



➤ Conception de rotations de cultures longues, diversifiées et économes en intrants en maraîchage sous abris froids à l'aide de l'outil informatique ROTAT+.

Claire Lesur-Dumoulin<sup>1</sup>, Cristiana Necula<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>INRAE, UE Maraîchage, <sup>2</sup>Wageningen University

En collaboration avec Marion Guérou, Cathy Eckert, Marion Casagrande, Amélie Lefèvre, Walter Rossing

# > Contexte et objectifs

**Contexte** : conception des rotations en maraîchage sous abris rendue complexe par la multiplicité des objectifs et contraintes à intégrer, ainsi que par la rapidité des enchaînements de cultures.

**Objectif du travail** : éprouver la capacité de l'outil de simulation informatique ROTAT+ à faciliter la conception de rotations de cultures longues et diversifiées en maraîchage sous abri froid.

*ROTAT, a tool for systematically generating crop rotations*

*Dogliotti S., Rossing W.A.H., van Ittersum M.K. European Journal of Agronomy 19 (2003) 239-250*

**Finalité de l'outil ROTAT+**: créer **toutes** les rotations de cultures possibles à partir d'une liste définie de cultures et d'un jeu de contraintes définies par l'utilisateur pour ensuite les caractériser selon des critères renseignés par culture.

**ROTAT+**: un outil développé à l'université de Wageningen au Pays-Bas à partir de deux cas d'étude, un au Pays-Bas (rotations avec grandes cultures et légumes – céleri, chou blanc, oignon) et l'autre en Uruguay (rotations à base de prairie, céréales et légumes – oignon, ail, patate douce, courge...).

## Sous-objectifs :

1. Éprouver le potentiel de l'outil en comparant les sorties à une rotation de référence:  
Système DivAB du projet DEPHY ECOPHYTO 4SYSLEG (2013-2018, UE Maraîchage)
2. Utiliser l'outil pour générer et évaluer des rotations de cultures en maraîchage sous abri froid

# ➤ Présentation de ROTAT+ et méthode de paramétrage

En entrée deux types de paramètres à renseigner :

1. des paramètres mobilisés pour générer les rotations de culture :

➤ pour chaque culture ou groupe de cultures : calendrier, séquence et fréquence

ICI: issu système DivAB

Name	Sowing day	Growth period	Crop type	Max. frequency	Min. period repeat	Min. rest period
Aubergine	106	153	1	0,5	3	7
Concombre long	108	94	1	0,5	3	1
Courgette	83	106	1	0,5	3	1
Tomate	106	132	1	0,5	3	7
Poivron	100	156	1	0,5	3	7
Laitue pommée	309	79	1	0,5	1	7
Salade feuille de chêne	269	46	1	0,5	1	7
Melon	98	71	1	0,5	3	7
Mini blette	288	145	1	0,5	3	7
Oignon	282	174	1	0,5	3	7
Celeri branche	288	130	1	0,5	3	7
Fenouil	304	137	1	0,5	3	7
Chou rave	346	106	1	0,5	3	7
Chou rave précoce	290	75	1	0,5	3	7
Haricot vert	83	194	1	0,5	3	7
EV sorgho-sarrasin-pois ...	206	49	2	0,5	2	14
EV seigle, vesce, féverole	288	122	2	0,5	2	14
EV Moutarde brune	121	52	2	0,5	2	14

ICI: croisement références techniques & expertise expérimentateurs UE Maraîchage

# ➤ Présentation de ROTAT+ et méthode de paramétrage

En entrée deux types de paramètres à renseigner :

1. des paramètres mobilisés pour générer les rotations de culture :

➤ pour chaque culture ou groupe de cultures : calendrier, **séquence** et **fréquence**

ROTAT+ - [LUS\_DS-O\_EV]

Land unit Model [Save] [Help] [Info]

