tableaux proposés ci-dessous, les valeurs des seuils sont données en ppm. On situera la teneur de la parcelle dans un des intervalles délimités par les différents seuils.

Par exemple, une teneur en P_2O_5 (J. H.) de 220 ppm en sol de limon enverra à la cinquième colonne (entre 200 et 360 ppm). Dans cette colonne, on choisira la dose à apporter (dans l'exemple choisi, 3 valeurs sont possibles, 35, 45, ou 55 kg/ha), en fonction des apports d'engrais des deux années précédentes. Par exemple, s'il n'y a pas eu d'apport d'engrais pendant les 2 années précédentes, la dose conseillée sera de 55 kg/ha de P_2O_5 . En cas d'apport organique réalisé ou prévu, on calculera sa contribution avec le tableau ci-dessous. L'apport minéral viendra compléter à hauteur de la dose conseillée.

Détermination de la dose de P_2O_5 à apporter sur betterave en kg/ha (méthode Comifer)

Type de sol		Limon, limon argileux, argile						Craie, cranette, argilocalcaire						
Seuils J.H.		100	160	180	200	360	540	280	360	400	440	800		
Seuils Olsen		50	90	100	110	200	300	140	180	200	220	400		
Apport P_2O_5 des 2 années précédant la betterave	Apport chaque année	95	65	55	45	35	0	0	95	65	55	45	35	0
	Une des 2 années sans apport	145	90	65	55	45	0	0	145	90	65	55	45	0
	Aucun apport sur les 2 années	165	120	90	65	55	35	0	165	120	90	65	55	35

Détermination de la dose de K_2O à apporter sur betterave en kg/ha (méthode Comifer)

Type de sol		Limon						Limon argileux, argile, sols crayeux						
Seuils K_2O échangeables		170	270	300	330	600	900	200	360	400	440	800		
Apport K_2O des 2 années précédant la betterave	Apport chaque année	270 (310)	190 (240)	160 (200)	130 (130)	95 (95)	0	0	270 (310)	190 (240)	160 (200)	130 (130)	95 (95)	0
	Une des 2 années sans apport	320 (360)	220 (270)	190 (240)	160 (160)	130 (130)	0	0	320 (360)	220 (270)	190 (240)	160 (160)	130 (130)	0
	Aucun apport sur les 2 années	360 (390)	240 (280)	240 (280)	210 (250)	160 (160)	120 (120)	0	360 (390)	240 (280)	240 (280)	210 (250)	160 (160)	120 (120)

Valeurs fertilisantes en P_2O_5 et K_2O des principaux fertilisants organiques (Unité/ tonne de produit brut)

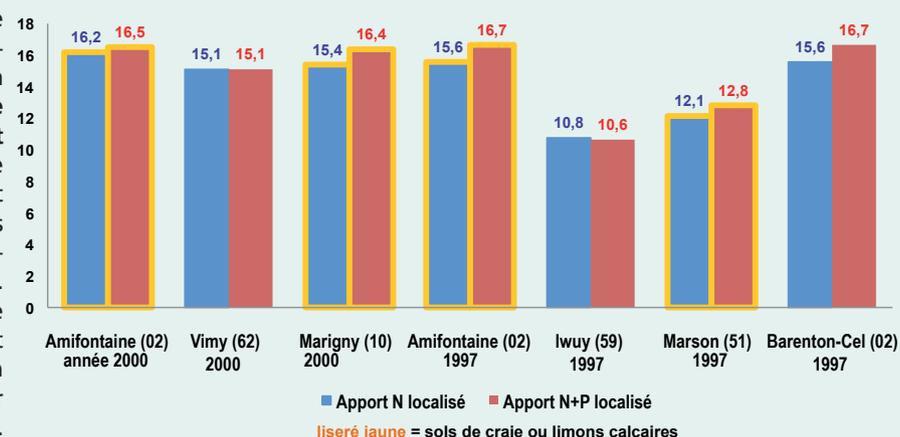
	P_2O_5 disponible	K_2O disponible
Boues pâteuses	6,4	0,8
Boues chaulées	8,0	0,9
Boues de papeterie	5	1
Boues liquides	2,3	0,4
Boues compostées	4,9	1,5
Boues déshydratées pâteuses	4,6	1
Boues déshydratées chaulées solides	7	1
Compost de déchets verts	1,6	7,3
Compost d'ordures ménagères	2,0	3,8
Ecumes de sucrerie	7,5	0,45
Fientes de volailles (à 75 % MS)	31,5	24
Fumier bovin frais (pailleux)	2,0	6,5
Fumier bovin décomposé	1,7	5
Fumier bovin	2,4	6
Fumier cheval	2,6	8
Fumier porcin	3,2	7,2
Fumier volailles	11,9	12,4
Lisier bovin	0,9	3
Lisier porcin	3,0	4,3
Vinasses concentrées	2	55

