

# Enseignements du projet OPTIPRESS 2 sur l'optimisation des rendements d'extraction

## Introduction

L'objectif du projet OPTIPRESS 2 (2018-2022) était d'identifier des outils de pilotage et des leviers technologiques pour permettre d'augmenter les rendements d'extraction du moût de pomme tout en garantissant la qualité des produits (jus et cidres) et des coproduits (marc de pomme valorisé en pectinerie) obtenus. Préalablement à cette recherche d'outils et de

solutions pour augmenter les rendements d'extraction, une première étape pour mieux comprendre les déterminismes du rendement a été réalisée. Cette première étape est justifiée par le fait qu'il existe plusieurs causes de limitations de rendement d'extraction et que tous les leviers pressentis de traitement de la râpüre ne seront pas efficaces dans toutes les situations.

## Comprendre le phénomène du pressage

### La presse instrumentée : un modèle simplifié

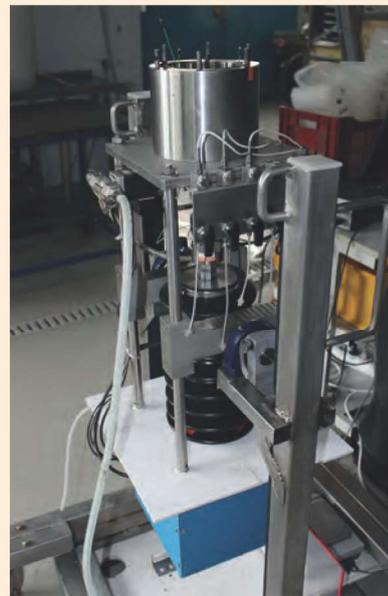
Les essais sur presse instrumentée ont permis de mieux comprendre ce qu'il se passe lors du pressage. Cette presse représente un modèle simplifié avec de la râpüre enfermée dans un cylindre avec à sa base un piston mobile et dans sa partie haute une grille de drainage retenant le marc de pomme et une sortie pour le jus. Cet instrument a permis d'enregistrer en continu à la fois la masse de jus pressée, la pression à l'intérieur du gâteau de pressage et la position du piston de pressage (vitesse fixée et constante). Ce système de pressage, très simplifié, décrit assez bien ce qui se passe dans les presses cidricoles :

- L'analogie est assez facile avec une presse de type « Bucher à drains » où la râpüre est également chargée dans un cylindre (corbeille) où un piston mo-

bile va la comprimer. La sortie du moût s'effectue par les drains présents dans la corbeille, représentant une surface plus importante que le lieu unique de sortie du moût de la presse instrumentée.

- Les pressoirs de type vinicoles présentent un fonctionnement proche avec également une corbeille chargée de râpüre ; la force motrice du pressage, au lieu d'être l'avancée d'un piston, est remplacée par gonflement de la membrane interne du pressoir. La surface permettant le drainage du moût est également importante : elle est constituée de la cage externe de la corbeille.

- Pour une presse à bande, la force motrice correspond au « laminage » de la râpüre entre l'élément drainant (la toile de pressage) et les cylindres de la presse.



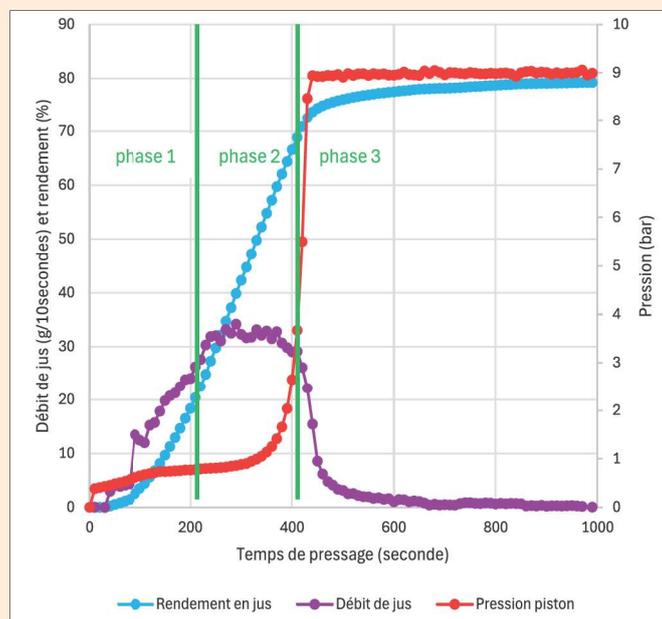
Presse instrumentée.