New Edit Delete Management

Name	Sowing day	Growth period	Crop type	Max. frequency	Min. period repeat	Min. rest period
Aubergine						
Concombre long						
Courgette						
Tomate						
Poivron						
Laitue pommée						
Salade feuille de chene						
Melon						
Mini blette						
Oignon						
Celeri branche						
Fenouil						
Chou rave						
Chou rave precoce						
Haricot vert						
EV sorgho-sarrasin-pois						
EV seigle, vesce, faverole						
EV Moutarde brune						

Data Groups Preceeding Following

New Edit Delete

Name	Max. frequency	Min. period repeat
<input checked="" type="checkbox"/> Solanacées	0,5	2
<input type="checkbox"/> Cucurbitacées	0,5	2
<input type="checkbox"/> Astéracées	0,5	2
<input type="checkbox"/> Apiacées	0,5	2
<input type="checkbox"/> Brassicacées	0,5	2
<input type="checkbox"/> Engrais vert	1	1
<input checked="" type="checkbox"/> Sensible Sclerotinia	0,5	3

Data Groups Preceeding Following

Name

- Aubergine
- Concombre long
- Courgette
- Tomate
- Poivron
- Laitue pommée
- Salade feuille de chene
- Melon
- Mini blette
- Oignon
- Celeri branche
- Fenouil
- Chou rave
- Chou rave precoce
- Haricot vert
- EV sorgho-sarrasin-pois ...
- EV seigle, vesce, faverole
- EV Moutarde brune

# ➤ Présentation de ROTAT+ et méthode de paramétrage

En entrée deux types de paramètres à renseigner :

1. des paramètres mobilisés pour générer les rotations de culture:

- pour chaque culture: calendrier, séquence et fréquence
- pour la **rotation** : paramètres relatifs au nombre et type de cultures, à la durée de la rotation (min, max)

des paramètres  
introduisant des  
contraintes de faisabilité  
à l'échelle de la rotation

ICI: issus système DivAB

Parameters	
<b>ROTAT</b>	
Max. number of crops:	20
Max. number of different crops:	18
Max. number of primary crops:	15
Max. number of secondary crops:	3
Min. rotation length (years):	5
Max. rotation length (years):	5
<b>ROTSOM</b>	
Simulation duration (years):	40

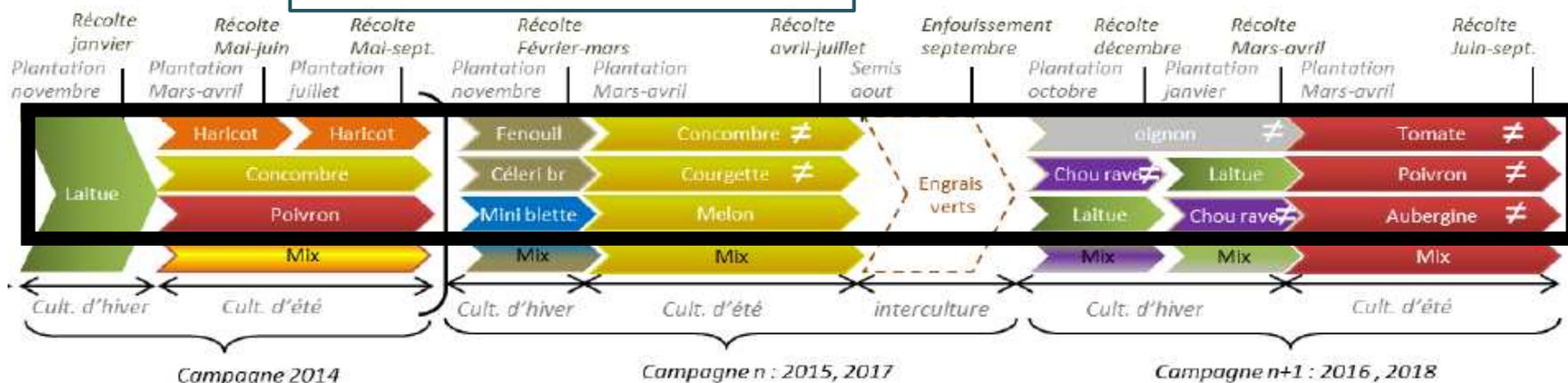
# ➤ Présentation de ROTAT+ et méthode de paramétrage

