

# Fluorimètre portable

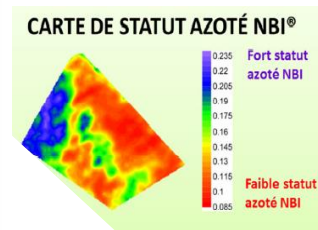
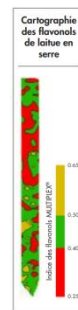
## Références de l'outil évalué dans le cadre du projet et coût

MULTIPLEX® RESEARCH de Force A – 13 k€

## Description et principe de fonctionnement

Le Multiplex est un capteur optique de terrain capable de mesurer la fluorescence émise par un matériel suite à son excitation sous certaines longueurs d'onde. Le modèle évalué est équipé de 3 canaux d'excitation et 3 canaux de détection.

Des indices peuvent être calculés à partir des données collectées par ce fluorimètre, parmi lesquelles deux indices de chlorophylles, un indice de flavonols et un indice des anthocyanes. D'autres indices peuvent être développés, comme ce fut le cas pour un indice de nutrition azotée du colza.



Paramètres mesurés	12 signaux de fluorescence SFR_R et SFR_G : indices de chlorophylle FLAV : indice des flavonols ANTH : indice des anthocyanes NBI® : statut azoté, rapport SFR/FLAV Possibilité de customiser les signaux mesurés par le fluorimètre à la demande
Sources lumineuses	LED (fonctionnement pulsé) 3 ou canaux d'excitation : bleu, vert, rouge +/- UV
Détecteurs	Photodiodes silicium 3 canaux de détection : jaune ou bleu, rouge et proche infrarouge
Batterie	Li-ion rechargeable
Autonomie	10 heures
Temps de charge	3 heures
Poids total	2,5 kg (sans batterie)
Taille	340 mm x 280 mm x 170 mm

## Atouts et limites identifiés

- + Mesures rapides → forte réactivité face à des problèmes (stress nutritionnels, biotiques et abiotiques)
- + Mesures non destructives
- + Surface d'analyse variable (de 12,5 à 50 cm<sup>2</sup>)
- + GPS interne (précision relative < 2,5m)
- + Mesure ponctuelle (< 1 sec) ou continue
- + Relation entre les indices et le statut azoté de la carotte et du chou
- + Peut être embarqué sur tracteur / quad
- Pas de visualisation directe des résultats en mode continu
- Développement nécessaire d'un outil d'analyse des données

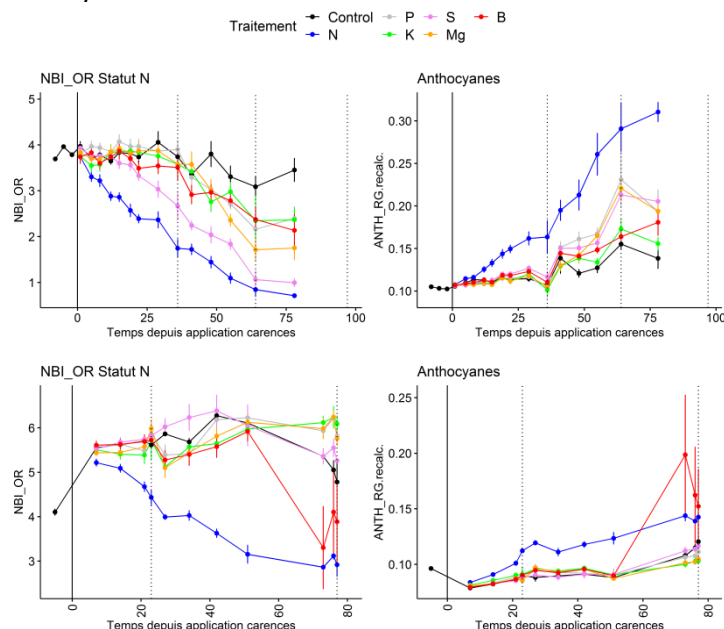
## Mise en œuvre

Choix d'une configuration « mesure continue » pour un couvert végétal ou « mesure ponctuelle » pour une feuille ou une plante isolée.

Le capteur est positionné à quelques centimètres de l'échantillon à analyser.

La mesure est réalisée par pression sur une gâchette. En mode continu, une seconde pression est nécessaire pour mettre fin à l'acquisition.

Les données stockées sur carte SD sont récupérées et analysées.