### Les 3 phases du pressage

Grâce à la presse instrumentée, il est possible de mesurer, simultanément et en continu, l'avancée du piston, la pression dans le gâteau de pressage et la quantité de jus extraite.

Lors d'un pressage, on obtient typiquement les courbes représentées dans le graphique ci-contre. En analysant plutôt le débit (quantité de jus sortant par unité de temps, courbe violette), on peut plus aisément remarquer 3 phases : i) une phase de montée du débit, ii) une phase à débit à peu près constant et iii) une phase de chute de débit. Il est possible de décrire ces 3 phases de la façon suivante :

- La première phase d'augmentation du débit correspond à une consolidation du gâteau de marc à presser. Au départ du pressage, pour répondre à l'avancement du piston, les particules de râpüre se réorganisent progressivement dans la chambre de pressage en chassant l'air entre les particules, c'est donc principalement de l'air qui sort de la presse au tout début de cette phase.



Puis, progressivement, le jus déjà libre issu des cellules endommagées par le râpage est évacué. La proportion de jus augmente et la quantité d'air diminue, ce qui explique l'augmentation continue du débit au cours de cette phase.

- Durant la seconde phase, le débit de sortie est globalement stable. C'est quasiment uniquement du jus qui est expulsé de la chambre de pressage. La faible augmentation de la pression à l'intérieur du gâteau de pressage

indique que l'avancée du piston est quasi compensée par l'expulsion du jus. C'est lors de cette phase qu'une grosse partie du rendement est réalisée.

- Dans la troisième et dernière phase, le débit chute très rapidement. Cette observation peut être interprétée en considérant que le marc proche de la toile de drainage (sortie du jus) peut former une couche très dense qui s'oppose à l'écoulement du jus en créant une porte de charge qui, à son tour,

explique la montée exponentielle de la pression. Le système se stabilise à la pression maximale admissible, le piston (ou la presse) étant limité à une pression donnée. Lors de cette phase, le jus continue à s'écouler mais de plus en plus lentement.

Le gain de rendement dans cette phase est relativement marginal ; la productivité (débit moyen) du pressage diminue fortement.

## Compréhension des limitations du rendement d'extraction

A partir des courbes de débit de pressage, il ressort que la situation la plus favorable pour obtenir un fort rendement d'extraction est d'expulser la plus grande partie du jus possible lors de la phase d'avancement du piston avant l'augmentation de la pression qui aboutit au colmatage. Pour cela, il faut que le jus soit le plus « libre » possible. C'est le cas typique des conditions de maturité et/ou des variétés présentant une râpure très juteuse à l'issue du râpage. Dans ce cas, les tissus de la chair du fruit sont assez rigides (faible élasticité) pour être endommagés par le râpage, ainsi une grosse partie du jus n'est plus « prisonnière » des cellules et peut donc s'écouler facilement. Ce type de texture assez rigide des tissus favorise également la libération du jus des cellules en ménageant au cours du pressage des zones d'écoulement permettant de drainer le jus vers la sortie de

la presse. La phase de montée en pression est ainsi retardée.

Toutefois, si la texture de la chair de pomme est trop rigide, alors il est tout à fait possible qu'elle offre assez de résistance (phénomène de cage) pour protéger une partie des cellules qui en restant intactes ne libéreront pas de jus et donc diminueront le rendement d'extraction.