En entrée deux types de paramètres à renseigner :

- des paramètres mobilisés pour évaluer les rotations de culture :  
définis par culture puis moyennés pour évaluer les rotations

Ex.: marge, temps de travail, IFT, niv. de recours à ≠ intrants (eau, NPK, auxiliaires)

ICI: issus système DivAB



Module ROT SOM: évalue l'effet des rotations sur les dynamiques à long terme des matières organiques (MO) du sol.

- Apports de matières organiques pris en compte : compost de déchets verts, couverts intermédiaires. Autres apports négligés ici.
- Estimation de la minéralisation associée à chaque apport ainsi qu'au stock de MO initial.
- Paramètres à fixer en fonction du contexte pédoclimatique et du type de travail du sol.

ICI: issus système DivAB + références

# ➤ Méthode pour évaluer et la sélectionner les rotations

## ➤ Evaluation à partir de 12 indicateurs :

Indicateur	Unité	Commentaire
Marge	€/ha/an	Rendements et charges, y.c. travail: DivAB. Prix: ref. vente directe PACA
Temps de travail	h/ha/an	Source: DivAB. Temps parcelle uniquement.
IFT (ici biocontrôle)	/an	
Niv. recours auxiliaires	€/m <sup>2</sup> /an	
Niv. recours N	kg/ha/an	
Niv. recours P	kg/ha/an	
Niv. recours K	mm/an	
Niv. recours irrigation	mm/an	
Bilan MO	kg/ha/an	
Intensité usage sol	% temps où parcelle occupée	
Int.us.sol CI	% temps où parcelle occupée par couverts intermédiaires	
Nb. cultures différentes	nb sur durée rotation	

## ➤ Sélection des rotations les plus efficaces :

1. Parmi les dizaines de milliers de rotations générées, sélection par optimisation de Pareto **en combinant 4 objectifs** : maximiser marge, bilan MO et intensité usage sol; minimiser temps travail.

*-> la rotation x est considérée meilleure que la y si elle obtient de meilleurs scores pour les 4 indicateurs*

Réduction du nb de solution optimales par **ajout de 3 objectifs supplémentaires**

