

## Utiliser la mesure de l'activité de l'eau pour mieux conserver les semences forestières : une coopération fructueuse entre Irstea et la Direction de la recherche forestière au Québec

La mesure de l'activité de l'eau est issue de l'industrie agroalimentaire et pharmaceutique pour optimiser la stabilité et la conservation des produits. Adaptée avec succès par une équipe scientifique d'Irstea pour améliorer la qualité des semences et des pollens forestiers, cette méthode de gestion de l'état hydrique des semences est, depuis 2006, l'objet d'une coopération scientifique bilatérale et de transfert avec la recherche forestière québécoise. Retour sur cette coopération active aux productions multiples qui contribue à l'émergence de nouveaux projets de recherche et développement entre les deux pays.

**I**rstea et la Direction de la recherche forestière du ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) du Québec collaborent depuis 2006 dans le domaine de la conservation physique *ex situ* des ressources génétiques forestières, qu'il

s'agisse de semences, de pollens ou encore d'embryons somatiques (embryons obtenus par multiplication *in vitro* d'un embryon prélevé dans une graine, il s'agit de copies identiques à l'individu d'origine). Le fil conducteur de cette action de recherche partenariale et de développement est la mesure de l'activité de l'eau (encadré 1). Il s'agit d'une méthode de qualification de l'état hydrique de composés développée à l'origine par les industries agroalimentaires et pharmaceutiques.

Cette collaboration s'est donnée pour objectif de vérifier, avec des essences forestières différentes, la validité des premières hypothèses émises par Irstea dès 2002, et de réaliser l'évaluation et le transfert de la mesure de l'activité de l'eau à la province du Québec. Deux axes distincts structurent cette démarche, avec d'une part l'application à de nouvelles essences spécifiques du Nord-Est du continent américain, et d'autre part l'insertion de cette méthode dans un schéma organisationnel très différent du modèle français, schéma dans lequel toute la filière de production de semences et plants est intégrée et placée sous la responsabilité du ministère des Ressources naturelles et de la Faune<sup>1</sup>.

### La mesure de l'activité de l'eau et la conservation des ressources génétiques forestières

#### À l'origine de la démarche « activité de l'eau » : un projet de sécheur de pollen

Dès 1998, l'équipe « ressources génétiques » (Irstea-Nogent), alors en charge de l'ingénierie de la production de variétés forestières améliorées, proposait un sécheur doté d'un système de génération d'air à humidité relative d'équilibre (HRE) contrôlée fonctionnant sous le principe fondamental du réacteur à deux pressions développé à l'origine par le *National Institute of Standards and Technology* (NIST ; Hasegawa et Little, 1977). L'air est dans ce processus injecté sous une pression définie dans une cuve de saturation à travers une nappe d'eau, capté en partie supérieure et enfin détendu à pression d'utilisation avant d'être mis en contact avec le produit à sécher dans un cabinet dédié. L'HRE obtenue dans la cellule de séchage est alors constante et très peu sensible aux variations de température ambiante. Ce mode de confection de l'air de séchage autorise une gestion simplifiée de l'ensemble du processus en réduisant le pilotage du processus à un seul régulateur de pression (photo 1).

Toutefois, les teneurs en eau massiques observées sur les différents lots de pollen ou de graines traités par le nouveau sécheur présentaient une variabilité significative en dépit de paramètres de séchage constants. La bibliographie relative au séchage des denrées alimentaires explique rapidement la variabilité observée.

Le séchage à HRE contrôlée permet en effet d'ajuster non pas la teneur en eau massique mais l'activité de l'eau ( $a_w$ ) d'un produit traité, la teneur en eau (TE) n'est en fait que

1. Pour plus d'informations, voir ce site : <http://mrnf.gouv.qc.ca/forets/semences/semences-resume.jsp>

## 1 QU'EST-CE QUE LA MESURE DE L'ACTIVITÉ DE L'EAU ?

### Définition

Le concept « activité de l'eau » noté «  $a_w$  » pour « *activity of water* » a été défini dès 1953 par W. J. Scott (Scott, 1953) pour l'industrie agro-alimentaire afin de qualifier l'état hydrique des produits à humidité intermédiaire (IMF pour *Intermediate Moisture Food*). Contrairement aux mesures quantitatives comme la teneur en eau gravimétrique (TE) qui quantifie la quantité totale d'eau dans un produit, la mesure de l' $a_w$  est une image de l'intensité des connexions entre l'eau et les autres molécules telles que les glucides, les lipides et les protéines ; il s'agit d'une analyse qualitative. Ainsi, l' $a_w$  illustre le statut de l'énergie de l'eau et, par conséquent, son degré de disponibilité et sa mobilité dans un produit.

Lorsque l' $a_w$  augmente, l'énergie de liaison entre l'eau et les autres molécules décroît. Celle-ci devient alors de plus en plus mobilisable pour les réactions chimiques et biotiques évolutives et indésirables ; il s'agit en particulier des phénomènes d'oxydation et du développement des bactéries ou des champignons (figure 1).

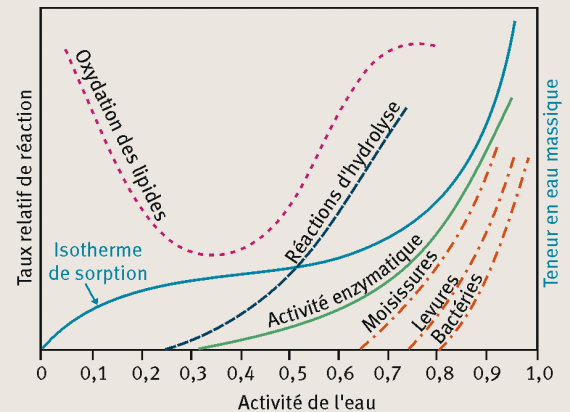
Ces réactions peuvent alors rapidement induire la dénaturation, la dégradation ou simplement un vieillissement accéléré du produit. La mesure et le contrôle de l' $a_w$  constituent en conséquence un indicateur plus fiable de la stabilité des produits biologiques que n'est la teneur en eau massique.

