

Magazine

# la papeterie

N°365 - février-mars 2020

by **ENP PUBLISHING**

**DOSSIER  
ENVIRONNEMENT  
ÉNERGIE**

**REPORTAGE  
Papeterie Le Bourray**

**PORTRAIT  
Jean-François Guillot  
(Fibre Excellence)**



# Séchage des couches barrières : l'approche et les résultats de Compact Engineering

*Compact Engineering a mis au point des lampes infrarouges spéciales qui permettent de sécher les couches barrières, en commençant par la couche de sédimentation initiale. Ce dispositif est particulièrement efficace sur le plan énergétique. Des vitesses de production élevées peuvent être obtenues, sans compromettre la qualité du papier. Cet article examine les principes physiques du séchage des couches, en particulier barrières. Il montre qu'un transfert de chaleur effectif et un transfert de masse efficace élargissent l'étroite fenêtre d'action des papetiers dans la production de papiers barrières. Un cas d'application pour le séchage d'une couche spéciale à base d'alcool polyvinylique est également présenté.*

Le séchage de la couche représente un élément essentiel de la fabrication du papier. Des difficultés particulières surviennent lors du séchage des couches barrières, car le processus de séchage crée également l'effet barrière. S'il reste de l'eau sous le film formé à la surface de la couche, elle endommagera la surface dès qu'elle s'évaporerait. Par conséquent, une courbe de séchage correcte est un élément essentiel du séchage des couches barrières. Dans la plupart des cas, la vitesse de production doit être considérablement réduite par rapport aux couches normales, car les couches barrières ont souvent une dépose humide très élevée. Dans des cas particuliers, la vitesse de production n'atteint qu'un tiers, voire un quart de la vitesse normale.

Le séchage optimisé des couches barrières à partir de la couche de sédimentation initiale évite la formation précoce d'un film à la surface et toute l'eau peut être évaporée sans endommager ultérieurement la barrière. De plus, cette façon de sécher réduit nettement la migration de phase liquide dans le support et ainsi l'énergie nécessaire pour le séchage. Et cela non seulement sur couches barrières mais aussi conventionnelles. Nous montrons les principes physiques du séchage et leur influence sur le séchage des barrières, mais aussi sur les couches en général ; nous montrons également comment la fenêtre de travail peut être considérablement élargie, en particulier en termes de vitesse de production.

**Le séchage optimisé des couches barrières à partir de la couche de sédimentation initiale évite la formation précoce d'un film à la surface. De plus, toute l'eau peut être évaporée sans endommager ultérieurement la barrière.**

## INTRODUCTION

De très longues hottes à air chaud sont souvent utilisées pour sécher les couches barrières afin de les chauffer lentement et d'empêcher la formation précoce d'un film en surface. Inconvénients : la taille des machines et la faible vitesse de production. La plupart des fabricants de papiers barrières ont déjà constaté que les émetteurs infrarouges (IR) alimentés au gaz sont contre-productifs. Les émet-

teurs IR électriques représentent l'outil de choix mais, là aussi, il existe différents concepts qui présentent des caractéristiques distinctes en matière d'efficacité énergétique. Compact Engineering a mis au point des lampes infrarouges spéciales qui permettent de sécher les couches, en commençant par la couche de sédimentation initiale, et qui sont particulièrement efficaces sur le plan énergétique. Avec les couches barrières, il est possible d'atteindre des vitesses de production élevées sans compromettre la qualité du papier. Le rapport coût-efficacité est similaire à celui des émetteurs IR fonctionnant au gaz. Cet article examine les principes physiques du séchage des couches, en particulier ceux des couches barrières. Il montre qu'un transfert de chaleur effectif et un transfert de masse efficace élargissent l'étroite fenêtre d'action des papetiers dans la production de papiers barrières. En outre, un cas d'application pour le séchage d'une couche spéciale à base d'alcool polyvinylique est présenté.