A l'inverse les situations les moins favorables au rendement sont celles où il y a peu de jus « libre ». C'est le cas des conditions de maturité et/ou des variétés présentant une râpure n'exsudant naturellement pas de jus (râpure sèche ou collante). C'est le cas de variétés farineuses où, lors du râpage, les cellules ne sont pas endommagées car la liaison entre les cellules est devenue très ténue. Ainsi, au lieu de déchirer/fracturer les cellules comme dans le cas de pommes à la texture ferme, le

râpage aboutit plutôt à séparer des blocs de cellules sans libérer de jus. Lors de l'avancée du piston, le jus est expulsé en plus faible quantité et la montée en pression est plus précoce. Ce type de texture sans parois rigides présente également un effet négatif sur le rendement en limitant l'écoulement du jus en son sein et en donc en diminuant la perméabilité du gâteau de pressage. Le cas de pommes flétrées (ex. Douce Moen) présente ce même type de réponse au rendement.

Au-delà de l'aspect purement mécanique lié à la texture des fruits, les mesures de viscosité des jus ont montré que les pommes fortement mûres ont une viscosité fortement augmentée (x2) ce qui contribue également à limiter l'écoulement de jus. Cette augmentation de la viscosité est à lier à la quantité de pectine présente dans les jus.

## Tests de solutions d'amélioration de rendement à l'échelle laboratoire

Pour répondre à ces différentes causes de limitation de rendement, différents traitements de la râpure (donc entre râpage et pressage) ont été évalués :

- Dans le cas de fruits pour lesquels la liaison entre les cellules devient plus lâche, ce qui aboutit à une texture plus farineuse, on va chercher à renforcer le ciment intercellulaire constitué de pectine. Ce renforcement va augmenter la rigidité de la râpure et ainsi favoriser l'expulsion et l'écoulement de jus. Cette restructuration est réalisée par l'ajout de calcium (chlorure de calcium) et d'enzyme (pectine méthyl-estérase, PME).

- Dans le cas de variétés qui se déshydratent fortement (cas de la variété Douce Moen), ce qui aboutit à des fruits avec une texture souple et élastique, on va chercher à rendre les cellules turgescentes pour avoir une texture plus ferme et ainsi pour favoriser l'expulsion de jus. Cette augmentation de la turgescence est effectuée expérimentalement avec un ajout d'eau.

- Dans le cas de fruits avec une texture trop rigide et donc limitant l'extraction de jus, on va chercher à diminuer la rigidité des parois entre les cellules par l'ajout d'enzyme d'aide au pressage (mélange de PME et de polygalacturonase, PG).

- Enfin, un traitement plus « universel », c'est-à-dire plus indépendant de la texture des fruits a été évalué. Le principe est d'augmenter la porosité des cellules pour favoriser la libération du jus. L'objectif est ainsi de faciliter la sortie du jus du gâteau de pressage avec une faible montée en pression. A l'échelle laboratoire, ce traitement a été réalisé par congélation de la râpure, congélation qui permet d'endommager les cellules et les rendre ainsi plus poreuses. Le procédé de congélation de la râpure n'est évidemment pas viable transposé à une cidrerie mais a pour objectif de mimer l'action des champs électriques pulsés (CEP) en favorisant la porosité des cellules.

Globalement, les solutions technologiques envisagées se révèlent peu efficaces. Le renforcement de la rigidité des tissus par ajout de PME et de chlorure de calcium dans la râpure a bien un léger effet sur les fruits très mûrs, mais est trop faible pour être préconisé. Le principal effet significatif est la congélation de la râpure qui permet une expulsion de jus des cellules sous basse pression par destruction des membranes cellulaires. Comme dit précédemment, il ne s'agit pas là d'un procédé envisageable au stade industriel mais il permet de simuler, au stade pilote, l'usage des champs électriques pulsés, qui constitue lui un procédé industrialisable. Cette technologie innovante permet de rendre poreuse la membrane cellulaire entraînant ainsi une augmentation du rendement. A noter que cette technologie consomme peu d'énergie et permet d'optimiser l'usage de la matière première avec un coût d'investissement raisonnable.