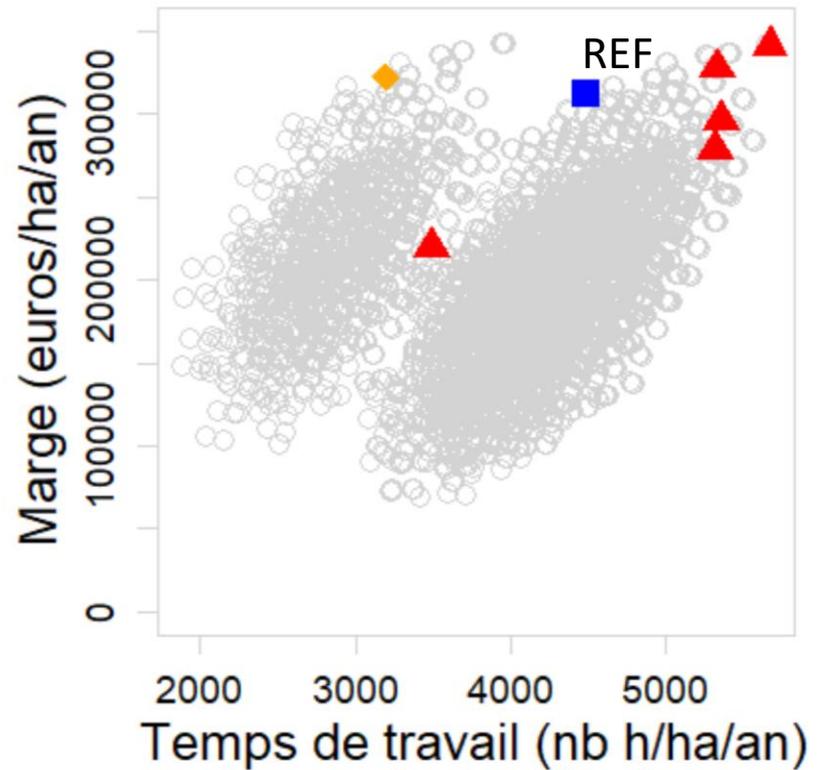
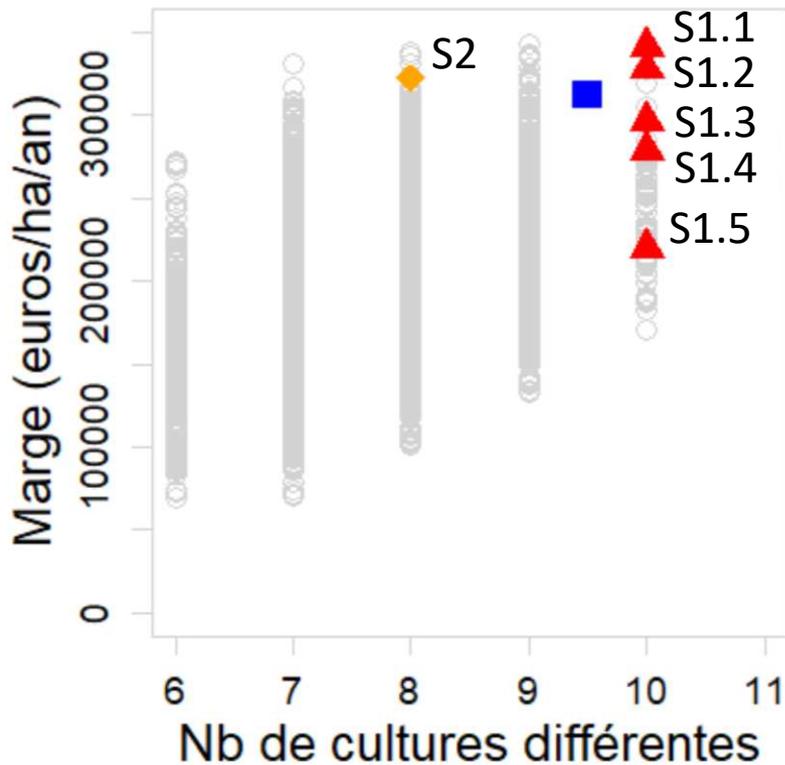
bilan MO > 0, au moins un couvert inter., **le plus de cultures différentes.**

2. Même procédure avec une sélection initiale sur **3 objectifs (i.e. sans l'intensité d'usage du sol) et sans contrainte concernant le nombre de cultures différentes -> ajout d'une contrainte sur la rentabilité (marge / tps W)**

# ➤ Résultat 1 : évaluation des rotations générées par ROTAT+ (1/2)

Parmi les 100 000 rotations générées:

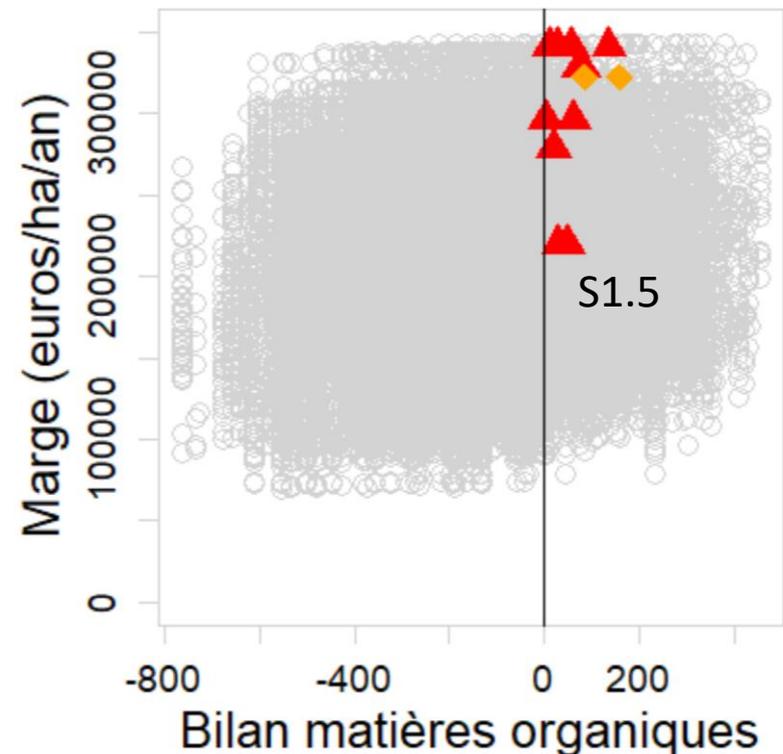
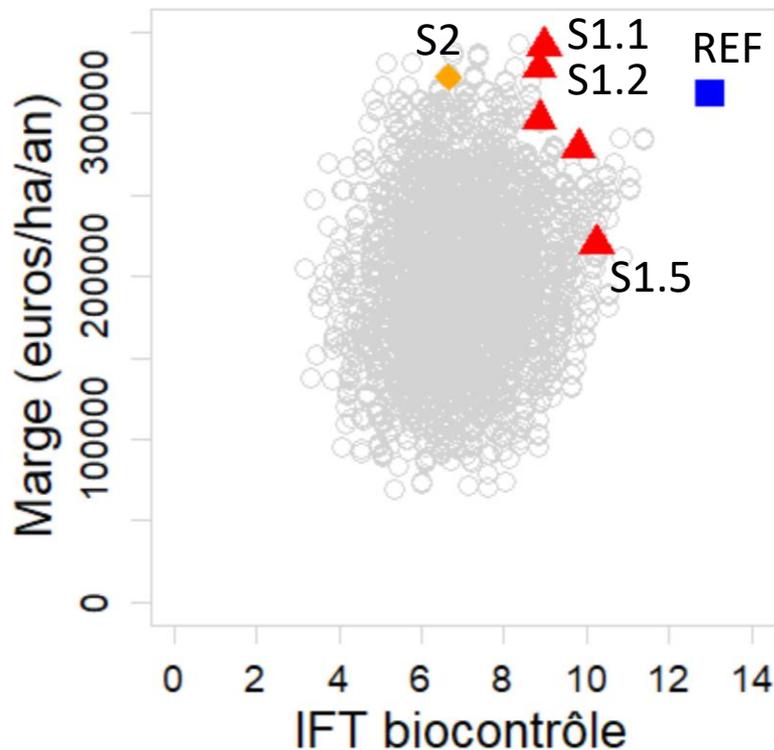
- Des rotations aussi voire plus performantes que la référence; ex. ici pour la marge.
- Des marges max. qui plafonnent à partir de 7 cultures différentes.
- Des marges réparties en deux groupes en fonction du temps de travail selon présence / absence de la culture de haricot vert.
- S1: 14 rotations avec qui combinent 10 cultures parmi les 13 possibles.
- S2: 20 rotations qui combinent les 8 mêmes cultures.



