



Quelles pratiques de
fertilisation
pour accompagner la **diversité**
des systèmes de culture ?



Méthode de raisonnement de la fertilisation basée sur la plante : analyse de sève

Grégory DHELLEMES

Laboratoire Eurofins Galys



L'analyse de sève en grandes cultures : TopDiag



PLAN



Galys

- Présentation de l'outil « TopDiag » : éléments mesurés, comment, résultats et commentaires rendus
- L'analyse au laboratoire : préparation, extraction des sucs, dosages
- Base de donnée et référentiels d'interprétation
- Précision de la méthode et cultures gérées / testées
- En conclusion; les intérêts de l'outil



Présentation de l'outil d'analyse de sève TopDiag



Principe de l'analyse

- C'est une analyse en temps réel des éléments minéraux et organiques du flux de sève. Cette sève est extraite par une pression contrôlée sur les tissus conducteurs



Objectif

- Contrôler les éléments réellement absorbés par le végétal à un instant précis, ainsi que son activité métabolique afin d'anticiper les déséquilibres nutritionnels.
- Le but ultime est d'obtenir un équilibre minéral instantané optimisé en apportant « ce qu'il faut, comme il faut et quand il faut » au cours du cycle cultural.



Présentation de l'outil d'analyse de sève TopDiag

Les Origines

- Les premiers travaux remontent à 1942 :
EMMERT (1942, USA) « Plant-tissue tests as a guide to fertilizer treatment of tomatoes »
ROUTCHENKO W. (1959, France) (1) « Nouvelle méthode de contrôle de la nutrition des plantes et de diagnostic des déficiences du sol » Agriculture, 214. Pages 205 - 206.
ROUTCHENKO W. (1959, France) (2) « La méthode de contrôle de la nutrition des plantes par l'analyse de leurs sucres: les premiers essais d'application » Agriculture, 217. Pages 227 - 229.
MAGNITSKY K.P. (1960, Russie) « The diagnostics of mineral nutrition of plants according to chemical composition of leaves ». Ame. Inst. of Bio. Sci.,8. Pages 159 - 179.
BRUZEAU F. et POUGET R., (1967, France) « Traité d'ampélogie, Sciences et Techniques de la Vigne ». Dunod ed., Tome 1, 263-265
INRA – Centre de Recherches Agronomiques du Sud Ouest.
- La technique va se développer d'abord en France (Compagnie du Bas Rhône Languedoc, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Toulouse) et en Espagne (Institut d'Edafologie et de Biologie Végétale de Madrid, Faculté de Grenade) puis dans le nord de l'Europe (Pays Bas), aux USA (Université de Floride) et en Australie.
- Le principe d'analyse sur les jus extraits de tissus conducteurs a été ensuite repris par différentes sociétés et instituts techniques pour développer des outils destinés à piloter la nutrition, azotée notamment, de différentes cultures.



Présentation de l'outil d'analyse de sève TopDiag

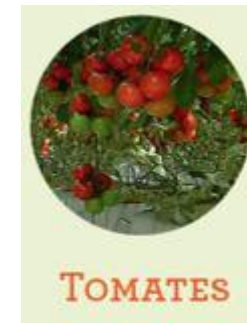
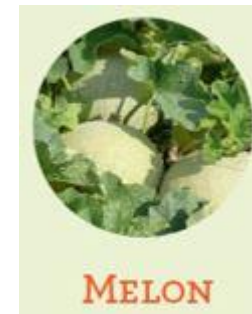
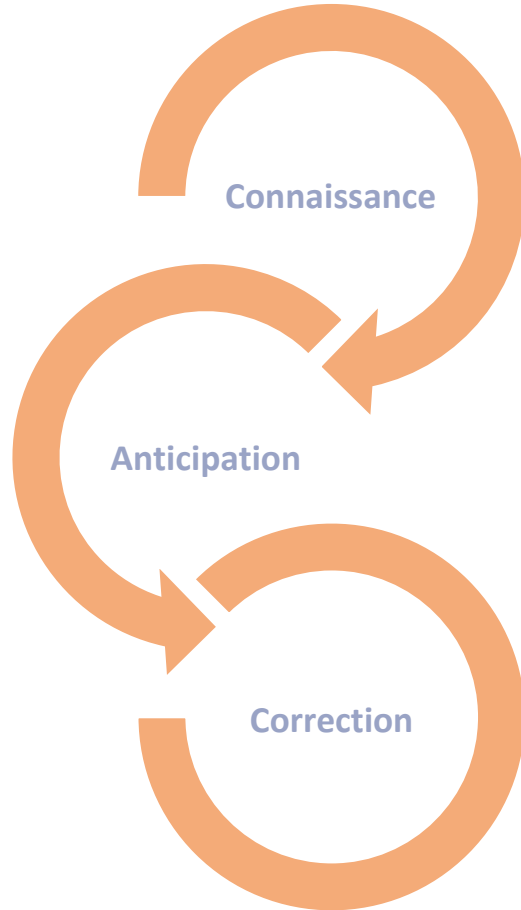
Les Origines

