

Février 2022

Evaluer les pertes liées à la jaunisse

Retour d'expérience 2020



Sommaire

1. Retour d'expérience de la campagne 2020 : contexte et objectifs	3
1. Origine et transmission de la jaunisse virale	3
1.1. Les virus de la jaunisse.....	3
1.2. Les pucerons vecteurs de la jaunisse.....	5
1.3. Les méthodes de lutte contre le virus de la jaunisse.....	5
2. L'impact de la jaunisse sur le rendement betteravier.....	5
2.1. Effet du type de virus et de la date d'infection	7
2.2. Jaunisse et stress hydrique : quels effets d'interaction ?.....	8
3. Les méthodes d'évaluation des pertes de rendement liées à la jaunisse	10
3.1. Retour d'expérience des assureurs en 2020	10
3.2. Pistes de réflexion sur les méthodes d'évaluation des pertes jaunisse.....	13
4. Conclusion	16
Annexes	17
Définition des méthodes d'identification et d'évaluation des pertes jaunisse	17
Avantages et inconvénients des outils	18
Références	19

Février 2022

1. Retour d'expérience de la campagne 2020 : contexte et objectifs

Le projet GRECOS a pour objectif d'évaluer le risque de perte de rendement betteravier lié à la jaunisse virale afin de préfigurer un dispositif de gestion du risque adapté. Ce projet est mené en trois phases : l'évaluation des pertes de rendement betteravier liées uniquement à la jaunisse, le calcul de la prime de risque et enfin la préfiguration d'un outil de gestion du risque sanitaire adapté.

Ce retour d'expérience s'inscrit dans le cadre de la première phase du projet.

L'évaluation des pertes liées uniquement à la jaunisse peut en effet être rendue difficile lorsque les parcelles de betteraves sont touchées de façon simultanée par un autre aléa climatique. Une analyse approfondie de la campagne 2020, qui a été marquée à la fois par une épiphytie de jaunisse et par un épisode de sécheresse, permettra donc de nourrir la réflexion sur le plan méthodologique et de caractériser l'impact de la jaunisse sur le rendement betteravier.

Cette étude se base sur l'analyse de données d'enquêtes réalisées en 2020 par l'Institut Technique de la Betterave (ITB), sur des prélèvements de betteraves touchées par la jaunisse et réalisés conjointement par l'ITB et l'ARTB en 2020 et 2021 ainsi que sur des entretiens réalisés avec des experts d'assurances qui ont menés les expertises terrain d'évaluation des pertes jaunisse en 2020.

1. Origine et transmission de la jaunisse virale

1.1. Les virus de la jaunisse

Il existe trois virus de la jaunisse : deux virus de la jaunisse modérée, le *Beet Chlorosis Virus* (BChV) et le *Beet Mild Yellowing Virus* (BMYV) de la famille des Polérovirus, pour lesquels la perte de rendement peut atteindre 25% (Dewar & Qi, 2021) et un virus causant la jaunisse grave, le *Beet Yellows Virus* (BYV) de la famille des Clostérovirus, dont les pertes de rendement peuvent atteindre 50% (Dewar & Qi, 2021). Un autre virus peut être présent, même s'il est détecté moins fréquemment : il s'agit du virus de la mosaïque (BtMV) de la famille des Potyvirus. En cas de co-infection, le BtMV semble avoir un effet protecteur et limite la perte de rendement (poids du pivot et richesse).

Les premiers résultats du projet Provibe ne montrent pas d'effet aggravant de la multi-infection sur la réduction du poids du pivot ou la diminution de la richesse en sucre lorsque la betterave est infectée par plusieurs virus. En revanche, l'accumulation du BYV est plus importante dans les plantes infectées par les polérovirus ou le BtMV, ce qui pourrait entraîner une dispersion accrue du virus par les pucerons. L'impact de cette augmentation de l'accumulation du BYV sur sa transmission par les pucerons reste à déterminer (Maupas, 2021).

Les quatre virus et leurs caractéristiques sont présentés dans le tableau 1.

Février 2022

Tableau 1 : Quatre virus transmis par les pucerons.

	BMVY	BChV	BYV	BtMV
Nom anglais	<i>Beet mild yellowing virus</i>	<i>Beet chlorosis virus</i>	<i>Beet yellows virus</i>	<i>Beet mosaic virus</i>
Nom français	Virus de la jaunisse modérée		Virus de la jaunisse grave	Virus de la mosaïque
Genre	Polérovirus		Clostérovirus	Potyvirus
Vecteurs principaux	<i>Myzus Persicae</i>		<i>Myzus Persicae</i> , <i>Aphis fabae</i>	<i>Myzus persicae</i>
Mode de transmission	Persistant		Semi-persistant	Non persistant

Source : ITB, Retour sur le comité technique spécial jaunisse (2020)

La jaunisse se manifeste au champ par l'apparition, à partir de la fin du mois de juin, de ronds jaune orangé distincts. A l'automne, si la parcelle est très infectée, les foyers peuvent se rejoindre et la maladie prend un aspect plus diffus.

Parcelle infectée par la jaunisse



Source : ITB

Sur la feuille, les symptômes de la jaunisse modérée commencent par un jaunissement diffus qui envahit progressivement la feuille à partir de son sommet, les nervures restent vertes. La feuille s'épaissit et prend une teinte orangée très caractéristique. Lorsque la maladie est bien développée, des attaques de champignon peuvent se produire, ce qui provoque une nécrose qui s'étend à partir des bords de la feuille (ITB, 2020). Les premiers symptômes de la jaunisse grave sont l'apparition de petits points clairs sur le limbe puis un éclaircissement des nervures secondaires, avant le développement de taches jaune-citron. A un stade plus avancé, les taches deviennent rouge-brun et la teinte rougeâtre peut devenir dominante. **Il est difficile de faire la différence entre les deux types de jaunisse à l'œil nu, d'autant plus qu'une même plante peut être coïnfectée par plusieurs virus.** Des analyses en laboratoire (tests Elisa) après prélèvement de feuilles permettent de déterminer les virus impliqués. Chez une betterave infectée au virus de la mosaïque, les nervures des feuilles du cœur s'éclaircissent et tendent à devenir blanches.

Le jaunissement des feuilles peut être confondu avec celui engendré par un stress hydrique ou par des déficiences physiologiques comme l'excès ou la carence de manganèse, carence en magnésium ou

Février 2022

carence en bore. Les symptômes qui sont spécifiques à la jaunisse sont l'épaississement et la teinte jaune-orangée ainsi que l'apparition de ronds irrégulièrement répartis dans la parcelle (ITB, 2020).