Evolution de 2 indices, NBI\_OR (statut N) et ANTH\_RG (Anthocyanes) sur des cultures de carottes (haut) et de choux pommés (bas) bien alimentés (Control) et carencées en N, P, K, S, Mg ou B

## Utilisation potentielle en conditions de production

Ajustement de la fertilisation N de la carotte et du chou pommé en cours de culture

# Spectromètre XRF

## Références de l'outil évalué dans le cadre du projet et coût

Analyseur XRF portable S1 TITAN de Bruker® – 34 k€

## Description et principe de fonctionnement

Le spectromètre XRF détecte la présence et quantifie de manière non-destructive pratiquement tous les éléments dont la masse molaire est supérieur ou égale à celle du magnésium (Mg). L'appareil comprend un détecteur capable de récupérer le spectre de fluorescence de l'échantillon analysé suite à son excitation par un canon à rayons X. Cet appareil portable fonctionne sur batterie et permet l'analyse de l'échantillon directement sur site.



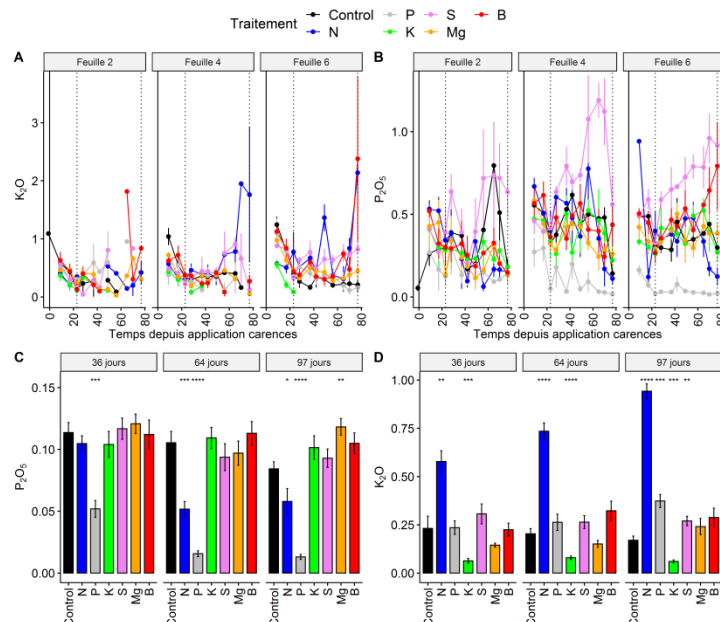
## Mise en œuvre

Mise en contact du capteur avec l'échantillon à analyser  
Lancement de la mesure par pression sur la gâchette, visualisation des résultats bruts en temps réel après une minute (feuille, racine, graine) ou deux minutes (sol).  
Les résultats peuvent être récupérés sur une clé USB pour analyse.

Paramètres mesurés	<ul style="list-style-type: none"> <li>37 éléments peuvent être dosés, en fonction de l'échantillon analysé et de son état de déshydratation (sur tissus sec : équivalent à des analyse en laboratoire ; sur tissus frais : quantification des éléments abondants)</li> <li>Possibilité de calibrer l'appareil à la demande en fonction des produits analysés</li> </ul>
Source d'énergie	X-ray tube: Rh target; voltage max 50 kV
Détecteur	Détecteur en silicium à fenêtre en graphène
Batterie	Li-ion rechargeable
Autonomie	10 heures environ
Temps de charge	3 heures environ
Poids total	1,5 kg (avec batterie)
Taille	250 mm x 280 mm x 90 mm

## Atouts et limites identifiés

- + Mesures rapides (une à deux minutes) et résultats visibles en temps réel → forte réactivité face à des problèmes
- + Mesures non destructives
- + Seuil de détection très faible (quelques ppm) :
  - Sur tissus séché : précision équivalente à des analyses en laboratoires pour tous les éléments sauf rares exceptions
  - Sur tissus frais : quantification des éléments abondants (K, Ca, parfois P et S)
- + Géolocalisation des données possible
- Pour obtenir des teneurs et des quantités absolues, nécessité de calibrer les mesures pour les différents matériaux analysés (organe, espèce...) et les différents éléments
- Petite surface d'analyse (répétitions nécessaires)
- Habilitation nécessaire (rayon X) et port d'un dosimètre



*Evolution des teneurs relatives en  $K_2O$  et en  $P_2O_5$  déterminées au niveau de feuilles fraîches de choux pommés (A et B) et de racines fraîches de carottes (C et D) bien alimentés (Control) et soumis à des carences en N, P, K, S, Mg ou B*

## Utilisation potentielle en conditions de production

Carotte et chou : Ajustement de la fertilisation P et K  
Analyse précise du contenu en minéraux après séchage, sauf Mg et Cu sur racines de carotte et Cu sur feuilles de chou et de carottes  
Analyse des polluants métalliques au niveau du sol

# Near InfraRed Spectrophotomètre (NIRS)

## Références de l'outil évalué dans le cadre du projet et coût

ASD LabSpec4 Hi-Res de Malvern Panalytical – 53 k€

## Description et principe de fonctionnement

Le spectromètre proche infrarouge (NIRS) mesure le spectre de réflectance d'un matériel sur une large gamme de longueurs d'onde (350 à 2500 nm). Ces données peuvent permettre la détermination du contenu du matériel en des constituants variés, ses propriétés physiques ou encore dans le cadre d'une plante, apporter des informations sur sa physiologie, son statut nutritionnel ou son état de santé.