- Le laboratoire Eurofins GALYS a développé cette analyse pendant de nombreuses années en vigne, puis plus récemment un outil de mesure complet a été construit pour les contrôles de routine en grandes cultures.
- La base de cette technique a donc aujourd'hui plus de 60 ans ; elle est toutefois restée longtemps confidentielle pour plusieurs raisons :
 - elle nécessite quelques **précautions lors du prélèvement**,
 - elle demande un certain **niveau d'équipement de laboratoire** et une bonne maîtrise des techniques analytiques,
 - elle implique un **délai de réalisation des analyses très court**,
 - elle nécessite une **bonne formation des utilisateurs** quant à l'interprétation des analyses.



Présentation de l'outil d'analyse de sève TopDiag

Cultures concernées



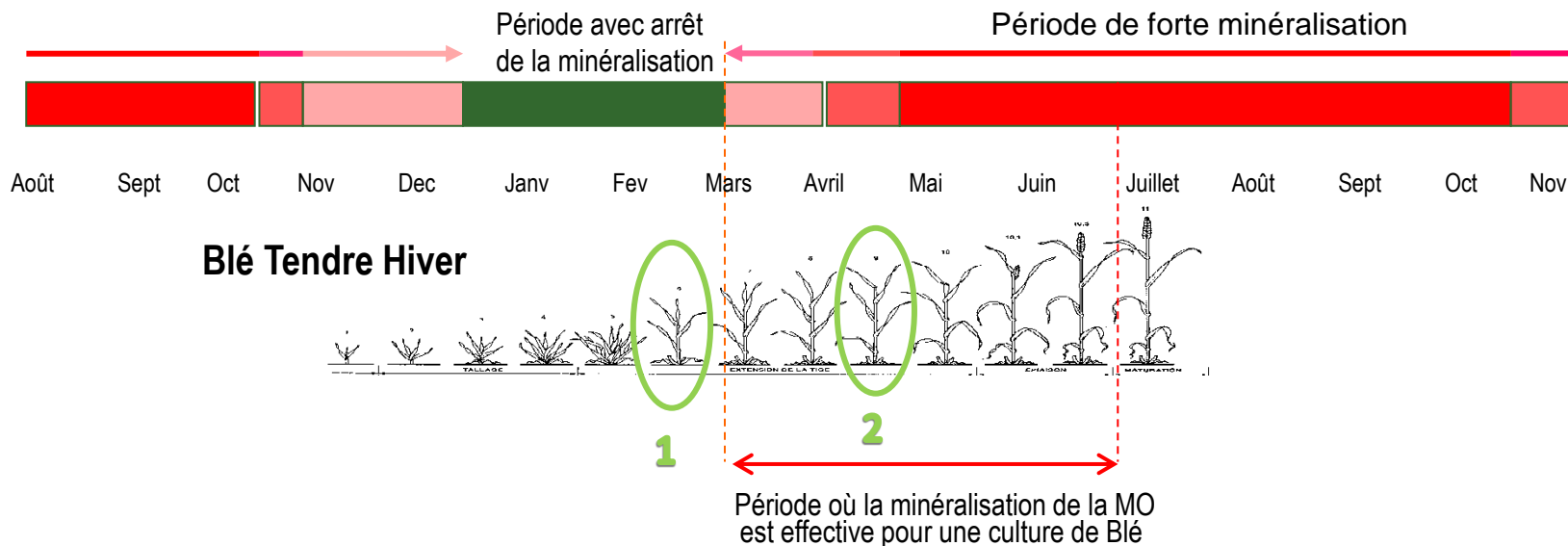


Présentation de l'outil d'analyse de sève TopDiag

Quand réaliser l'analyse, exemple du blé :

Stades conseillés pour le prélèvement des pieds de blé :

- Entre fin tallage et 1 nœud (la minéralisation du sol est à peine amorcée) **1**
- Pour une surveillance des protéines : dernière feuille étalée **2**
- Stade où des apports de fertilisants au sol sont encore praticables
- Stade favorable aux apports foliaires

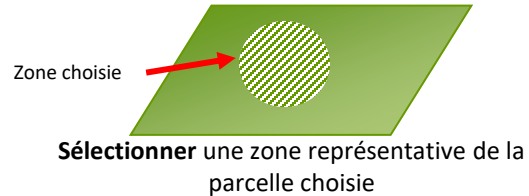




Présentation de l'outil d'analyse de sève TopDiag



Comment prélever, exemple du blé :



Prélever de préférence du lundi au mercredi en début de matinée, avant la reprise d'activité de la plante



Prélever les pieds de céréales (racines + tiges) sur la même ligne

Arracher la plante et la **secouer** pour enlever la terre des racines

Couper la partie aérienne (au-dessus de 20 cm)

Envoyer le bas des plantes au laboratoire (avec les racines)

x 50

L'échantillon doit comporter **50 pieds et au minimum 35 pieds** (sauf si ils sont très secs)



Présentation de l'outil d'analyse de sève TopDiag

Délai d'analyse : TRES COURT



3 à 4 jours



Présentation de l'outil d'analyse de sève TopDiag

Les éléments mesurés et le rendu sur le bulletin :

Menu de base : NO3, NH4, NST, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu, Zn, Bore,
Options : Sodium, Chlore, Molybdène, Silicium, et d'autres à venir...