1.2. Les pucerons vecteurs de la jaunisse

Les virus de la jaunisse sont transmis par des pucerons vecteurs – principalement *Mysus persicae* - lorsqu'ils piquent les feuilles pour y prélever la sève.

Ils acquièrent le virus sur des plantes réservoirs en interculture (par exemple les repousses foliaires dans les silos de betteraves, les épinards d'hivers ou diverses adventices...). Les jeunes betteraves, du stade 2 jusqu'à la couverture du sol fin juin, sont les plus sensibles aux virus (ITB, Fiche jaunisse , 2020).

Des travaux sont actuellement menés par l'ITB pour identifier les adventices pouvant contenir des virus de la betterave et évaluer l'acquisition de ces virus par les pucerons.

1.3. Les méthodes de lutte contre le virus de la jaunisse

Les épisodes de jaunisse étaient, depuis 26 ans, contrôlés via l'utilisation de graines enrobées de néonicotinoïdes. Leur interdiction par l'Union Européenne en 2019, ainsi que la disparition des insecticides alternatifs (à cause d'interdictions ou rendus inefficaces par le développement de résistances) ne permettent plus de contrôler efficacement les épidémies de jaunisse.

Des moyens de lutte alternatifs seront testés sur des « fermes pilotes » dans le cadre du PNRI, afin d'identifier des solutions efficaces et viables, telles que les bandes fleuries ou bandes d'interculture, les cultures de betteraves associées avec des plantes compagnes comme l'avoine, la vesce ou la féverole, les lâchers d'auxiliaires ou des produits de biocontrôle (substances naturelles, micro-organismes, kairomones¹).

Ces moyens de lutte alternatifs permettront de limiter la diffusion et l'impact de ces virus, pouvant causer des pertes importantes sur le rendement betteravier.

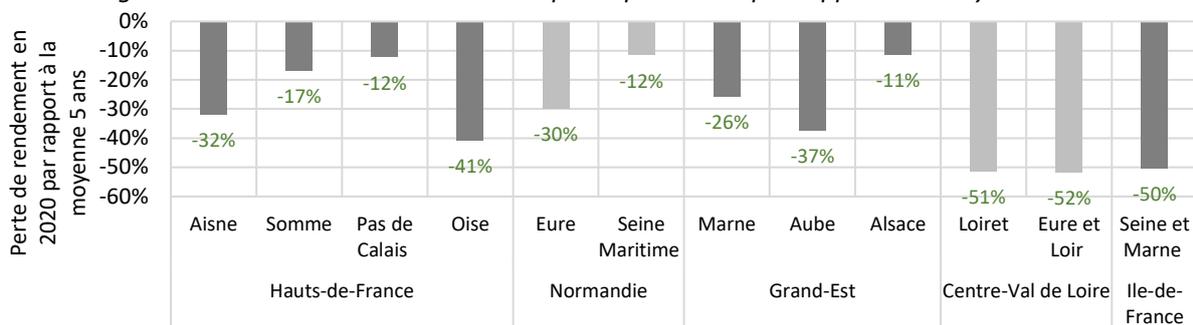
2. L'impact de la jaunisse sur le rendement betteravier

En 2020, le rendement betteravier moyen s'élève à 62,5 tonnes par hectare, contre 87,3 tonnes par hectares entre 2015 et 2019, soit une perte de 28% en moyenne. Dans certains départements, notamment en région Centre et Ile-de-France, les pertes de rendement peuvent atteindre plus de 50% en moyenne par rapport à la moyenne 5 ans (Figure 1). Ces fortes pertes de rendements sont liées à deux phénomènes concomitants : la sécheresse et la jaunisse.

¹ Substance alléochimique utilisées dans la communication entre espèces différentes au bénéfice du seuil récepteur (exemple interactions coccinelle/pucerons).

Février 2022

Figure 1 : Pertes de rendement en 2020 par département par rapport à la moyenne 5 ans



Source : CGB, traitement ARTB.

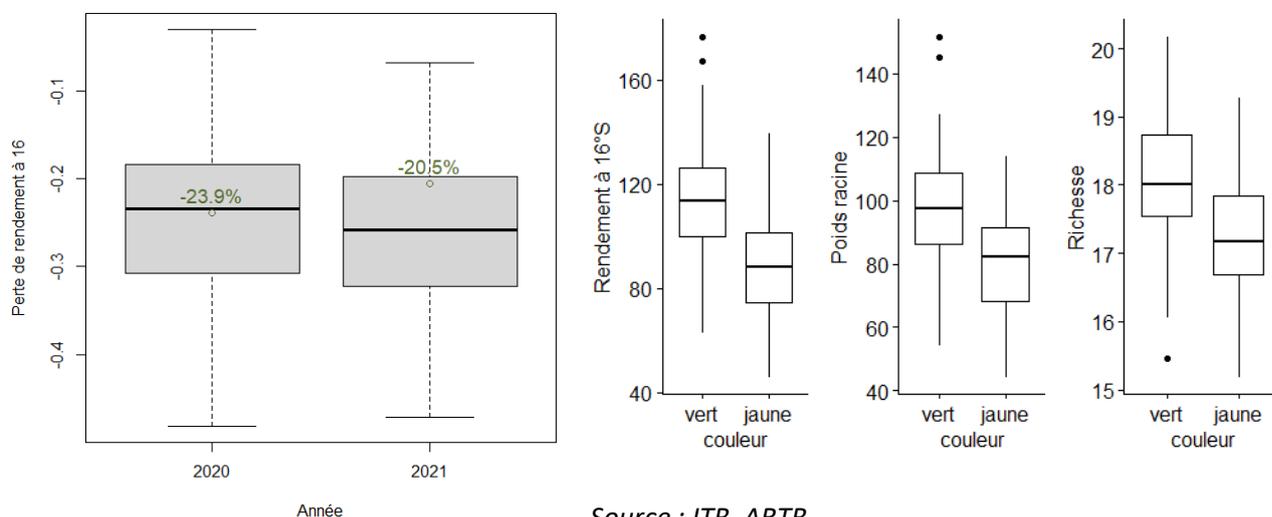
Une étude réalisée par l'ITB en 2020 sur un échantillon de 26 parcelles comparant des betteraves asymptomatiques (vertes) et des betteraves symptomatiques (jaunes), permet d'isoler la perte de rendement liée uniquement à la jaunisse. Les résultats ont montré une perte de 24% en moyenne (perte de poids racine de 20% et perte en richesse de 0,86°S en moyenne). L'épiphytie de jaunisse observée en 2020 a été marquée par :

- Un fort taux de co-infection (45% de l'échantillon étant contaminé avec les 3 familles de jaunisse contre seulement 3% de co-infection en 2019)
- Une présence des trois familles de virus sur tout le territoire
- Un gradient croissant d'infestation Nord/Sud (le Sud étant plus durement touché)
- Des effets simultanés de la jaunisse et de la sécheresse

De la même façon, des prélèvements réalisés en 2021 sur des betteraves symptomatiques et asymptomatiques d'une même parcelle ont révélés des pertes moyennes de rendement de 20,5%.