## DIFFICULTÉS DE SÉCHAGE DES BARRIÈRES

Les couches barrières sont particulièrement difficiles à sécher et les papetiers se plaignent souvent des petites fenêtres de fonctionnement de leurs coucheuses. Outre les difficultés du séchage normal de la couche, le problème réside dans le fait que le séchage active la barrière. Si la surface sèche trop rapidement, elle formera prématurément un film et l'eau ne pourra s'évaporer qu'à travers la barrière, ce qui provoquera des microbulles. C'est pourquoi le séchage avec des séchoirs à air chaud à basse température est devenu la méthode de production établie, dans laquelle la température de surface est maintenue basse au moyen de vitesses lentes et de longs séchoirs. Ainsi, la température dans la couche peut lentement s'égaliser. Cela permet d'éviter la formation précoce d'un film en surface au détriment d'une faible capacité de production. Les fabricants de papiers barrières ont déjà discuté du fait que les séchoirs à IR fonctionnant au gaz et installés devant les hottes à air chaud ne devraient pas être utilisés dans les coucheuses afin de ne pas altérer la qualité de la barrière. Toutefois, la plupart des utilisateurs ne connaissent pas les principes physiques en jeu.



## PRINCIPES PHYSIQUES DU SÉCHAGE

Le séchage est un processus en deux étapes : le transfert d'énergie vers la matière à sécher et le transfert de masse pendant laquelle le solvant est évaporé. Dans la fabrication et le couchage du papier, l'eau est utilisée comme solvant. Dans l'idéal, lorsque l'eau s'évapore, la majeure partie de l'énergie est retirée de la matière à sécher et la température de celle-ci diminue.

### Le transfert d'énergie peut être opéré de différentes manières :

- **Conduction.** Dans la fabrication du papier, elle est généralement réalisée à l'aide de cylindres chauffés à la vapeur dont la surface chaude chauffe la matière à sécher par contact direct et ne peut être utilisée pour les couches qu'une fois qu'elles ont atteint leur extrait sec d'immobilisation.
- **Radiation,** généralement par IR. Le rayonnement est normalement la forme de transmission d'énergie la plus coûteuse, mais dans des applications spéciales, il est le plus efficace sur le plan énergétique.
- **Convection,** au moyen d'un émetteur tel que l'air dans un séchoir à air chaud.

#### ■ Séchage de couche par air chaud

Des hottes à air chaud sont utilisées après le poste de couchage, qui soufflent de l'air chaud et sec sur la surface du matériau à sécher et évacuent simultanément l'humidité. Lors du chauffage de la couche, il faut veiller à ce que la température augmente suffisamment lentement dans les hottes afin de contrôler la migration dans le substrat. Si la surface est chauffée trop rapidement, la phase liquide de la couche s'écoule dans le substrat, ce qui provoque des marbrures, de la poussière en surface (par manque de liant), etc. Avec le séchage barrière, l'augmentation de la température doit être plus lente qu'avec le séchage normal. L'énergie gagnée par la couche doit être proche de celle perdue par évaporation. Sinon, la surface de la couche se réchauffe trop rapidement, ce qui entraîne un séchage et une augmentation de la température au-dessus du point de formation du film. Une fois que le film est formé, le séchage s'arrête et l'eau restante est poussée à travers la couche barrière, ce qui provoque des microbulles.

#### ■ Séchage de couche par radiation

Pour le séchage des couches, des radiateurs IR sont fréquemment utilisés devant les hottes à air chaud afin d'immobiliser rapidement la couche et d'introduire de l'énergie sous la surface dans le matériau sec. Des émetteurs IR fonctionnant au gaz ou à l'électricité sont utilisés.

#### ► Spectre de rayonnement de différents émetteurs IR (fig. 1)

L'IR fait partie du spectre électromagnétique. Les différentes bandes d'ondes de l'IR sont déterminées par leurs longueurs d'onde qui, à leur tour, sont régies par la température de leur corps noir. Le rayonnement IR est généralement divisé en trois (parfois cinq) bandes d'ondes :

- IR à ondes courtes : contiguës à la lumière visible à une longueur d'onde de 780 nm jusqu'à 2  $\mu\text{m}$ ,
- IR à ondes moyennes : correspondant à des longueurs d'onde comprises entre 2  $\mu\text{m}$  et 4  $\mu\text{m}$ ,