L'échelle de valeur

elle permet de situer la teneur d'un élément comparé à un optimal souhaité pour la culture et le stade concernés.

La culture et le stade phénologique

Les 3 formes d'azote

Permet d'appréhender et comprendre la bonne cinétique de l'azote
(NST = azote soluble total (N protéique / acides aminés))

Les éléments majeurs et secondaires

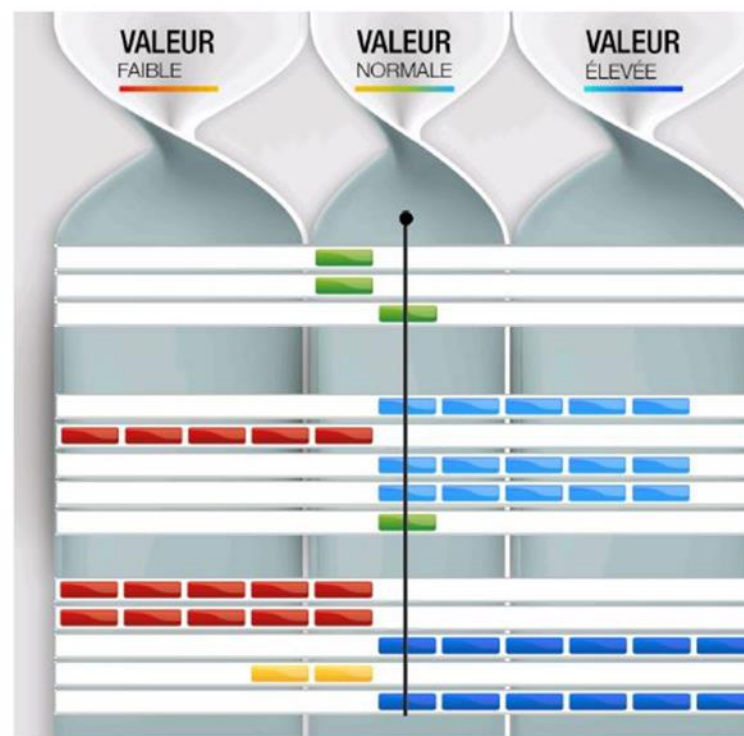
Les oligo-éléments

Permet de connaître la teneur de chaque élément

Culture : BLE TENDRE

Stade : Epi 1 cm redressement

Descriptif	Valeur	Indice
Statut azoté (en mg/l)		
NO3		88
NH4		82
NST		95
Éléments majeurs (en mg/l)		
P		143
K		37
Ca		140
Mg		144
S		95
Oligo-éléments (en mg/l)		
Fe		5
Mn		10
Zn		165
Cu		70
B		180





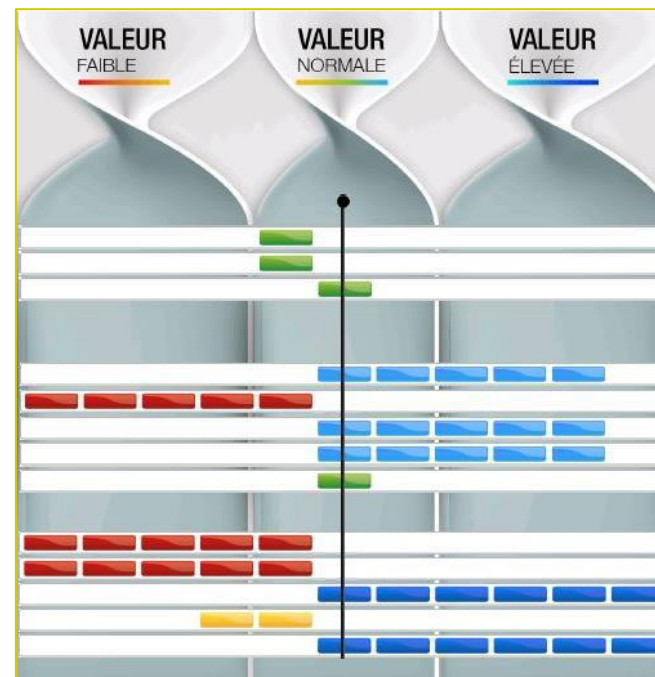
Présentation de l'outil d'analyse de sève TopDiag

Les éléments mesurés et le rendu sur le bulletin :

Culture : BLE TENDRE

Stade : Epi 1 cm redressement

Descriptif	Valeur	Indice
Statut azoté (en mg/l)		
NO3		88
NH4		82
NST		95
Éléments majeurs (en mg/l)		
P		143
K		37
Ca		140
Mg		144
S		95
Oligo-éléments (en mg/l)		
Fe		5
Mn		10
Zn		165
Cu		70
B		180



La valeur mesurée

Exprimée en mg/ de sève extraite.