## Mise en œuvre

Mesure du bruit de fond

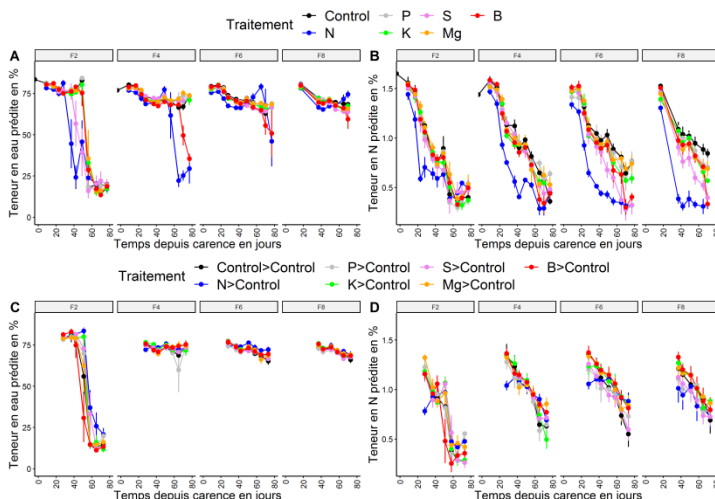
Mise en contact du capteur avec l'échantillon à analyser avec pince (feuille) ou sans pince (sol, poudre, rondelle de carotte).

Lancement de la mesure par pression sur la gâchette, visualisation du spectre après quelques secondes

Paramètres mesurés	Spectre de réflectance entre 350nm et 2500nm Prédictions de teneurs en éléments à partir des spectres et de modèles établis sur des échantillons de références
Source d'énergie	Lampe halogène
Détecteurs	VNIR (350-1000 nm), SWIR 1 (1001-1800 nm), SWIR2 (1801-2500 nm)
Batterie	Plomb
Poids total	5.44 kg (sans batterie)
Taille	127 mm x 370 mm x 292 mm

## Atouts et limites identifiés

- + Mesures rapides (quelques secondes)
- + Mesures non destructives
- + Accès potentiel à de multiples informations
- + Localisation spatiale des données possible
- Quantité de données importante
- Référencement et modélisation important nécessaire (Espèce, variétés, conditions variables) → Travail de R&D
- Nécessité de calibrer les mesures pour les différents matériaux analysés (organe, espèce...)
- Si potentiel avéré, nécessité de développer un outil pour analyser les données en temps réel
- + Le traitement des données peut être automatisé
- Petite surface d'analyse (répétitions nécessaires)



*Prédiction des teneurs en eau et en N dans différents rangs foliaires de choux pommés carencés en N, P, K, S, Mg, B pendant 75 jours (A et B) et replacés en condition non carencée après 23 jours de carence en N, P, K, S, Mg ou B (C et D).*

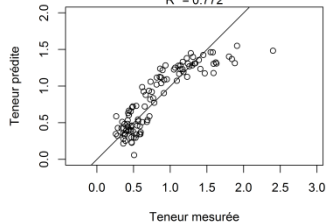
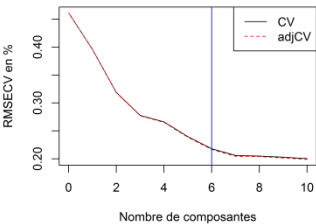
*Ces prédictions sont issues du traitement de spectres NIRS et de l'exploitation de modèles de prédictions établis sur des échantillons analysés en laboratoire*

## Utilisation potentielle en conditions de production

- Chou : prédiction de la teneur en eau, en N, en Ca, en B... → gestion fertilisation et analyse qualité
- Carotte : prédiction de la teneur en N de la racine, à affiner → gestion fertilisation et analyse qualité

Ajustement du modèle de prédiction

Prédiction de la teneur en N - ncomp= 6



*Modèle de prédictions à partir des spectres obtenus : exemple pour la teneur en N de la feuille de chou*