## Impact du type de presse

Dans le cas de la presse instrumentée, à l'issue du pressage, il existe un important gradient de rendement d'extraction au sein du gâteau de pressage. Les couches proches de la sortie de jus présentent une humidité plus faible et donc un rendement de pressage assez fort. Inversement, les couches les plus proches du piston (et les plus loin de la sortie du jus) ont une humidité beaucoup élevée et donc un rendement de pressage plus faible. La différence de rendement au sein du gâteau de pressage dans le cas de la presse instrumentée est très importante (différence de 15 % de rendement entre la couche la plus lointaine de la sortie de jus et celle la plus proche de la sortie de jus). Ce différentiel important s'explique par la faible surface

de collecte du jus par rapport au volume de râpüre. Les presses utilisées en cidrerie remédient plus ou moins efficacement à ce problème par leur conception et leur fonctionnement :

- Pour les presses type « Bucher à drain », les drains sont nombreux et présents à l'intérieur même du gâteau de pressage limitant ainsi naturellement fortement la distance moyenne vers une zone de collecte. De plus, il est prévu lors du pressage des temps de retrait du piston et de rotation du cylindre de pressage permettant ainsi de redisperser la râpüre en cours de pressage et ainsi de casser la couche limitant la sortie du jus autour des drains avant un nouveau cycle de compression du gâteau.

- Dans les pressoirs de type vinicole, la rotation de la cage du pressoir permet une décompaction de la couche limitant le drainage au voisinage de la paroi de la corbeille, même si elle est en général moins efficace que pour les presses type « Bucher à drain ».

- Pour la presse à bande, c'est l'inversion et le changement des rayons de courbure des cylindres successifs de la presse qui permettent un léger réarrangement du gâteau de pressage et un gain de rendement par rapport au seul effet du premier cylindre de pressage.

- Enfin, dans le cas de la presse à paquet, il n'est bien sûr pas possible de réarranger le gâteau lors du pressage. Dans ce cas, il est uniquement possible de jouer sur l'épaisseur du gâteau de pressage entre chaque claie.

## Recherche d'outils prédictifs du rendement d'extraction

L'ensemble des travaux réalisés n'ont pas permis de mettre en évidence de relation entre les caractéristiques du fruit (propriétés mécaniques, test de cohésion cellulaire, maturité) ou de la râpüre (analyse d'image) et la « pressabilité » du fruit. Ce constat est à imputer au caractère multi-causal du déterminisme des rendements d'extraction. La conclusion

est qu'il n'est donc pas possible, par une approche simple de type test ou mesure simplifiée, d'estimer la « pressabilité » du fruit.

Face à ce constat, l'option choisie a été de réaliser un abaque permettant, en fonction de la variété, d'estimer l'évolution du rendement en fonction de la maturité. Pour cela, un tra-

vail de retraitement de données de pressage sur dix variétés cidricoles (55 % des surfaces de vergers actuels) a été réalisé. Il est ainsi possible de faire différentes classes de variétés (cf. tableau ci-dessous) en fonction de la vitesse d'évolution du rendement et de la maturité des fruits à l'arrivée en cidrerie : fruits en sous-maturité ou fruits déjà à maturité.

**CE TABLEAU EST UN OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION (OAD) POUR CHOISIR LES MEILLEURES OPTIONS D'ORDONNANCEMENT DES VARIÉTÉS AU PRESSAGE.**

	Variétés intéressantes à laisser mûrir pour augmenter le rendement (à garder sur parc avant pressage)	Variétés à faible évolution (aucun intérêt à repousser le pressage)	Variétés dont l'évolution conduit à une baisse de rendement (à presser en priorité)	Variétés à évolution très importante (à presser en urgence)
Fruits en sous-maturité à l'arrivée en cidrerie	Douce Coetligné Binet Rouge Bedan Douce Moen	Fréquin Rouge Avrolles Petit Jaune Locard Vert	Judor Kermerien	
Fruits déjà à maturité à l'arrivée en cidrerie	Bedan	Fréquin Rouge	Judor Avrolles Kermerien Binet Rouge	Douce Moen Petit Jaune Douce Coetligné Locard Vert

Préconisations de traitement des variétés en fonction de leur maturité à réception en cidrerie.