L'Indice Top Diag

La valeur de chaque élément est indiquée par rapport à sa valeur normale attendue (base de l'indice 100).

Les valeurs faibles sont donc en dessous de l'indice 80 (plage jaune à rouge) et les élevées au-dessus de 120 (plages bleues).

Les valeurs normales correspondant à chaque indice changent en fonction du stade et de l'espèce considérée.



Présentation de l'outil d'analyse de sève TopDiag

Les éléments mesurés et le rendu sur le bulletin :

- Le bulletin rappelle les rôles des éléments minéraux en fonction de l'espèce et du stade
- Un tableau par espèce récapitule le rôle et la priorité de chaque élément suivant les objectifs visés.

Éléments importants

Élément ayant un rôle important mais secondaire au stade actuel. Correction facultative.

Éléments indispensables

Élément ayant un rôle indispensable et primordial au stade actuel. Correction impérative.

MÉTABOLISME GÉNÉRAL	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo
Nutrition azotée						!	!	!		!		!
Croissance	!		!								!	
Résistance à la verse	!	!	!			!			!		!	
Respiration				!			!					
Photosynthèse	!				!		!	!		!		!
Synthèse des sucres		!	!		!	!						
Transport et accumulation des sucres				!							!	
Autres synthèses (ADN-lipides)											!	!
Résistance contre les maladies			!	!	!	!				!		
FLORAISON-NOUAISSON												
Induction florale		!										
Floraison		!									!	
Fécondation	!	!									!	
Nouaison										!	!	
PRODUCTION												



Présentation de l'outil d'analyse de sève TopDiag

Les éléments mesurés et le rendu sur le bulletin :

- Un commentaire détaillé accompagne chaque bulletin
- Relié à un phrasier d'interprétation précis, constitué de thématiques successivement abordées en fonction des résultats analytiques.

Commentaire de notre expert

Dans ce stade un à deux noeuds, l'azote est peu absorbé et se transforme encore suffisamment en protéines. Bien surveiller l'état de la minéralisation pour savoir si un à deux autres apports azotés seront nécessaires. Le rapport K/Ca est trop faible, l'apport foliaire potassique permettra de renforcer la résistance aux maladies cryptogamiques. L'apport de soufre est indispensable pour renforcer le taux de protéines. Pas d'apport magnésien pour l'instant. Les fortes teneurs en fer et en manganèse sont, si elles persistent, indicatrices de mauvaises conditions de milieu, veuillez limiter et raisonner leur apport. Le niveau de flux de zinc est correct, par contre celui du bore nécessite un apport de bore avant floraison.

Le soufre est en rapport direct avec le métabolisme de l'azote ; il est un catalyseur lors de la synthèse de la chlorophylle. Le potassium a un rôle dans la division cellulaire, dans la respiration et les réactions d'oxydo-réduction ; sans lui le rendement qualitatif est compromis et la résistance aux maladies et à la sécheresse limitée. Le bore intervient dans le métabolisme des glucides et leur transport ; d'où son importance dans les stades préfloraux ; il va jouer bientôt un rôle dans la fertilité et la germination du pollen ; en agissant sur les acides nucléiques, il renforce la synthèse protéique et il aura un rôle sur la lignification des tissus.

Surveillez la minéralisation azotée de votre sol ; l'absorption des deux éléments potassium et bore est freinée aussi ; attention donc à la concurrence en eau (maîtrisez les enherbements concurrentiels!).



L'analyse de sève en grandes cultures : TopDiag



PLAN



eurofins

Galys

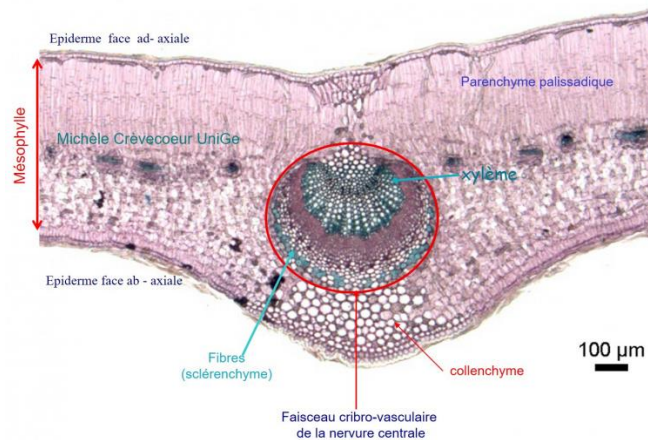
- *Présentation de l'outil « TopDiag » : éléments mesurés, comment, résultats et commentaires rendus*
- L'analyse au laboratoire : préparation, extraction des sucs, dosages
- Base de donnée et référentiels d'interprétation
- Précision de la méthode et cultures gérées / testées
- En conclusion; les intérêts de l'outil