Les résultats de ces prélèvements montrent également une forte dispersion du niveau des pertes liées aux facteurs virus, co-infection et date d'infection. La moitié des pertes se situent entre -20% et -30% (Figure 2).

Figure 2 : Impact de la jaunisse sur le rendement betteravier, résultats des prélèvements réalisés en 2020 et 2021



Source : ITB, ARTB

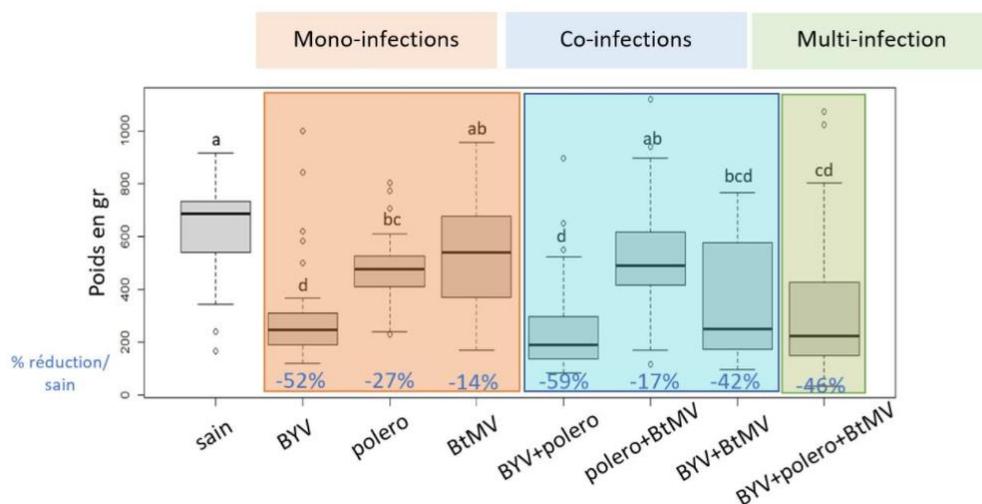
Cette évaluation des pertes de rendement, basée sur des prélèvements dans les ronds jaunes symptomatiques de la jaunisse et sur les zones vertes adjacentes a été complétée par des tests Elisa, permettant d'identifier la présence de virus sur ces zones. Les résultats des tests ont montré que les virus de la jaunisse pouvaient être présents sur les betteraves des zones asymptomatiques. Cela pourrait donc impliquer un risque de sous-évaluation du niveau de pertes associées aux prélèvements.

A ce titre, l'utilisation des analyses réalisées dans le cadre normalisé du projet Provibe seront utiles pour estimer l'importance de cette sous-évaluation possible du niveau des pertes.

2.1. Effet du type de virus et de la date d'infection

Les effets du virus de la jaunisse sur le rendement betteravier dépendent fortement du type de virus (jaunisse modérée ou jaunisse grave), du nombre de virus présent sur l'hôte, ainsi que des effets de co-infection. Ces effets sont analysés dans le cadre du projet Provibe, qui a inoculé 4 000 plants de betteraves à différents stades et avec quatre combinaisons de virus, dont les rendements sont comparés à des betteraves saines. Les premiers résultats n'ont pas montré d'effets aggravants de la co-infection sur le rendement betteravier. En revanche des tests Elisa ont révélés qu'elle pourrait être à l'origine d'une plus forte accumulation du virus de la jaunisse grave (BYV), pouvant accroître la dispersion du virus par les pucerons (les résultats des tests Elisa sont présentés en figure 3).

Figure 3 : Effet de la multi-infection sur l'accumulation du BYV (basée sur le test sérologique ELISA).



Source : ITB, 2021, (Maupas, 2021).

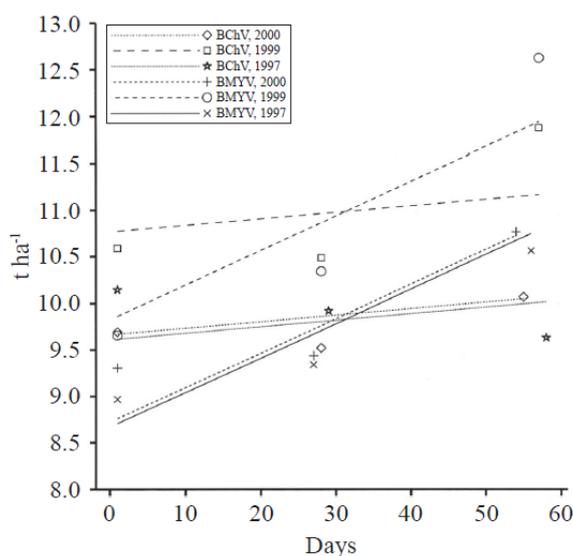
Le niveau de la perte de rendement betteravier est également influencé par la date d'inoculation du virus : plus l'inoculation est précoce, plus la perte est significative. Au stade 12 feuilles, la betterave acquiert une résistance à maturité en limitant la capacité des pucerons à se nourrir et se multiplier sur les feuilles (ITB, Fiche jaunisse , 2020).

La perte de rendement en fonction de la date d'inoculation du virus (mai, juin et juillet) a été étudiée par (Mark Stevens, 2003) pour les deux virus modérés de la jaunisse (BYMV et BChV). Les résultats ont montré que la perte de rendement en sucre était plus élevée lorsque l'inoculation du virus est plus précoce. Lorsque les virus sont inoculés en mai, la perte de rendement est plus importante avec le

Février 2022

virus BYMV. En revanche, lorsque le virus est inoculé plus tardivement, en juillet, la perte de rendement en sucre est plus élevée avec le virus BChV. Les résultats sont présentés dans la figure 4.