## Essais de la technologie CEP à l'échelle pilote

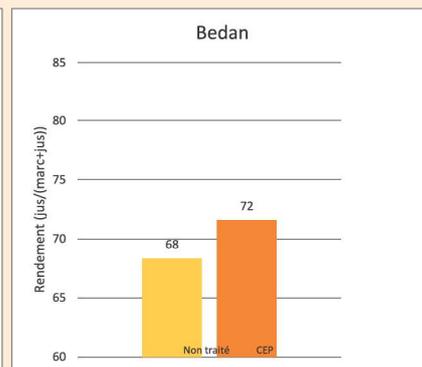
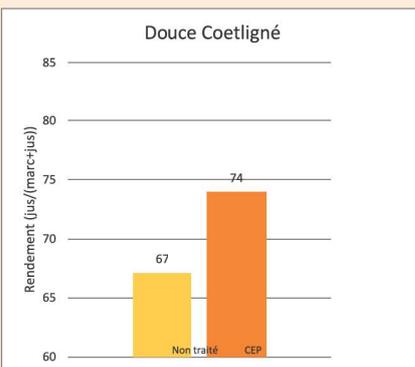
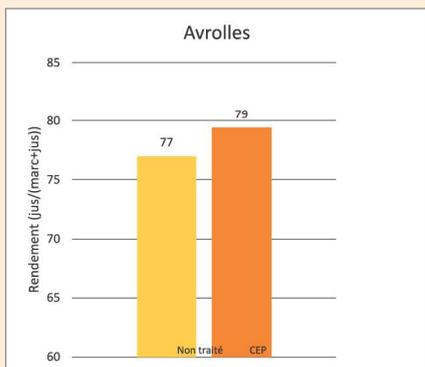
L'objectif était d'évaluer à l'échelle pilote la technique la plus performante, les champs électriques pulsés (CEP), sur le plan des gains de rendement. Les photos ci-contre illustrent la chambre de traitement de la râpüre et le générateur d'impulsions électriques.

Ce travail a été réalisé à l'IFPC sur une presse à bande, équipement représentatif des cidreries de taille intermédiaire. Concernant le rendement d'extraction, il s'agissait d'évaluer un éventuel impact de la texture (couplant variété et maturité) des pommes cidricoles. Le choix variétal s'est porté sur : i) la variété Avrolles avec des fruits sous-mûrs (texture dure), ii) la



variété Douce Coetligné avec des pommes sur-mûres (texture molle) et iii) une pomme

à texture standard : variété Bedan à maturité moyenne.



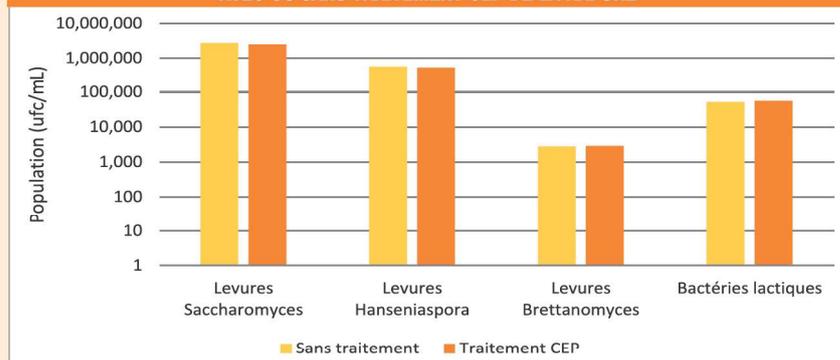
Le traitement CEP de la râpuration provoque pour les trois variétés une augmentation de rendement significative comprise entre 2,5 % et 7 % de rendement (cf. graphique ci-dessus). Il est à noter que l'impact du traitement CEP de la râpuration sur la variété Douce Coetligné est particulièrement élevé (7 %), alors qu'il n'était pas attendu d'effet plus important sur cette variété. Ces résultats montrent que le traitement de la râpuration par CEP impacte positivement le rendement sur trois textures de fruits bien différentes et représentatives de la diversité des situations rencontrées en cidrerie.