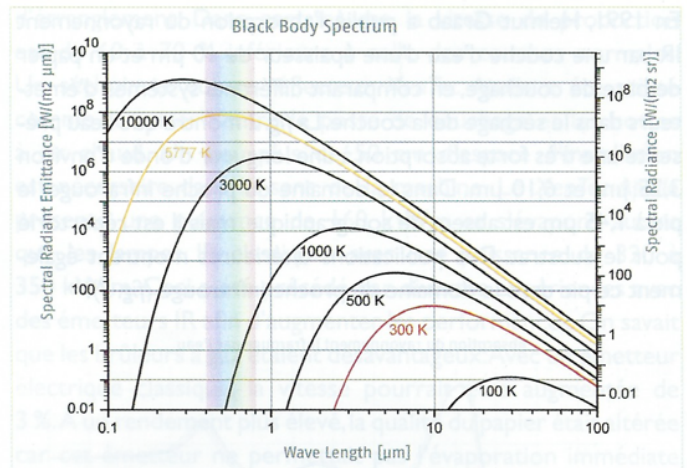


Fig. 1 Le spectre de rayonnement de Planck pour différents radiateurs à corps noir, avec le rayonnement spectral spécifique et la radiance spectrale. Jaune : rayonnement du soleil ; rouge : rayonnement de la Terre lors d'une journée ensoleillée.

- IR à ondes longues : entre 4  $\mu\text{m}$  et 1 mm de longueur d'onde. À une exception près, les émetteurs IR électriques ont leur rayonnement maximal à une longueur d'onde de 1,18  $\mu\text{m}$  dans le proche infrarouge, à une température de corps noir d'environ 2.450 K. Les radiateurs à gaz fonctionnent, selon la version, à des longueurs d'onde de pointe comprises entre 2,5  $\mu\text{m}$  et 3,5  $\mu\text{m}$ . Les émetteurs électriques optimisés de Compact ont leur puissance maximale dans l'IR à ondes courtes à une longueur d'onde de 1,45  $\mu\text{m}$ , ce qui correspond à une température d'environ 2.000 K. Plus la longueur d'onde est courte, plus l'intensité du rayonnement, qui, selon la loi de Stefan-Boltzmann, augmente avec la quatrième puissance de la température absolue, est élevée. Un doublement de la température signifie une densité de rayonnement seize fois plus élevée. Une température plus haute entraînerait donc un meilleur séchage si l'absorption des infrarouges n'avait pas d'importance.

#### ► Absorption des radiations

Elle n'est que la première des quatre étapes du processus de séchage. L'absorption du rayonnement par le substrat et la couche fournit l'énergie nécessaire au séchage. L'infrarouge à la bonne longueur d'onde stimule les liaisons intramoléculaires dans la couche, l'eau et le substrat.

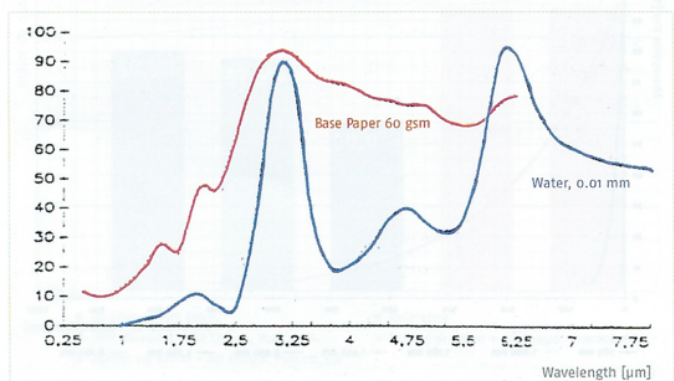


Fig. 2 Absorption du rayonnement IR par une fine couche d'eau et par du papier de base.



En 1991, Helmut Graab a publié l'absorption du rayonnement IR par une couche d'eau d'une épaisseur de 10  $\mu\text{m}$  et un papier de base de couchage, en comparant différents systèmes d'émetteurs dans le séchage de la couche. La fig. 2 montre que l'eau présente une très forte absorption à une longueur d'onde d'environ 3,25  $\mu\text{m}$  et 6,10  $\mu\text{m}$ . Dans le domaine du proche infrarouge, le pic à 1,45  $\mu\text{m}$  est absent de son graphique, mais il est répertorié pour le substrat. Des publications ultérieures montrent également ce pic dans le domaine du proche infrarouge (fig. 3).