Figure 4 : Effets des virus BMVY et BChV sur le rendement en sucre en 1997, 1999 et 2000. Le jour 0 équivaut à la première inoculation réalisée mi-mai, $R^2 = 78.2\%$



Source : (Mark Stevens, 2003)

2.2. Jaunisse et stress hydrique : quels effets d'interaction ?

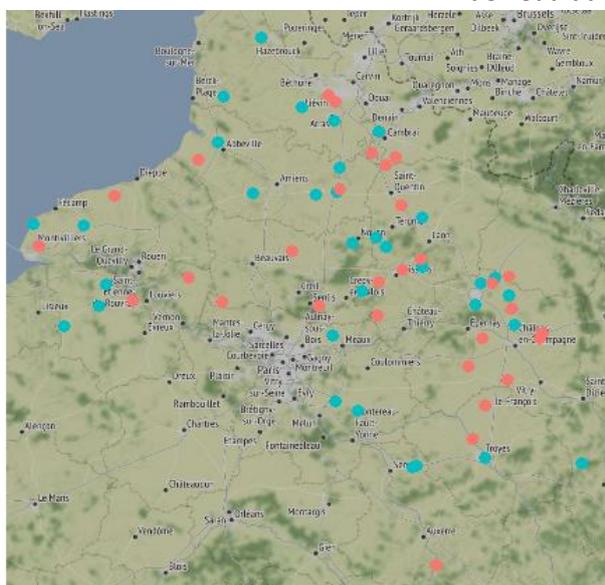
La betterave est une plante qui supporte des courtes périodes de sécheresse estivale. En revanche, un stress hydrique prolongé a un effet clairement négatif sur le rendement. Plus la durée du stress est longue, plus la performance photosynthétique et l'accumulation de matière sèche dans la plante diminuent. Le stress hydrique augmente la vitesse de dégradation des feuilles (le phénomène de sénescence naturelle) et lorsque les pluies surviennent, la betterave mobilise les réserves en sucre du pivot, ce qui diminue encore le rendement de la racine (Didier, 2013). D'après (Shrestha, et al., 2009), la sécheresse peut causer des pertes de rendement en betterave de l'ordre de 30%.

L'interaction entre la jaunisse et la sécheresse a été étudiée par (Clover, Smith, Azam-Ali, & Jaggard, 1999) et aucune interaction entre ces deux stress n'a été détectée : l'effet de la sécheresse était identique pour des betteraves infectées et des betteraves saines.

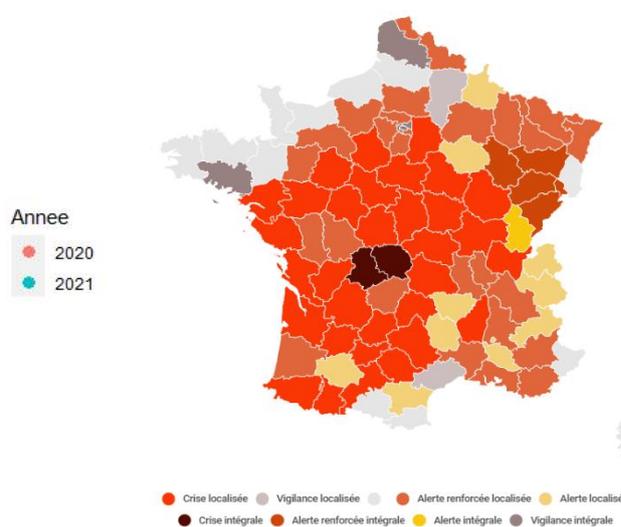
Des **prélèvements** ont été réalisés par l'ITB et l'ARTB en **2020** (année avec sécheresse) et **2021** (année sans sécheresse) sur 64 parcelles comparant des betteraves asymptomatiques et des betteraves symptomatiques, c'est-à-dire que les prélèvements ont été réalisés à l'intérieur des ronds symptomatiques de la jaunisse et sur les zones vertes à proximité directe. La carte des prélèvements réalisés en 2020 et 2021 est présentée sur la figure 5.

Février 2022

Figure 5 : Carte des prélèvements 2020 et 2021 réalisés / Carte des arrêtés de restriction de l'usage de l'eau au 13 août 2020



Source : ITB, ARTB



Source : Terre.net

Les résultats des prélèvements ne permettent pas de déceler des différences significatives entre les deux années (avec et sans sécheresse). En effet, comme le montre la figure 2, la perte de rendement moyenne en 2020 est légèrement inférieure à celle de 2021. En revanche, la médiane de 2020, qui est moins sensible aux valeurs extrêmes, est légèrement supérieure à celle observée en 2021. **Ces résultats ne permettent donc pas de mettre en évidence une différence significative de perte de rendement jaunisse entre l'année « avec » et l'année « sans » sécheresse.**

La localisation des prélèvements pourrait expliquer en partie ces résultats : ils ont été réalisés principalement dans le nord de la zone betteravière, zone qui a été moins fortement touchée par la sécheresse en 2020, comme le montre la carte des arrêtés de restrictions de l'usage de l'eau en figure 5.

Nos résultats sont donc en cohérence avec ceux de (Clover, Smith, Azam-Ali, & Jaggard, 1999), il conviendrait toutefois de réaliser une expérience plus approfondie en comparant par exemple des betteraves touchées par la jaunisse en situation de stress hydrique (en intégrant des gradients de stress pour mesure d'éventuels effets de seuil) et sans stress hydrique, sur la même parcelle et la même année.

En conclusion, la jaunisse a un impact très significatif et peut engendrer des pertes généralement comprises entre 20% et 30% (pouvant toutefois atteindre 50% localement) en fonction de la date d'infestation, du type de virus et de la co-infection. Si les symptômes de la jaunisse sont facilement identifiables à partir du mois de juin, isoler les pertes liées à la jaunisse des pertes climatiques peut se révéler difficile en cas de sécheresse ou autre événement climatique ayant des symptômes similaires (feuilles jaunies).

Dans cette perspective, pouvoir disposer d'une méthode fiable et homogène d'évaluation des pertes, en considérant qu'il n'y a pas d'interactions significatives entre les effets de la jaunisse et de

Février 2022

la sécheresse, serait utile pour préfigurer d'un dispositif indemnitaire de gestion de ce risque sanitaire.

3. Les méthodes d'évaluation des pertes de rendement liées à la jaunisse

Pour nourrir la réflexion sur les méthodes d'évaluations permettant d'établir le niveau des pertes spécifiques jaunisse, **des entretiens ont été menés avec des experts de trois assureurs**, qui ont indemnisés des pertes liées à la sécheresse en 2020. Les questions portaient sur les méthodes utilisées en 2020 ainsi que sur les outils disponibles qui pourraient être développés, notamment l'utilisation de systèmes d'informations basés sur les données satellitaires et climatologiques. A ce titre, des entretiens ont également été réalisés avec deux entreprises développant ces outils : Green Triangle et la société ITK.