Les applications de phosphore localisé sont-elles valorisées ?

Pour des exploitations ou des entreprises disposant d'un semoir équipé en fertilisation localisée, une question récurrente porte sur l'intérêt des apports localisés au semis de doses modérées de phosphore, par analogie avec les pratiques développées sur maïs. Cette question est fondée puisqu'on sait que c'est à des stades précoces que la plante est le plus sensible à une faible disponibilité à proximité immédiate de son système racinaire. Le paramètre qui gouverne alors l'alimentation de la plante est bien la concentration en P dans la solution du sol, dans l'horizon superficiel et dans un volume restreint autour du chevelu racinaire.

Cette sensibilité s'exprime dans des milieux carencés et sans fertilisation ; la question est de savoir si un état de sol pourvu peut quand même générer des états de sub-carence, momentanés mais préjudiciables.

L'ITB a pu établir des résultats expérimentaux sur betterave sucrière, qui sont rassemblés dans le graphique de la figure ci-contre. Ces essais ont testé des apports sous forme DAP, ou apports formes solides NP, en comparaison d'une localisation d'azote seul. On peut interpréter certains résultats comme favorables, mais aucune différence n'est significative dans ces essais. Il semble que les apports localisés puissent avoir un intérêt dans des sols très calcaires, mais ces résultats devront être confirmés dans des essais permettant de conclure à des écarts significatifs. Il reste que le choix d'apporter du phosphore en localisation au semis se fera au détriment de la concentration de l'engrais apporté en azote, qui reste un critère important pour faciliter la logistique des opérations de semis. Cette option est plus facilement envisageable lorsque la dose d'azote à apporter est faible.



Gestion de l'irrigation

L'irrigation est un intrant essentiel dans les régions betteravières les plus sèches pour sécuriser le revenu du planteur et l'approvisionnement des usines. Deux expérimentations sont menées chaque année dans le Loiret pour acquérir des références sur une gestion optimale de l'irrigation : optimisation des apports d'eau en fonction du stade des betteraves, analyse des impacts sur le poids et la richesse. Ces essais ont permis de mettre au point le logiciel Irribet® pour apporter aux agriculteurs des conseils sur le raisonnement optimal de l'irrigation.



Des besoins en eau modérés

La culture de betterave évapore entre 400 et 600 mm d'eau pour une production de 15 t/ha de sucre. La fourchette basse correspond aux parcelles situées au nord de la Seine qui bénéficient d'une pluviométrie régulière et de sols capables de stocker des quantités d'eau importantes. Au sud de la Seine, la demande climatique est plus forte et la contribution des sols moins importante. Une irrigation de complément y est nécessaire. A l'échelle nationale, 12% des surfaces de betteraves sont irriguées.

Résultats pluriannuels sur l'impact de l'irrigation

Les cinq dernières années montrent des déficits hydriques très différents d'une année sur l'autre. Sur la station d'Orléans et pour un sol de 120 mm de réserve utile, l'année 2014 a été la plus pluvieuse pendant la période de culture de la betterave avec seulement 10 jours où la réserve en eau du sol est passée sous le seuil de la réserve de survie, contre 78 jours en 2011 et 74 jours en 2015.

L'impact du déficit hydrique sur la production peut être illustré par l'analyse des résultats d'expérimentations comparant le rendement obtenu en l'absence d'irrigation avec le rendement obtenu avec une irrigation optimale. L'impact du stress hydrique varie de 4 % de perte de rendement en 2012 à 42 % en 2015. Pour garantir le revenu

et les surfaces, il est souhaitable de disposer de l'irrigation dans ces zones climatiques.