Lors de ces essais, d'éventuels effets non intentionnels (positifs ou négatifs) liés au traitement CEP ont été recherchés. Aucun impact significatif n'a pu être mesuré sur i) la composition physicochimique du moût (sucre et polyphénols) et ses conséquences (couleur en particulier pour les pommes à chair rouge), ii) l'aptitude du moût à la clarification pré-fermentaire et iii) l'aptitude à la valorisation du marc (sé-

chage et valorisation pectinique du marc). Les champs électriques pulsés sont parfois utilisés pour décontaminer diverses matrices sur le plan microbiologique, néanmoins les paramètres de traitements sont très différents de ceux utilisés pour favoriser l'expulsion du jus des cellules. Des mesures ont toutefois été réalisées pour évaluer un éventuel impact sur la flore microbiologique du moût qui contribue à

la réalisation de la fermentation en flore spontanée. Ainsi, pour l'ensemble des dénombrements effectués sur les différents milieux sélectifs, on ne constate pas de différence entre les deux modalités de traitement de la râpuration ; les populations pour chacun des milieux sélectifs étant identiques (i.e. en deçà de l'intervalle de 20 % que nous nous donnons pour ces analyses microbiologiques).

COMPARAISON DE LA POPULATION MICROBIOLOGIQUE DES MOÛTS AVEC OU SANS TRAITEMENT CEP DE LA RÂPURATION



## Essais de la technologie CEP en cidrerie

Suite aux résultats positifs obtenus en termes de rendement d'extraction en pilote, des essais ont été menés en cidrerie sur deux années (2021 et 2022) pour un total de 13 000 T de fruits. Les essais ont été réalisés sur des presses à drains (marque Bucher) qui sont, dans la filière cidricole, les presses les plus performantes au niveau du rendement d'extraction. Il était donc initialement attendu une augmentation du rendement d'extraction plus modeste que celle observée sur presse à bande, presse utilisée pour les essais pilotes. Les résultats montrent une aug-

mentation du rendement d'extraction de 0,8 % pour un rendement de base à 77 %. Au-delà de cette amélioration de rendement sur du matériel déjà très performant, le traitement de la râpuration par CEP a aussi permis d'augmenter significativement la productivité du pressage avec un meilleur remplissage de la presse. Ce remplissage plus important signifie que les différents cycles de « pré-pressage » et remplissage qui ont lieu avant l'étape de pressage final ont été plus efficaces, car ils ont libéré un volume plus important permettant ainsi de charger plus fortement la presse en

râpuration. La consommation électrique du module CEP a été estimée à l'aide de relevés à 3 kWh/T de fruits. En appliquant un tarif de 0,25 €/kWh, le coût du traitement CEP est de 0,75 €/T de fruit. A ce coût de fonctionnement, il est nécessaire de rajouter le coût de location du générateur ainsi que la confection d'une cellule de traitement de la râpuration, l'ensemble rapporté au tonnage de fruits est estimé à environ 2,5 €/T de fruit. Avec un gain de rendement de 0,8 %, au-delà d'une valorisation du jus brut à 0,4 €/L, le dispositif devient économiquement intéressant.

## Perspectives

Les essais réalisés en 2022 sur une quantité importante de fruits ont permis d'avoir une vision robuste de l'intérêt du traitement de la râpuration par CEP sur le rendement et de son intérêt économique. Ces données associées au changement d'échelle manquaient jusqu'à présent pour décider d'un

éventuel investissement en cidrerie. En revanche, des doutes subsistent sur le design de chambre de traitement CEP à adopter et sur la durabilité de celle-ci. Ces doutes font que ce dispositif n'a, à l'heure actuelle, pas encore été intégré dans la chaîne d'extraction.