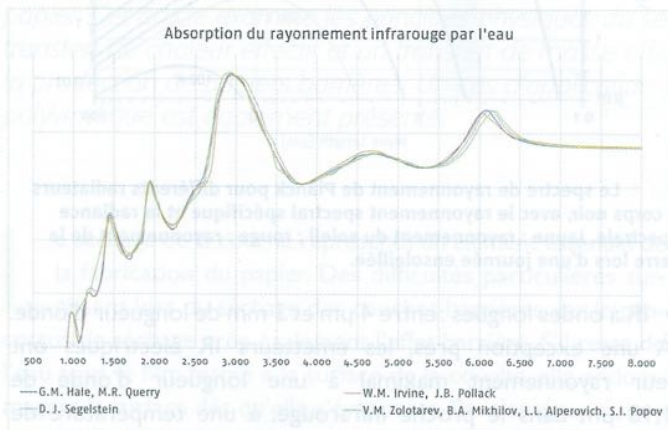


Fig. 3. Absorption du rayonnement IR par l'eau en fonction de la longueur d'onde 2, 3, 4, 5.

Pour le séchage des couches barrières, les bonnes longueurs d'ondes IR doivent fournir un mélange d'absorption et de pénétration de l'énergie à la feuille. La longueur d'onde de crête idéale est de 1,45  $\mu\text{m}$ .

#### ► Pénétration des radiations dans la couche et le substrat

À 1,45  $\mu\text{m}$ , le rayonnement est capable de pénétrer la couche et de chauffer la feuille située en dessous. Cela empêche la migration vers la feuille et garantit que la couche commence à sécher à partir de l'interface couche/feuille. L'évaporation continue de la surface de la couche garde la surface fraîche et les couches barrières ouvertes pour une plus grande évaporation. La relation longueur d'onde/pénétration est décrite dans la loi de Lambert-Beer et illustrée dans les fig. 4 et 5 pour certaines longueurs d'onde.

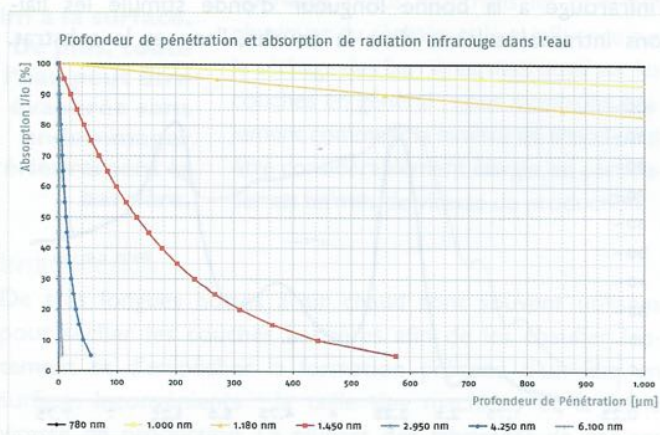


Fig. 4. Profondeur de pénétration et absorption du rayonnement IR par l'eau pour certaines longueurs d'onde des émetteurs électriques conventionnels et optimisés, profondeur de pénétration 1.000  $\mu\text{m}$ .