Toutes les expérimentations ont également permis d'identifier les phases du cycle de culture les plus sensibles au stress hydrique, c'est-à-dire les phases où les pertes de rendement sont les plus importantes et où une bonne gestion de l'irrigation est primordiale. Les résultats montrent en particulier que les irrigations tardives (dernière décennie d'août) ne sont valorisées qu'une à deux années sur dix selon les stations climatiques, même lorsque le seuil de réserve en eau théorique pour déclencher une irrigation est atteint.

La principale raison est la perte de richesse quasiment systématique : sur 10 essais avec comparaison du rendement entre un arrêt d'irrigation le 20 août et un arrêt le 31 août, même pour un raisonnement des tours d'eau au seuil de réserve de survie, 9 essais montrent des pertes de richesses significatives allant de - 0,2 à 1 point de richesse. Le gain de poids racine ne permet pas de compenser cette perte de richesse donc l'ITB préconise un arrêt d'irrigation au plus tard le 20 août.

Une aide au pilotage de l'irrigation accessible à tous grâce à Irribet®

L'ITB met à disposition sur son site Internet un outil d'aide au pilotage de l'irrigation Irribet®. Il permet, à l'échelle de la parcelle, de définir les dates et doses d'apport en fonction

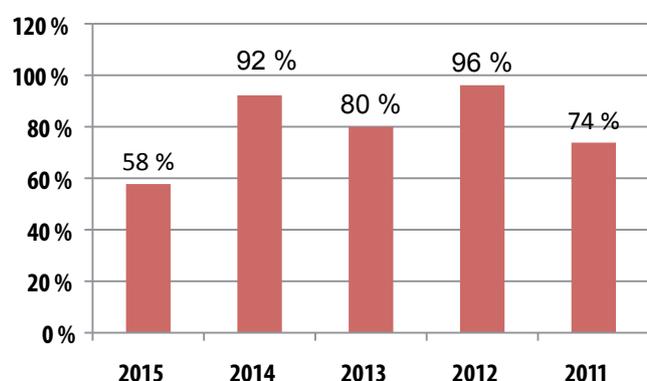
de l'évolution du bilan climatique, de la réserve en eau du sol et des besoins de la culture. Une représentation graphique permet de suivre l'évolution journalière de la quantité d'eau disponible dans le sol. L'ITB dispose d'un réseau dense de stations climatiques disponibles dans l'outil, l'agriculteur a également la possibilité de renseigner ses propres relevés pluviométriques, ce qui est souhaitable en situations de pluies orageuses localisées.



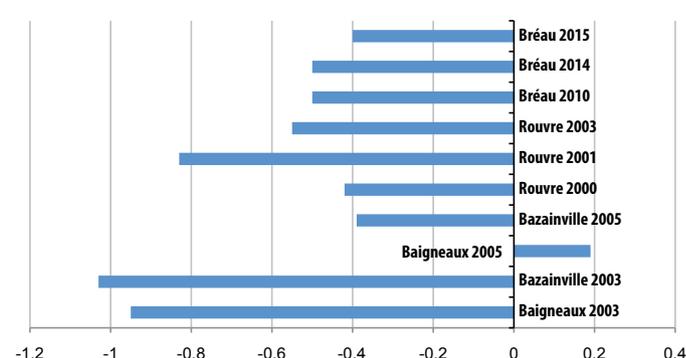
Ce qu'il faut retenir

- L'irrigation sécurise les rendements d'une exploitation et l'approvisionnement pour les sucreries.
- Pour garantir le meilleur équilibre entre poids et richesse, ne pas prolonger l'irrigation au-delà du 20 août.
- L'ITB a développé un outil d'aide à la décision gratuit pour une gestion optimale de l'irrigation, capable de s'adapter à l'ensemble des scénarios climatiques rencontrés.

Rendement sucre Betteraves non irriguées/Betteraves irriguées
Expérimentations du Loiret



Impact d'une irrigation tardive sur la richesse



Ecart de richesse (%) entre un arrêt d'irrigation fin août et un arrêt d'irrigation le 20 août : la perte est quasiment systématique avec en moyenne - 0,54 % de richesse en moins en présence d'un tour d'eau supplémentaire fin août.