Cette réflexion est également basée sur les données d'enquêtes réalisées par l'ITB en 2020 sur deux régions particulièrement touchées par la jaunisse : l'Ile-de-France et la région Centre.

3.1. Retour d'expérience des assureurs en 2020

En 2019, environ 165 000 hectares de betteraves étaient couverts par une assurance récolte multirisque climatique (MRC) (CCR, département R&D modélisation, 2020). Ce contrat garantit les pertes liées à des événements climatiques tels que la sécheresse ou l'excès de température. En revanche, les pertes liées à la jaunisse ne font pas l'objet d'indemnisation au titre de cette assurance récolte.

Ainsi, les assureurs ont évalué la part des pertes liées à la jaunisse afin de calculer le montant de Pertes Non Garanties (PNG), qui doivent être soustraites au rendement assuré. **La quote-part de la perte liée à la jaunisse a donc été évaluée lors d'expertises menées par les réseaux d'experts des compagnies d'assurance.**

3.1.1. Complexité de l'expertise en 2020

Plusieurs difficultés ont été relevées pour mener les évaluations des PNG en 2020 :

- Les symptômes confondants entre la jaunisse et le stress hydrique
- La multiplicité des symptômes de la jaunisse (feuilles vertes cassantes ou feuilles jaunes) et l'absence de symptômes qui ne signifie pas toujours une absence de virus
- Le manque d'outils disponibles
- Le manque de connaissances de la jaunisse et le nombre restreint d'études de référence

3.1.2. Méthode majoritairement utilisée en 2020

Consultation de l'ITB

En juin 2020, lorsque la présence de jaunisse a été identifiée dans les parcelles, les études et les conseils de l'Institut Technique de la Betterave ont été essentiels. Les experts en assurance se sont appuyés sur les relais locaux de l'ITB dans chaque secteur touché. Des conférences ont été organisées par l'ITB afin d'informer des symptômes de la maladie et du niveau des pertes mesurées. A partir de ces informations, les experts et assurances ont pu mettre au point des méthodes d'évaluation et des

Février 2022

abaques de pertes de rendement pour faciliter et objectiver le calcul des PNG (voir figure 6). En l'état actuel des connaissances et au regard de la grande dispersion du niveau de pertes en fonction du type de virus, des effets de co-infections et de la date d'inoculation du virus, l'utilisation d'abaques afin d'objectiver l'expertise terrain apparaît comme une solution très pertinente.

Figure 6 : Abaque d'appréciation du pourcentage de perte dans les ronds de jaunisse

Abaque d'appréciation du % de perte

Décoloration % de décoloration jaune-orange avec feuilles cassantes	% de perte sur la zone virosée
25 %	20 %
50 %	35 %
75 %	42 %
100 %	50 %

Source : Pacifica

Expertises visuelles

Pour évaluer la perte, les experts ont principalement réalisés des « expertises visuelles ». Lors des expertises, trois informations ont été collectées :

- La superficie infectée sur la parcelle, estimée visuellement par la superficie des ronds jaunes caractéristiques de la jaunisse,
- La perte de rendement en pourcentage sur cette superficie, estimée à partir de l'intensité de l'infection via l'intensité des symptômes transcrite éventuellement en abaques (figure 6),
- L'information de la date d'apparition de la jaunisse, éventuellement donnée par l'agriculteur.

Pour fiabiliser cette estimation, plusieurs passages ont été réalisés dans les parcelles.

Passages de l'expert

En 2020, le nombre de passage a été plus élevé qu'habituellement, cela a permis de mieux évaluer la propagation de la maladie :

- Le premier passage a permis de constater le sinistre et d'identifier les foyers, sans mesurer l'impact dans la durée,
- Un deuxième passage a permis de relever d'autres événements, par exemple climatiques, qui ont éventuellement eu lieu sur la parcelle,
- En général, un troisième passage, réalisé juste avant la récolte, a permis d'évaluer la propagation de la maladie,
- Enfin, le débouclage final a permis de comparer les résultats de l'expert avec les bons de livraison des sucriers.

Cette méthode d'expertise visuelle avec un suivi fort de l'évolution de la jaunisse via des passages répétés dans les parcelles, combinée avec l'utilisation d'abaques d'appréciation du pourcentage de

Février 2022

perte de rendement (dont les valeurs ont été partagées avec la filière), a permis d'évaluer de façon consensuelle les pertes liées à la jaunisse en 2020.

L'estimation des pertes de l'expertise visuelle est relativement limitée, demande des ressources importantes et une mobilisation forte d'experts sur le terrain. La réalisation de telles expertises semble donc plutôt adaptée aux structures assurantielles de taille importante.

En complément, les entreprises d'assurances travaillent sur la mise au point d'outils d'aide à la décision pour les experts, afin de mieux évaluer les pertes liées à chaque aléa. Ces outils sont basés sur l'utilisation de données satellite, de données météorologiques et de caractéristiques de la parcelle.

3.1.3. Opportunités de l'innovation technologique liée à l'utilisation d'images satellitaires et de données climatologiques

L'ITB a mené en 2020 des enquêtes sur des parcelles des régions Ile-de-France et Centre, particulièrement touchées par la jaunisse et la sécheresse. Ces données d'enquêtes ont été retravaillées dans le cadre du projet SEPIM afin d'identifier l'intérêt des images satellites. La probabilité d'infection par la jaunisse de ces parcelles a été modélisée en utilisant des images satellite de Sentinel 2 (images multispectrales à grande résolution de la couverture des sols et cartographie de variables géophysiques comme la chlorophylle). Les résultats ont montré une bonne identification des parcelles saines, avec peu de risque de faux positifs. Les parcelles touchées par la jaunisse sont identifiées avec une **probabilité de 50%. Couplées avec d'autres indicateurs de présence et d'intensité de la jaunisse, les images satellite pourraient ainsi être utiles à l'expertise des pertes de rendement liées à la jaunisse.**

L'ITB a également développé des méthodes numériques d'estimation de la surface et de la gravité de jaunisse par parcelle afin de réduire les imprécisions des notations visuelles. Pour cela, des drones équipés de caméras multispectrales mesurent la gravité de la jaunisse par le taux de chlorophylle. Les résultats offrent une **précision de 55%** (ITB, 2021), mais lorsque la parcelle est également jaunie par la sécheresse, cette méthode devient inopérante (car l'outil se base sur la détection de couleurs).