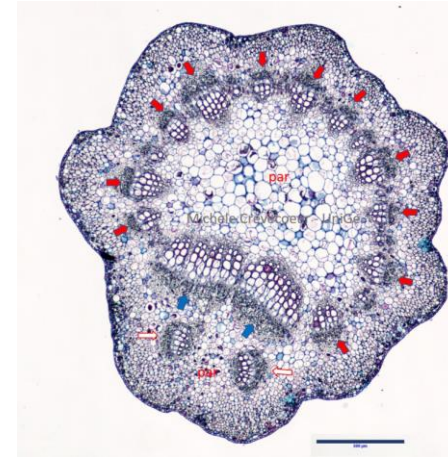
L'analyse au laboratoire



Choix de l'organe à analyser



Coupe transversale limbe



Coupe transversale pétiole (vigne)

L'analyse de sève est réalisée sur les tiges ou pétioles (sur les plantes ligneuses).

Cet organe est ciblé car il concentre énormément de tissus conducteurs (Xylèmes, Phloèmes)

Dans le cas des céréales les tissus conducteurs sont très présents au niveau des nœuds et entre-nœuds. Les limbes, que ce soit pour les céréales ou les dicotylédones comme le colza présentent une diversité de tissus plus importante avec une part de parenchyme très importante. Au final, dans ces limbes les tissus conducteurs sont assez marginaux.

De ce fait l'analyse de sève sur ces organes n'est pas pertinente et s'apparentera davantage à des analyses foliaires.



L'analyse au laboratoire



Historique de la méthode analytique

- Afin d'extraire la sève, le protocole académique mis en place consiste à mettre une tige dans une chambre à pression, avec l'extrémité du pétiole à l'extérieur. Ce mécanisme va induire une surpression qui va pousser la sève vers l'extrémité du pétiole.

Procédé selon
Scholander *et al.*, 1964

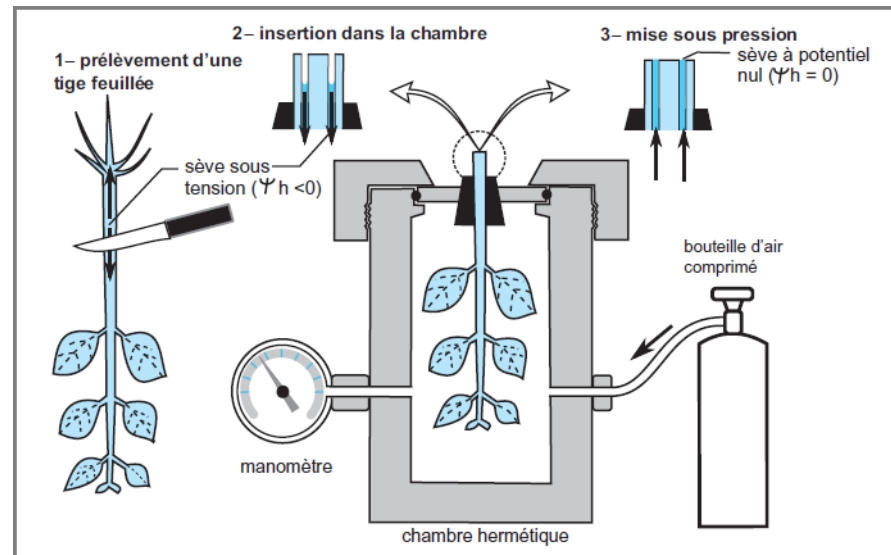


Schéma extrait de Peycru P., et al, Biologie; tout en un, 2e édition, Dunod

- Cependant, à l'échelle d'un laboratoire en production de routine, ce mécanisme n'est pas opérationnel. De ce fait, des méthodes alternatives tentant d'approcher cette finalité ont été développées.



L'analyse au laboratoire



Préparation de l'échantillon

- La préparation des tissus conducteurs varie selon l'espèce. Dans le cas du blé par exemple, les tiges prélevées au champ sont séparées, puis elles sont coupées entre le plateau de tallage et le premier nœud. Les tronçons obtenus sont rincés brièvement puis séchés. Une cinquantaine de brins sont préparés.