La fig. 4 montre très clairement que la lumière rouge (780 nm) à la limite de l'IR pénètre très profondément dans l'eau et est à peine absorbée. La lumière IR d'une longueur d'onde de 1.180 nm – sur laquelle les émetteurs électriques commerciaux émettent leur maximum – pénètre également très profondément. À une profondeur de 860  $\mu\text{m}$ , seulement 15 % du rayonnement est absorbé et transformé en chaleur. 80 % du rayonnement des radiateurs électriques optimisés, qui ont une puissance maximale à une longueur d'onde de 1.450 nm, est absorbé par une profondeur de 310  $\mu\text{m}$ . La fig. 5 montre la pénétration de certaines longueurs d'onde du rayonnement IR dans les 20 premiers  $\mu\text{m}$  de profondeur. Il est clairement démontré que 80 % de l'IR à ondes moyennes d'une longueur d'onde de 2.950 nm est déjà absorbé à une profondeur de 0,7  $\mu\text{m}$ . Au 2<sup>e</sup> pic pertinent de l'IR d'ondes moyennes, émises par les émetteurs IR à gaz, à 6,1  $\mu\text{m}$ , 80 % du rayonnement est absorbé à une profondeur de 3,6  $\mu\text{m}$ . Au 3<sup>e</sup> pic du spectre MIR, à une longueur d'onde de 4.650 nm, 80 % du rayonnement est absorbé dans les premiers 17,3  $\mu\text{m}$ . En moyenne, 80 % de l'énergie des radiateurs IR à gaz est absorbée dans les trois premiers  $\mu\text{m}$ . En pratique, cela entraîne un fort réchauffement de la surface de la couche. Le rayonnement ne peut pas pénétrer très profondément, de sorte que le substrat reste pratiquement non chauffé. Avec une couche barrière à base de PVA de 15 à 20  $\text{g}/\text{m}^2$  de dépose humide, seuls les 15 à 20 % supérieurs de la couche sont chauffés. Cela entraîne un séchage et un chauffage rapides et donc la formation précoce d'un film sur la surface. Toute eau restant dans la couche ou la feuille va rompre la couche et détruire la barrière.

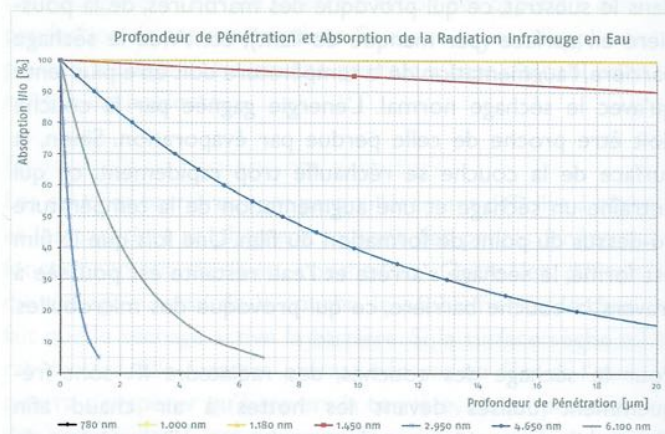


Fig. 5. Profondeur de pénétration et absorption du rayonnement IR par l'eau pour certaines longueurs d'onde des émetteurs à gaz à une profondeur de pénétration de 20  $\mu\text{m}$ .

#### ► Évaporation efficace

Le simple fait de chauffer la feuille ne suffit pas à la faire sécher. Pour qu'il y ait séchage, la vapeur d'eau doit être éliminée. Une très fine couche laminaire repose sur la feuille, qui se déplace avec la bande à une vitesse proche de celle de la production. Si cette couche est saturée de vapeur d'eau, le séchage s'arrête et la feuille se réchauffe. Il est essentiel d'enlever cette couche laminaire avec de l'air turbulent pour éliminer le plus de vapeur d'eau possible.



### SÉCHAGE DES BARRIÈRES SANS MICROBULLES

Pour une immobilisation rapide de la couche de sédimentation initiale, une grande partie de l'énergie doit être émise à des longueurs d'onde comprises entre 1,4  $\mu\text{m}$  et 1,8  $\mu\text{m}$ , afin que la couche soit séchée par en dessous pour éviter la formation prématurée d'un film. Si le support est chauffé efficacement, le séchage de la barrière (comme toute autre couche) commence à partir de la couche de sédiments initiale. La formation du film de la barrière n'est achevée que lorsque l'eau s'est évaporée et que la température augmente. Cela se produit en dernier lieu à la surface de la couche. Les sècheurs doivent être capables d'évaporer suffisamment de vapeur d'eau pour dissiper la chaleur absorbée afin d'empêcher une élévation de la température pour former un film, quelle que soit l'humidité. De plus, cela minimise la migration de la phase liquide de la sauce de couchage, réduisant la consommation de cette sauce.