En complément, des entretiens ont été menés avec Green Triangle et avec l'entreprise ITK, sur les nouveaux outils d'aide à la décision utilisant des images satellite de santé végétative, de cartographie de parcelles et de données climatologiques (température, humidité de l'air, précipitations, etc.) permettant de détecter l'ensemble des aléas climatiques intervenus sur les parcelles ou de prévoir un niveau de rendement. Ces outils reposent sur la modélisation du rendement à partir des données de santé végétative. Des filtres de pression sanitaire peuvent également être ajoutés. Par exemple, pour la vigne, un filtre de pression oïdium en fonction de l'humidité de l'air a été ajouté au modèle de rendement. Le niveau de pertes de rendement lié à la jaunisse pourrait également être estimé comme le déficit de rendement observé par rapport à la prévision du modèle.

Ces outils de modélisation et d'imagerie permettent d'ouvrir deux perspectives dans l'évaluation des pertes associées à la jaunisse :

- Evaluer avec précision la perte de rendement liée à la jaunisse à la parcelle via la modélisation de vols de pucerons et de risque de jaunisse à la parcelle (réalisé dans le cadre du projet SEPIM), ainsi que l'utilisation d'images satellite et de drones.

Février 2022

- Evaluer avec précision les effets des aléas climatiques, permettant d'évaluer précisément par différence les pertes liées uniquement à la jaunisse.

Ces outils pourraient se révéler être une solution performante dans l'évaluation des pertes de jaunisse. Cependant, les modèles de perte de rendement à partir d'images satellite et de modélisation à la parcelle ne sont pas encore développés ou sont en cours de développement. Leur conception et utilisation (principalement les images obtenues par drones) est relativement onéreuse. **En conséquence, ces nouvelles solutions ne seront vraisemblablement pas mobilisables à court terme.**

3.2. Pistes de réflexion pour l'amélioration des méthodes d'évaluation des pertes jaunisse

Trois pistes de réflexions complémentaires peuvent être formulées concernant l'amélioration de la méthode d'évaluation de la part des pertes de rendement liées à la jaunisse, nécessaire pour tout dispositif d'indemnisation.

❖ **Piste 1 : l'évaluation des pertes de rendement liées au stress hydrique**

Lors d'un épisode de jaunisse et de sécheresse concomitant, la perte liée uniquement à la jaunisse pourrait être estimée par différence. Cela impliquerait d'estimer de façon suffisamment précise la perte climatique liée à la sécheresse.

Les pertes liées à la sécheresse peuvent être estimées via le bilan hydrique. Cette méthode nécessite de disposer d'un certain nombre de données (pluviométrie, évapotranspiration, températures, réserve utile de la parcelle et données d'irrigation le cas échéant), dont la collecte peut être un frein à l'évaluation à grande échelle de la perte sécheresse. La question de l'utilisation d'un autre indicateur, plus simple, de pertes de rendement liée au stress hydrique se pose alors.

L'ITB a mené en 2020 des enquêtes sur 35 parcelles non irriguées des régions Ile-de-France et Centre, particulièrement touchées par la jaunisse et la sécheresse. Les résultats de ces enquêtes ont permis de tester le lien entre le niveau de réserve utile et le niveau de perte de rendement observé sur les parcelles (voir figure 7). La régression linéaire réalisée (perte de rendement en fonction du niveau de réserve utile) a montré un effet significatif du niveau de réserve utile. Le coefficient de détermination du modèle (R^2) est de 44%. Ainsi, la réserve utile permettrait d'expliquer 44% de la distribution des pertes de rendement.

La piste de l'utilisation du niveau de la réserve utile dans l'évaluation des pertes de jaunisse, pour les parcelles non irriguées (plus la réserve utile est faible, plus la part des pertes est expliquée par la sécheresse) **semble toutefois difficile à mettre en œuvre à la vue du faible pourcentage de fiabilité du modèle de prévision.**

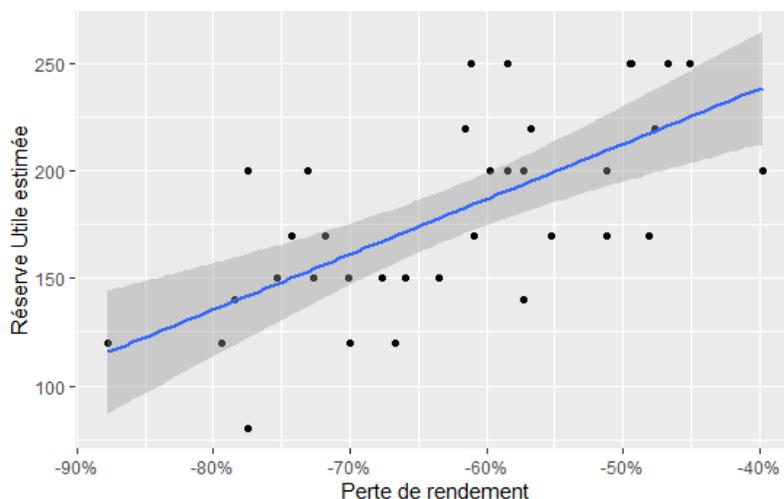
Autre option : s'appuyer sur les modèles prédictifs développés par les assureurs pour estimer les pertes climatiques afin de déterminer, par différence avec le niveau des pertes totales de rendement, le niveau des pertes sanitaires. Cette approche reste toutefois limitante car :

- tous les agriculteurs betteraviers ne seront pas « assurés » dès lors que le niveau des pertes de rendement n'atteint pas 50% (cf. réforme de l'assurance récolte en cours) : les résultats du modèle développé par les agriculteurs pourraient donc ne pas couvrir certaines zones betteravières correspondant à des « non assurés MRC »,
- les assureurs ne souhaiteront pas forcément partager leurs résultats de modélisation,

Février 2022

- les pertes sanitaires ne correspondront pas forcément à une perte jaunisse exclusive (cf. développement du charançon).

Figure 7 : Perte de rendement par rapport à une référence historique en fonction de la réserve utile estimée



Source : ARTB

❖ **Piste 2 : la création d'abaques territorialisés tenant compte de la nature des virus**

En 2020, des abaques de perte de rendement en fonction de l'intensité des symptômes ont été réalisés sur la base de données de l'ITB. Ces abaques pourraient être améliorés en tenant compte :

- **De la date d'infestation des betteraves ou de la date d'arrivée des pucerons sur la parcelle.** Cette date d'arrivée peut être obtenue auprès de l'agriculteur ou pourrait être modélisée (des outils de modélisation à la parcelle sont développés dans le cadre du projet SEPIM).
- **Du type de virus de la jaunisse présents sur la parcelle.** Les résultats du projet Provibe ont montré la forte variabilité de la perte de rendement en fonction du type de virus. L'INRAE développe des tests rapides et fiables qui permettraient d'identifier le type de virus relativement facilement.