L'analyse au laboratoire

L'extraction des sucs par pressage

- Le pressage des tissus conducteurs est réalisé sur des matériels spécifiques et uniques, développés en interne. Il s'agit de presses hydrauliques contrôlées par un programme informatique permettant de gérer les cycles de pressage et d'ajuster les durées et pressions en fonction des espèces et stades. Ceci afin de limiter la dégradation et contamination du jus par des tissus structuraux et d'optimiser la quantité extraite.
- Les jus sont collectés en sortie de chaque presse et stockés au réfrigérateur avant dosage.
- Le laboratoire dispose de plusieurs presses.
- La méthode peut s'apparenter à la méthode JUBIL® qui a été développée par l'INRA en 1993, mais à plus large spectre analytique et industrialisée.



Remarque : Très différent des analyses sur feuilles où les tissus sont broyés et centrifugés avant analyse. On analyse ici que la sève (sans le parenchyme)



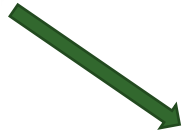
L'analyse au laboratoire



Les dosages



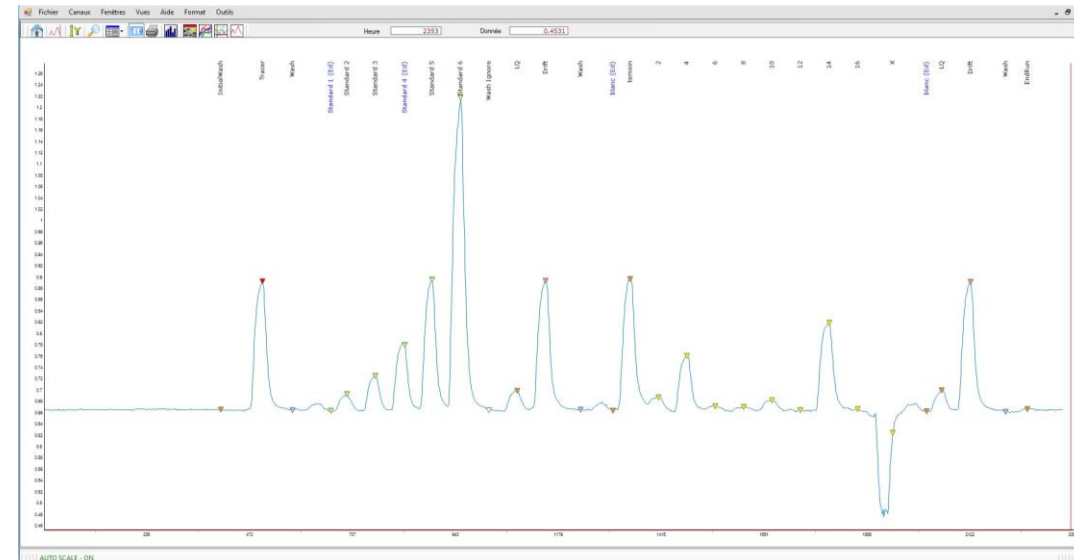
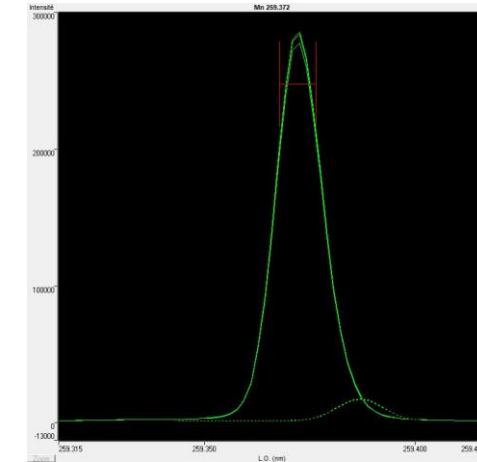
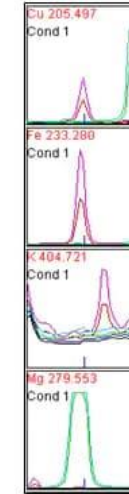
Préparation de nacelles en étain pour séchage puis dosage de l'**azote** en méthode **Dumas**



Première dilution puis centrifugation pour dosage des **minéraux en ICP**



Seconde dilution pour dosage de N-**NH4** et N-**NO3** en colorimétrie par **flux continu** (FIA).





L'analyse de sève en grandes cultures : TopDiag



PLAN



Galys

- *Présentation de l'outil « TopDiag » : éléments mesurés, comment, résultats et commentaires rendus*
- *L'analyse au laboratoire : préparation, extraction des sucs, dosages*
- Base de donnée et référentiels d'interprétation
- Précision de la méthode et cultures gérées / testées
- En conclusion; les intérêts de l'outil