**Les sècheurs XenTec de Compact Engineering sont conçus pour qu'à pleine charge, l'énergie maximale soit libérée à une longueur d'onde de 1,45  $\mu\text{m}$ .**

Compact Engineering a développé ses sècheurs XenTec. Ils sont conçus pour qu'à pleine charge, l'énergie maximale soit libérée à une longueur d'onde de 1,45  $\mu\text{m}$ . Les pertes à des longueurs d'onde inférieures à 1,3  $\mu\text{m}$  sont réduites au minimum, tout en garantissant une pénétration très profonde dans le substrat. En général, les trois quarts ou plus de l'énergie chauffent le substrat. Par rapport aux lampes électriques classiques, qui ne sont efficaces qu'à environ 35 % pour chauffer la feuille, les lampes XenTec convertissent bien plus de 60 % de l'énergie électrique utilisée pour transférer la chaleur au substrat et à la couche. Dans le même temps, la couche limite laminaire est remplacée par de l'air chaud et sec avant que l'énergie radiante ne soit appliquée afin d'augmenter l'évaporation. Sous l'émetteur, la couche laminaire est perturbée par les turbulences de l'air d'impact et à nouveau remplacée directement après l'émetteur. La saturation de la couche limite laminaire est ainsi évitée. L'évaporation rapide contribue au refroidissement de la couche, de sorte que même les couches difficiles – telles que les thermiques – ne sont pas chauffées au-dessus d'une température critique mais refroidies par l'enthalpie d'évaporation, ceci malgré la densité énergétique extrêmement élevée des radiateurs. Pour optimiser la rentabilité, ce séchoir XenTec est idéalement placé comme "booster" devant les hottes à air chaud afin de faciliter leur travail et de laisser l'évaporation principale à l'air chaud, plus économique.

### CAS D'APPLICATION : COUCHE BARRIÈRE À BASE DE PVA

Une couche barrière typique à base de PVA à haute viscosité avec une dépose de 1,2  $\text{g}/\text{m}^2$  et un extrait sec de 8 % – donc une dépose humide de 15  $\text{g}/\text{m}^2$  et une épaisseur de couche d'environ 15  $\mu\text{m}$  – doit être séchée. La coucheuse dispose de plusieurs têtes de couchage sur les deux faces du papier. Jusqu'à présent, seuls de longs sècheurs à air chaud ont été utilisés. Néanmoins, le séchage de la couche barrière représente le goulot

d'étranglement. Dans certains cas, la vitesse de production est de 60 à 70 % inférieure à celle des couches normales. Un séchoir et contre-rélecteur XenTec Apollo a été utilisé comme "booster" entre le poste de couchage et les hottes à air chaud. Un peu plus de 50 cm d'espace d'installation est nécessaire dans le sens de la machine. Le XenTec Apollo présente une puissance de 160  $\text{kW}/\text{m}$  et s'évapore autant que les lampes IR classiques avec une puissance de 320 à 350  $\text{kW}/\text{m}$ . Ceci a été précédé par diverses expériences avec des émetteurs IR afin d'augmenter les performances. On savait que les brûleurs à gaz étaient désavantageux. Avec un émetteur électrique classique, la vitesse pourrait être augmentée de 3 %. À un rendement plus élevé, la qualité du papier était altérée car cet émetteur ne permettait pas l'évaporation immédiate de l'eau. Pour une période de remboursement raisonnable, la vitesse aurait dû être augmentée d'au moins 5 %. Avec le XenTec Apollo, une augmentation de la vitesse de production de 8,8 % et 12,5 % a été obtenue, à 91  $\text{kW}/\text{m}$  et 115  $\text{kW}/\text{m}$  respectivement (fig. 6). La qualité globale a également été améliorée (fig. 7).