La combinaison de ces outils permettrait aux experts d'évaluer plus précisément la perte de rendement liée à la jaunisse. Des travaux seront menés avec l'ITB pour mettre au point ces abaques.

❖ **Piste 3 : la modélisation géographique du risque de jaunisse**

Dans le cadre du PNRI, le projet SEPIM a pour objectif de construire un modèle de prévision et de surveillance du risque de jaunisse. Cet outil d'aide à la décision qui sera développé pourrait être utilisé pour modéliser la pression et le risque de jaunisse par parcelle.

Si ce système paramétrique permettrait d'estimer un niveau de perte couvert par le dispositif indemnitaire, les expertises terrain resteront incontournables d'autant que le modèle renseigne sur un pourcentage de surfaces infestées par la jaunisse sans toutefois expliciter le type de virus ayant infecté ces surfaces (l'utilisation de tests rapides et fiables pour identifier le type de virus constitue à ce titre un point clé).

❖ **Récapitulatif : avantages et inconvénients**

Tableau 2 : Avantages et inconvénients des différentes pistes de réflexion.

Piste	Avantage	Inconvénient
Piste 1 : l'évaluation des pertes de rendement liée au stress hydrique	> Evaluation individuelle	> Peu précis en cas de présence d'autres pressions sanitaires > Indicateur de réserve utile a une précision assez faible (44%) > Données des bilans hydriques complexe à collecter à grande échelle (en particulier pour les parcelles irriguées)
Piste 4 : la création d'abaques territorialisés tenant compte de la nature des virus	> Relativement simple à mettre en œuvre > Evaluation précise (abaques combinés avec des tests et une modélisation de la date d'arrivée des pucerons) et individualisées	> Nécessite le développement d'outils (tests, modélisation)
Piste 3 : la modélisation géographique du risque de jaunisse	> Indice simple à utiliser > Données transparentes > Evaluation à la parcelle	> Lourd à mettre en œuvre > Niveau de précision devant être amélioré

Source : ARTB

Février 2022

4. Conclusion

Le virus de la jaunisse peut avoir un impact conséquent sur le rendement betteravier, causant des pertes moyennes généralement comprises entre -20 et -30%. Si le niveau de la perte varie en fonction de la date d'inoculation du virus, du type de virus et des effets de co-infections, les résultats des prélèvements 2020 et 2021 suggèrent toutefois qu'il n'existe pas d'effets d'interaction entre la jaunisse et la sécheresse.

Par ailleurs et compte tenu du fait que la jaunisse a des symptômes caractéristiques (formation de ronds jaunes, feuilles cassantes) pouvant être confondus avec ceux du stress hydrique (lorsqu'un épisode de sécheresse s'ajoute à l'épiphytie de jaunisse), le dispositif indemnitare jaunisse doit veiller à ne prendre en compte que les pertes de rendement liées à la jaunisse (d'autres outils tels que l'assurance récolte intervenant sur les risques climatiques).

A ce stade, trois pistes de réflexions complémentaires pour améliorer les méthodes d'évaluation ont ainsi été identifiées :

- Une évaluation des pertes de rendement liée au stress hydrique en cas de sécheresse et de jaunisse,
- La création d'abaques territorialisés tenant compte de la nature des virus,
- Une modélisation géographique du risque de jaunisse.

Cette étude met en lumière la difficulté de différencier précisément les pertes liées à la jaunisse des pertes liées à d'autre aléas tels que la sécheresse.

Le développement de systèmes d'information géographiques mobilisant des données satellitaires et météorologiques apparaît comme une réelle opportunité, permettant de mieux évaluer le niveau des pertes et le lien direct avec les différents aléas.

A ce jour, la construction d'abaques de pertes de rendement - en collaboration avec l'ITB - en fonction de la date d'arrivée des pucerons sur la parcelle et des types de virus semble être la plus opérationnelle pour renforcer les méthodes d'expertises.

Annexes

Définition des méthodes d'identification et d'évaluation des pertes jaunisse

4.1.1. Comptage

Le comptage consiste à dénombrer les pieds infectés par la jaunisse sur une surface de 10 m², puis d'extrapoler le résultat à l'ensemble de la parcelle. Mais la distribution non-uniforme, en ronds caractéristiques, des pieds infectés par la jaunisse rend impossible d'avoir une surface de 10m² où la maladie est distribuée de façon représentative.

4.1.2. Pesées

La pesée consiste à peser et mesurer le taux saccharimétrique de betteraves infectées par la jaunisse et de betteraves saines sur la même parcelle. Cette méthode a été utilisée en 2020 par l'ITB sur un échantillon de 26 parcelles afin d'estimer les pertes de rendement. Le prélèvement sur une même parcelle permet ainsi de gommer une partie des effets hydriques confondants (il est toutefois possible que ce stress, lorsqu'il est avéré, ait pu avoir un effet amplificateur sur les pertes de rendement même si l'étude de 2019 tend à prouver le contraire).

4.1.3. Tests Elisa

La technique de laboratoire ELISA (*Enzyme Linked Immuno Sorbent Assay*) permet de détecter de nombreux virus à partir de feuilles de betteraves, en détectant les réactions antigène/anticorps par la lecture de la densité optique.

Le test est réalisé sur des jeunes feuilles d'une hauteur de 10 cm. Les feuilles sont préalablement broyées dans des sachets filtrants. Le substrat est récupéré et mis dans un lecteur à plaque (une plaque par type de virus), avant l'ajout des solutions d'anticorps. Après incubation en étuve, le lecteur à plaque sort ses résultats de lecture de densité optique, qui est l'indicateur de la quantité de virus présent dans la plante (Malatesta, 2020).

En complément, des autotests, qui pourront être utilisés au champ, sont en cours de développement par l'INRAE.

4.1.4. Examen visuel et abaques de perte de rendement

L'estimation de la perte de rendement liée à la jaunisse par un examen visuel a été la méthode la plus utilisée en 2020, car elle est simple à mettre en œuvre, elle est relativement rapide, elle n'est pas contrainte par la distribution en ronds non-uniforme de la jaunisse et permet d'identifier également les betteraves asymptomatiques (qui restent largement minoritaires).