Base de donnée et référentiels du laboratoire

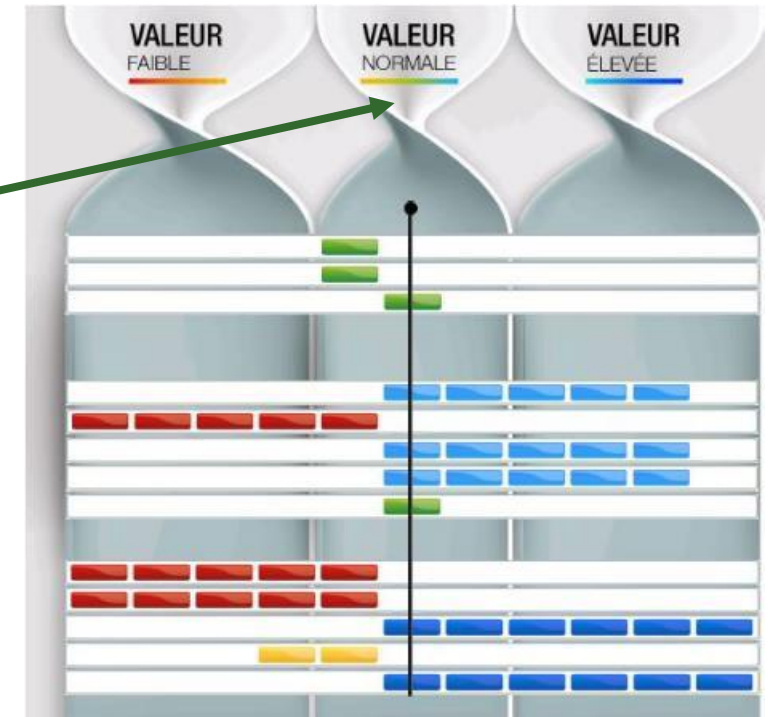
Les données établissant les normes

Base de donnée, exemple sur blé tendre d'hiver :

- Établie sur plus de 5 000 échantillons depuis plus de 10 ans.
 - Essais pluriannuels via partenaires.
 - Enrichie tous les ans.
- ➔ Recherche de la valeur cible déterminant la valeur normalisée 100 (à l'équilibre nutritionnel).

Référentiel établi sur la base des paramètres suivants :

- Espèce
- Variété
- Stade
- Zone géographique
- Type de conduite culturale (densité, objectifs de rendement, plein champ, hors-sol ...)





Base de donnée et référentiels du laboratoire



Les données établissant les normes

Détermination des cibles et intervalles de l'aubergine

STADE	Eléments (mg/L)	N-NO3	N-NH4	N-NST	Phosphore	Potassium	Calcium	Soufre	Magnésium	Bore	Zinc	Cuivre	Manganèse
FLORAIISON	Valeur cible= M						800,00						
	Inter=E						90,00						
NOUAIISON	Valeur cible= M						500,00						
	Inter=E						60,00						
DEBUT GROSSISSEMENT	Valeur cible= M						350,00						
	Inter=E						40,00						
FIN GROSSISSEMENT	Valeur cible= M						150,00						
	Inter=E						20,00						

Cibles établies selon :

- Expérimentations interne au laboratoire
- Résultats cumulés
- Détermination d'une valeur unitaire d'écart pour établissements des intervalles d'interprétation.



Base de donnée et référentiels du laboratoire

Les données établissant les normes

INTERACTIONS ENTRE ELEMENTS			
ANTAGONISME	ELEMENTS MAJEURS	SYNERGIE	
<p>$\text{NH}_4 \rightarrow \text{MgO}$ $\text{NH}_4 \rightarrow \text{Mn}$ $\text{NH}_4 \rightarrow \text{Zn}$</p> <p>En sol acides des apports élevés d'engrais ammoniacaux limitent l'assimilation de la magnésie, du manganèse et du zinc</p> <p>$\text{N} \rightarrow \text{Cu}$</p> <p>Difficultés d'assimilation du cuivre si apports excessifs d'azote</p>	<p>N</p>	<p>$\text{NO}_3 \rightarrow \text{MgO}$</p> <p>L'apport d'azote nitrique est favorable au sol pauvre en magnésie</p>	
<p>$\text{P}_2\text{O}_5 \rightarrow \text{K}_2\text{O}$</p> <p>En sol riche en magnésie, un excès de P_2O_5 provoquera un afflux de magnésie dans le végétal bloquant l'assimilation de K_2O</p> <p>$\text{P}_2\text{O}_5 \rightarrow \text{Zn}$</p> <p>Blocage du zinc en terre riche en acide phosphorique sous forme de phosphate de zinc insoluble en milieu acide</p> <p>$\text{P}_2\text{O}_5 \rightarrow \text{Fe}$</p> <p>En sol très riche en P_2O_5 blocage du fer par les phosphate sous formes de composés insolubles</p>		<p>P_2O_5</p>	<p>$\text{P}_2\text{O}_5 \rightarrow \text{MgO}$</p> <p>Le phosphore améliore l'assimilation du magnésium en freinant celle du potassium</p> <p>$\text{P}_2\text{O}_5 \rightarrow \text{N}$</p> <p>L'acide phosphorique favorise l'assimilation et la migration des nitrates</p>
<p>$\text{K}_2\text{O} \rightarrow \text{MgO}$</p> <p>Un excès de potassium limite l'assimilation du magnésium. Il faut rechercher un équilibre : Rapport $\text{K}_2\text{O}/\text{MgO}$ entre 2 et 3</p> <p>$\text{K}_2\text{O} \rightarrow \text{CaO}$</p> <p>En terre décalcifiée de fortes fumures potassiques peuvent provoquer des carences calciques</p> <p>$\text{K}_2\text{O} \rightarrow \text{B}$</p> <p>Carences en bore sur plantes sensibles provoquées par de fortes fumures potassiques</p>			<p>K_2O</p>