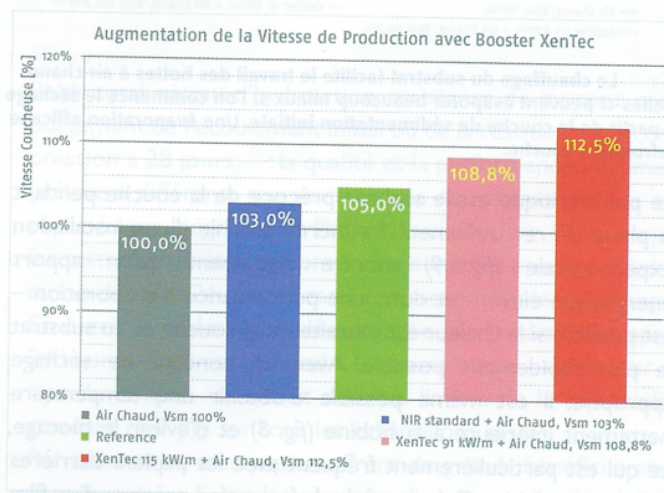


Fig. 6. Gain de vitesse avec le XenTec Apollo comme "booster" devant les hottes à air chaud.

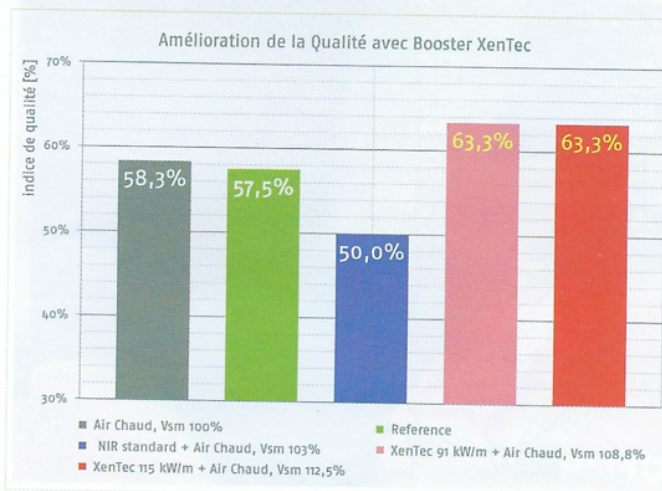
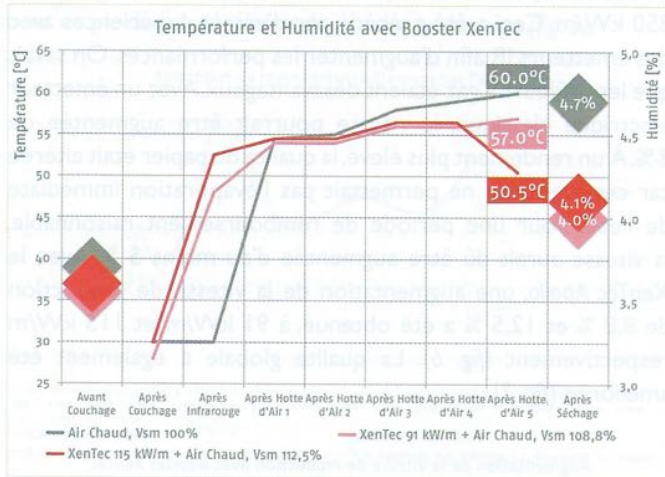


Fig. 7. Amélioration de la qualité par le séchage à partir de la couche de sédiments initiale et la prévention d'un filmage prématuré de la surface.

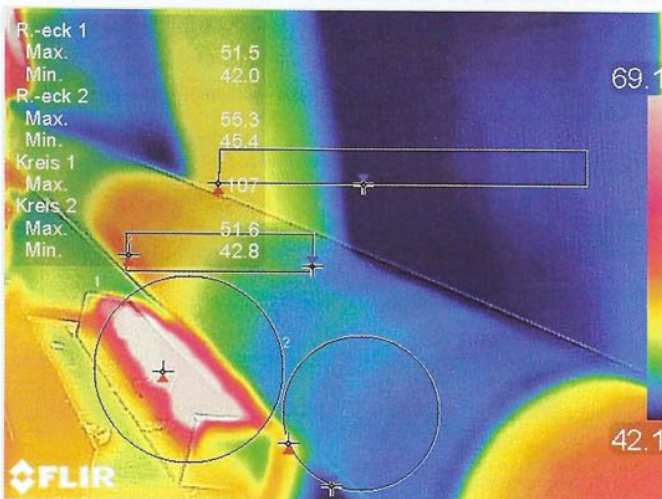


Cela est dû à la courbe de température pendant le séchage : la température maximale est restée de 3 à 9 °C en dessous de la température atteinte avec l'utilisation exclusive de hottes de séchage. L'humidité a également été réduite de 0,5 %. Signe que la vitesse de production peut encore être augmentée, mais des "boosters" doivent maintenant être utilisés à cette fin sur les autres têtes de couchage.