# ➤ Résultat 1 : évaluation des rotations générées par ROTAT+ (2/2)

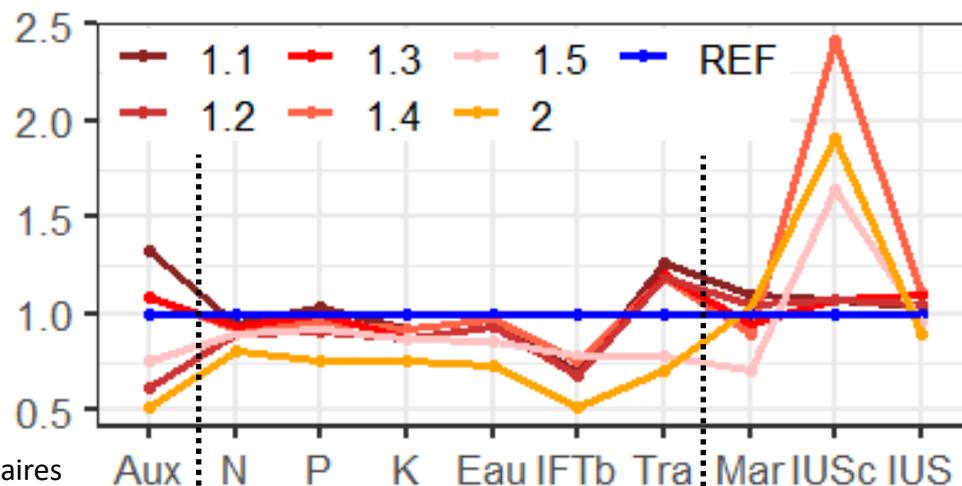
Parmi les 100 000 rotations générées:

- Des rotations plus performantes que la référence pour l'IFT biocontrôle.
- Des rotations aussi ou plus performances pour les indicateurs de « pression » sur les ressources : eau, NPK.
- Des bilans de matières organiques très variables.  
NB: pas de valeur de référence sur cet indicateur.



# ➤ Résultat 2 : sélection des rotations les plus efficaces

Classement relatif des rotations sélectionnées comparées à la référence.  
Entre les pointillés: indic. à minimiser



IFTb: IFT biocontrôle; IUSc: Intens. usage sol par couverts intermédiaires

SPS: sorgho-pois-sarrasin MB: moutarde brune SV: seigle-vesce

Année	I												II												III												IV												V												
	Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
S1.2																																																													
S1.1																																																													
S1.2																																																													