Source: B.Duzan non publié

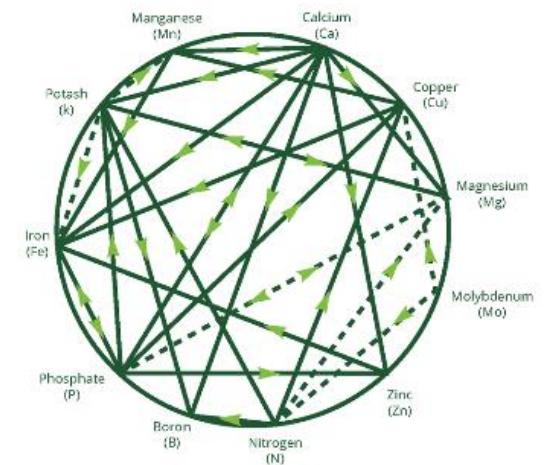
Mise en place de grille d'interprétation par rapport aux valeurs cible et aux ratios
 Priorisation de l'interprétation sur les points successifs suivants :

- Équilibre azoté : estime l'activité métabolique (aboutissement de la protéosynthèse).
- Phosphore : impact du phosphore selon le statut azoté
- Potassium et Calcium : voir les urgences des gestions en K et Ca
- Magnésium et soufre : Priorisation des interventions en S ou Mg
- Potassium et Magnésium : effets positifs ou négatifs de l'antagonisme K/Mg
- Oligo-éléments : déficiences ou excès et impact sur la photo et protéosynthèse, synergies.

- Interprétation selon les ratios entre éléments (exemple : $\text{NO}_3/\text{NST}/\text{NH}_4$ ou ratios Oligos)
- Lien avec la sensibilité aux parasites ou maladies en fonction de l'état de santé de la plante

Automatisation du process d'interprétation vu les délais de rendus et le volume traité.

Afin de valoriser au plus juste l'interprétation de ces analyses il convient de recontextualiser les résultats en fonction de l'état de la parcelle au moment du prélèvement et de l'historique cultural.





L'analyse de sève en grandes cultures : TopDiag



PLAN



Galys

- *Présentation de l'outil « TopDiag » : éléments mesurés, comment, résultats et commentaires rendus*
- *L'analyse au laboratoire : préparation, extraction des sucs, dosages*
- *Base de donnée et référentiels d'interprétation*
- Précision de la méthode et cultures gérées / testées
- En conclusion; les intérêts de l'outil



Cultures étudiées



Cultures gérées par l'outil

Cultures gérées	Cultures possibles
BLE	<i>Nous consulter</i>
ORGE	
POMME DE TERRE	
MAIS	
AUBERGINE	
CONCOMBRE	
FRAISIER	
FRAMBOISIER	
MELON	
TOMATE	
VIGNE	

- Le laboratoire sait analyser actuellement les sèves de 11 cultures.
- Analyse techniquement possible sur d'autres cultures, des tests sont en cours
- Analyses comparatives sur toute culture possible avec un témoin
- La principale limite technique étant les lignification des organes à presser, la viscosité de la sève, puis la capacité d'interprétation des données.



Conclusion : un outil avec de nombreux intérêts

Connaître les déséquilibres d'absorption liés au flux de sève brute et élaborée au stade physiologique souhaité du cycle de la plante pour optimiser le fonctionnement de ses organes. **Anticiper** l'apparition des symptômes carentiels (outil prédictif et dynamique, environ 2 à 3 semaines avant le symptôme)

Corriger les niveaux d'éléments manquants avant l'apparition d'impacts sur la production; minéraux (N,P,K...) ou les catalyseurs des réactions du métabolisme du végétal (oligo-éléments). Ou encore tenter de freiner une absorption trop importante

Offrir l'opportunité de piloter et d'optimiser le potentiel qualitatif ou quantitatif de la culture (gain de rendement, de qualité, protéines).

Mieux appréhender l'impact climatique sur l'absorption des plantes et sur la minéralisation du sol.

Mieux comprendre le **fonctionnement physiologique spécifique** de différentes variétés au sein d'une espèce végétale, et les caractériser



Quelles pratiques de
fertilisation
pour accompagner la **diversité**
des systèmes de culture ?

Merci !