Pour faciliter l'estimation de la perte, l'expert peut se baser sur des abaques de perte de rendement en fonction de l'intensité des symptômes. Cet outil simple à utiliser permet d'objectiver l'expertise et de fiabiliser l'expertise visuelle.

4.1.5. Imagerie par drone

Cette méthode a été imaginée pour chiffrer avec exactitude la superficie impactée par la jaunisse en « contourant » les ronds de jaunisse et en utilisant des images multispectrales. Mais ce système est basé sur la détection de la couleur jaune. Ce système rencontre deux difficultés :

- Le drone peut confondre la jaunisse avec les betteraves impactées par le stress hydrique
- La présence de feuilles vertes et cassantes, autre symptôme de la jaunisse, n'est pas détecté

L'intervention d'un drone a été chiffré, d'après la note méthodologique d'un assureur, à 10 euros par hectare, hors frais de déplacement. Cette méthode peut donc être très efficace à petite échelle (lorsque la jaunisse n'est pas généralisée) et lorsqu'il n'y a pas d'épisode de sécheresse. En revanche, cette méthode n'apparaît pas adaptée à une application à grande échelle.

4.1.6. Images satellites et de cartographie

Des outils utilisent des images satellite et de cartographie de parcelles pour y appliquer des filtres météorologiques afin de détecter l'ensemble des aléas climatiques intervenus sur la parcelle.

Actuellement, ces outils sont développés pour compléter les informations nécessaires pour réaliser les expertises. A partir des réseaux de surveillance et de modélisation, des informations sur le risque sanitaire pourraient être intégrés dans ces outils pour aider l'expert à établir un niveau d'infestation.

4.1.7. Bilans hydriques

Dans le cas d'aléas concomitant de sécheresse et de jaunisse, les pertes liées à la jaunisse pourraient être calculées en faisant la différence de la perte totale et des pertes liées au stress hydrique. Pour cela, une estimation fiable des « pertes stress hydrique », via l'utilisation des bilans hydriques pourrait être envisagée.

Le déficit hydrique dépend de nombreux paramètres pédologiques. De plus, les bilans hydriques nécessitent un grand nombre de données, telles que la date de semis, les précipitations, l'évapotranspiration. La réalisation des bilans hydriques serait trop lourde pour les experts. Ce serait donc aux agriculteurs de réaliser ces bilans et il serait nécessaire d'harmoniser et de fiabiliser les méthodes de calcul.

Avantages et inconvénients des outils

Les avantages et les inconvénients de chaque outil d'évaluation des pertes jaunisse sont reportés dans le tableau 3. Les outils pour évaluer la superficie de betteraves infectée par la jaunisse peuvent fonctionner en coordination avec un outil d'évaluation de la perte de rendement.

Tableau 3 : Avantages et inconvénients des différents outils d'évaluation des pertes jaunisse

Outils d'évaluation		Simplicité	Faible coût (€+temps)	Précision / fiabilité	Déployable à grande échelle	Type de virus	Adapté à la distribution spatiale de	Acceptable / compréhensible	Formation
Evaluer la superficie infectée par la jaunisse	Comptage	+	+	-	+	-	-	+	+
	Examen visuel	+	+	-	+	-	+	+	+
	Imagerie par drone	-	-	+	-	-	+	-	-
	Images satellite et de cartographie	-	+/-	+	+	-	+	-	-
Evaluer la perte de rendement	Pesées	-	+	+	-	-	+	+	+
	Test Elisa	-	-	+	-	+	+	+	+
	Abaques	+	+	-	+	+/-	+	+	+
	Fermes de référence	-	-	-	-	+	+	+	+
	Bilans hydriques	-	+	+/-	-	-	+	+/-	-

Exemple de lecture du tableau : La méthode de comptage est simple, à faible coût, déployable à grande échelle, facilement compréhensible et ne demande pas beaucoup de formation, mais elle est peu fiable car non adaptée à la distribution des foyers de jaunisse et elle ne permet pas d'identifier le type de virus. Source : ARTB

Références

- British Sugar, N. (2021). *2021-22 Virus Yellow compensation agreement*. Récupéré sur <https://www.nfuonline.com/archive?treeid=147192>
- CCR, département R&D modélisation. (2020). *Note de synthèse sur le suivi de l'aide à l'assurance multirisque climatique pour l'exercice 2019 par CCR pour le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation*.
- Clover, G., Smith, H., Azam-Ali, S., & Jaggard, K. (1999). The effects of drought on sugar beet growth in isolation and in combinaison with beet yellows virus infection. *Journal of Agricultural Science*, 251-261.
- Didier, A. (2013). Modélisation de la croissance, des relations sources-puits et du rendement en sucre de la betterave sucrière sous des régimes contrastés de nutrition azotée. *Sciences agricoles*, 41.
- ITB. (2020, septembre). *Fiche jaunisse*. Récupéré sur [itbfr.org: https://www.itbfr.org/fileadmin/user_upload/PDF/Fiches_Bioagresseurs/Gestion_integree_-_jaunisse_2020_web_01.pdf](https://www.itbfr.org/fileadmin/user_upload/PDF/Fiches_Bioagresseurs/Gestion_integree_-_jaunisse_2020_web_01.pdf)
- ITB. (2020, décembre 16). *Retour sur le comité technique spécial jaunisse*. Récupéré sur [itbfr.org: https://www.itbfr.org/tous-les-articles/article/news/retour-sur-le-comite-technique-special-jaunisse/](https://www.itbfr.org/tous-les-articles/article/news/retour-sur-le-comite-technique-special-jaunisse/)
- ITB. (2021, Novembre 2). Comment repérer les variétés tolérantes à la jaunisse ? *Le Betteravier Français*, p. 17.
- Malatesta, G. (2020, septembre 25). *Jaunisse et test ELISA*. Récupéré sur [ITB: https://www.itbfr.org/tous-les-articles/article/news/jaunisse-et-test-elisa/](https://www.itbfr.org/tous-les-articles/article/news/jaunisse-et-test-elisa/)
- Mark Stevens, P. B. (2003, Août 17). The effects of Beet mild yellowing virus and Beet chlorosis virus on the yield of. *Annals of applied Biology*, p. 113.
- Maupas, F. (2021, janvier 27). Impacts de la multi-infection sur la gravité de la jaunisse. Paris, France.
- Shrestha, N., Geerts, S., Raes, D., Horemans, S., Soentjens, S., Maupas, F., & Clouet, P. (2009). Yields response of sugar beets to water stress under Western European conditions. *Agricultural Water Management*.