**Fig. 8.** Le chauffage du substrat facilite le travail des hottes à air chaud. Celles-ci peuvent évaporer beaucoup mieux si l'on commence le séchage à partir de la couche de sédimentation initiale. Une évaporation efficace refroidit la couche.

Le point critique est le séchage précoce de la couche pendant la phase de réchauffement. La thermographie d'une installation expérimentale (fig. 9) montre clairement qu'un apport énergétique élevé – et donc une performance d'évaporation – est possible si la chaleur est extraite de la couche et du substrat le plus rapidement possible. Avec un concept de séchage approprié, il est même possible d'obtenir une température nettement inférieure à la bobine (fig. 8) et d'éviter le blocage, ce qui est particulièrement fréquent avec les papiers barrières thermo-soudables. Cela empêche la formation précoce d'un film et donc l'endommagement de la barrière.



**Fig. 9.** Thermographie d'une installation d'essai avec XenTec Apollo comme "booster" après une couche barrière.

L'analyse thermique montre que le XenTec Apollo ne chauffe la couche que d'environ 9 °C, malgré l'apport énergétique élevé. Dans cet exemple, cela signifie une augmentation de la vitesse de production d'un impressionnant 20 %. Ceci est assuré par le séchage de la couche de sédiments initiale, qui permet à l'eau chauffée de s'évaporer de la surface de façon optimale.

### RÉSUMÉ

Dans la production de papiers barrières, les défis résident dans les restrictions de séchage et la petite fenêtre de fonctionnement des coucheuses. Le séchage des barrières entraîne leur pelliculage et donc une réduction de la perméabilité à l'eau et à la vapeur. Si les conditions physiques mentionnées sont correctement mises en œuvre, elles étendent considérablement la fenêtre de fonctionnement. En choisissant la bonne longueur d'onde et donc la profondeur de pénétration et l'absorption optimales du rayonnement, ainsi que l'élimination simultanée de l'eau évaporée, les barrières sont séchées de leur couche de sédimentation initiale, ce qui permet d'éviter un filmage prématuré de la surface. Idéalement, le séchoir à IR approprié est utilisé comme "booster" devant les hottes à air chaud. Cela permet d'obtenir des vitesses de production plus élevées, un meilleur rapport coût-efficacité et des propriétés optimales du papier.

**Idéalement, le séchoir à IR approprié est utilisé comme "booster" devant les hottes à air chaud. Cela permet d'obtenir des vitesses de production plus élevées, un meilleur rapport coût-efficacité et des propriétés optimales du papier.**

**WOLF HEILMANN,**  
Wolf Heilmann Produkte für die  
Papierherzeugung  
(Augsburg)

**TIM KLEMM,**  
Compact Engineering Ltd  
(Thirsk)

(1) Graab, Helmut : "Einfluss der Strahlertemperatur von Infrarotstrahlern auf die Trockenleistung", *Wochenblatt für Papierfabrikation* 19, 1991

(2) Hale, G. M. et Query, M.R. : "Optical constants of water in the 200 nm to 200 µm wavelength region," *Appl. Opt.* 12, 555-563 (1973)

(3) Irvine, W.M. et Pollack, J.B. : "Infrared optical properties of water and ice spheres", *Icarus*, 8, 324-360 (1968)

(4) Segelstein, D.J. : "The complex refractive index of water", Université du Missouri-Kansas City (1981)

(5) Zolotarev, V.M., Mikhilov, B.A., Alperovich, L.L. et Popov, S.I. : "Dispersion and absorption of liquid water in the infrared and radioregions of the spectrum", *Optics and Spectroscopy*, 27, 430-432 (1969)