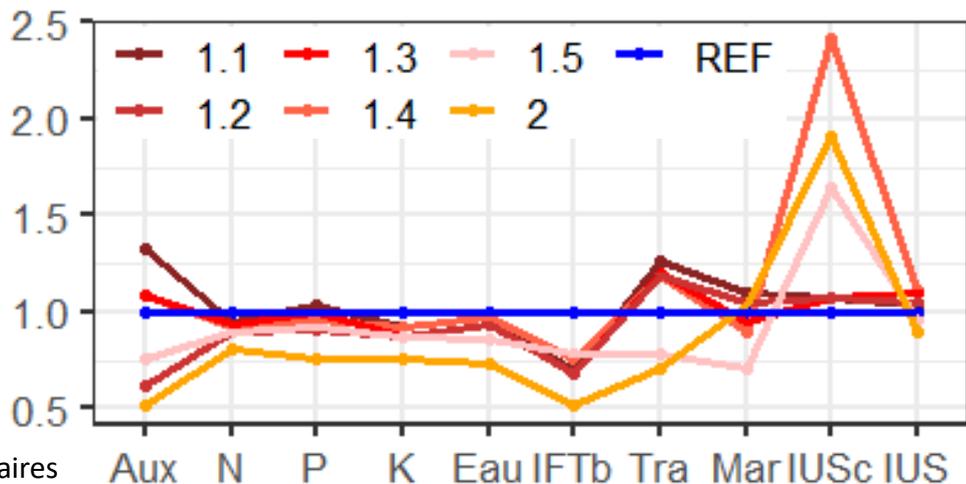






# ➤ Résultat 2 : sélection des rotations les plus efficaces

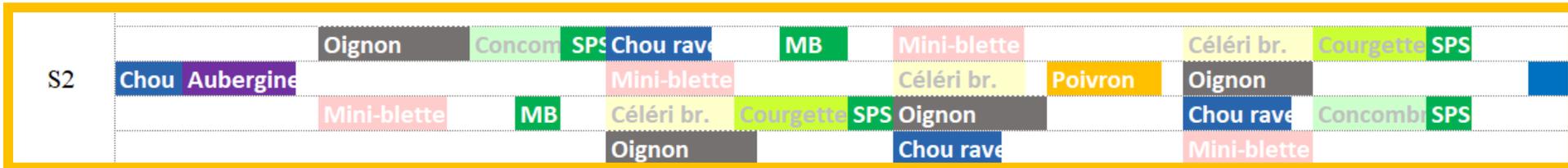
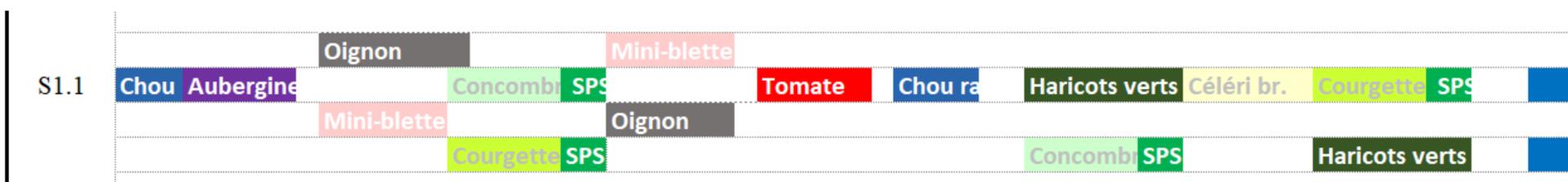
Classement relatif des rotations sélectionnées comparées à la référence.  
Entre les pointillés: indic. à minimiser



IFTb: IFT biocontrôle; IUSc: Intens. usage sol par couverts intermédiaires

SPS: sorgho-pois-sarrasin MB: moutarde brune SV: seigle-vesce

Année	I												II												III												IV												V											
	Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11



INRAE

## ➤ Limites de ROTAT+ pour le maraîchage sous abris et perspectives

<b>ROTAT+</b>	<b>Particularités du maraîchage sous abri</b>	<b>Perspectives</b>
Dates fixes de plantation et récolte Deux calendriers différents = deux cultures différentes	Forte variabilité des dates de plantation; récolte +/- échelonnée Périodes de récolte différentes = prix différents	Identifier les créneaux de culture différents à introduire en priorité
Nombre de cultures X calendriers différents limités à 30	Nombre potentiel de cultures X calendriers élevés	Identifier les cultures suppl. à introduire en priorité
Pas de dimension spatiale	Division des abris, par ex. en bandes	Développements informatiques en cours mais manque de connaissance sur les interactions spatiales entre espèces
Approche linéaire de la rotation de cultures	Rotation fixe rarement suivie	Représenter les rotations sous forme « d'arbres »

## > Conclusions

Malgré quelques limites, l'outil ROTAT + peut faciliter la conception de rotations en maraîchage sous abris, d'un point de vue stratégique au moins.

- L'outil permet de générer, évaluer et sélectionner des rotations.
- L'outil eut aussi servir de source d'inspiration pour construire des alternatives.
- Le paramétrage de l'outil permet de formaliser et mettre en discussion l'expertise disponible sur les rotations : délais de retour, rentabilité relative des cultures, etc.

*NB: paramétrage à adapter et discuter en fonction d'un / de contexte(s) donné(s).*

*Ex. modification des délais de retour selon le contexte sanitaire de la parcelle.*

- Les sorties peuvent être mobilisées comme support de discussion, pour par ex. :
  - discuter des intérêts/limites de +/- diversifier
  - discuter de l'opportunité d'introduire des couverts intermédiaires.

> Je vous remercie.