Dans la littérature on retrouve un terme équivalent à l' $a_w$ , qui est l'humidité relative d'équilibre (HRE). Alors que l' $a_w$  s'exprime sur une échelle de 0 à 1, l'HRE est notée de 0 à 100 %.

### Comment mesurer l' $a_w$ ?

La mesure de l' $a_w$  d'un échantillon donné consiste à le placer dans un espace clos et mesurer, après mise à l'équilibre en général assez rapide, l'humidité relative de l'air emprisonné avec lui. La qualité opérationnelle majeure de l' $a_w$  est son caractère non destructif. Cette mesure n'induit en effet aucune modification ou altération de l'échantillon qui conserve ainsi sa valeur marchande ou patrimoniale dans le cas des accessions de banques de ressources génétiques.

### 1 Taux relatifs de réaction des principaux agents de dégradation des matrices organiques en fonction de l' $a_w$ .



Adapté de LABUZA *et al.*, 1972, Stability of intermediate moisture foods. 1: lipid oxidation, *Journal of Food Science*, n° 37, p. 154-159 et autres sources. (Adaptation P. Baldet, Irstea)

la conséquence de la capacité de rétention d'eau d'une matrice (proportion de composés hygroscopiques) et de la disponibilité en eau dans le milieu, en l'occurrence l'humidité relative d'équilibre ambiante.

À disponibilité hydrique constante, seule la variabilité de la composition et donc du caractère plus ou moins hygroscopique des lots séchés pouvait alors expliquer les variations relevées.

### Ressources génétiques forestières et variabilité de la relation TE/ $a_w$

Il existe une source importante de confusion entre TE et  $a_w$ . La mesure de l' $a_w$  est considérée par nombre de praticiens comme un moyen indirect d'apprécier la teneur en eau. Cet amalgame semble provenir du domaine industriel où les produits finis ou semi finis, relativement normés, présentent une faible variabilité de la relation TE/ $a_w$  les deux méthodes peuvent alors être utilisées et considérées comme interchangeables. Ce qui n'est pas le cas pour les ressources génétiques forestières. En effet, les graines et pollens sont élaborés en milieu naturel non contrôlé sur des arbres à forte variabilité génétique et phénotypique. Il en résulte des produits très variables en termes de taille, de viabilité ou encore de degré de maturité ; variabilité pouvant expliquer l'absence de relation stable entre  $a_w$  et TE.

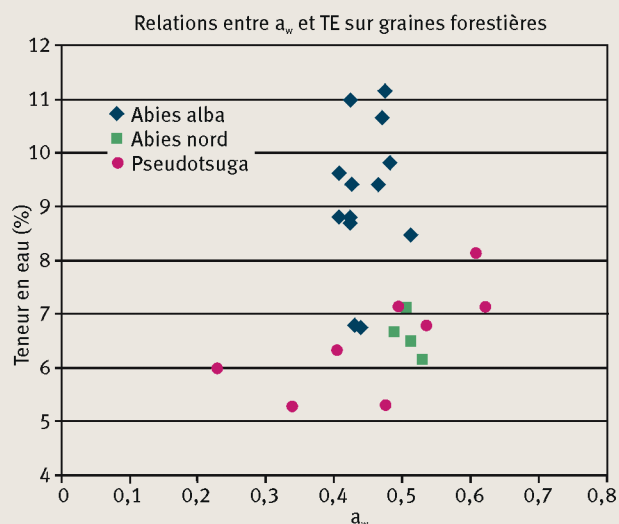
Or, pour promouvoir l'utilisation de la mesure de l' $a_w$  au service de la conservation des ressources génétiques forestières, il a fallu démontrer aux acteurs de la filière que la variabilité de la relation entre  $a_w$  et TE est normale. Ceci a été argumenté après la réalisation d'un très grand nombre de mesures appariées d' $a_w$  et de TE sur des lots de graines et de pollens forestiers (figure 2), noter

### 1 Sécheur à humidité relative contrôlée Irstea.



l'amplitude verticale des teneurs en eau résultant d'une même valeur d' $a_w$ ). Fort opportunément, les valeurs d' $a_w$  de conservation optimale déterminées se sont révélées être tout à fait cohérentes avec les plages de valeurs de teneurs en eau optimales de conservation publiées ou issues de l'état de l'art. Ces deux concepts, TE et  $a_w$  ont donc tous les deux leur valeur opérationnelle propre mais deux applications majeures différentes : l'approche pondérale de la teneur en eau massique indispensable lors des transactions commerciales et la gestion de la stabilité biologique des produits qualifiée par la mesure de l' $a_w$ .

2 Variabilité intra et interspécifique de la relation  $a_w$  et TE pour des semences de quatre essences forestières. Pour chaque essence, les lots testés sont des sources génétiques différentes.



À la suite du projet de recherche partenariale conduit entre Irstea et l'INRA d'Orléans avec l'Office national de forêts et la société Vilmorin qui sont les deux acteurs industriels des semences forestières en France, plusieurs actions de valorisation scientifique ont été engagées notamment lors du congrès mondial de l'ISTA<sup>2</sup> en 2004. Bien que plusieurs laboratoires en Europe et en Amérique du Nord aient testé cette méthode, le manque de liaison entre les mesures appariées de TE et  $a_w$  fut interprété comme un frein à l'application de cette mesure alors que cette instabilité représente l'image même de la variabilité des produits.

De 2005 à 2007, l'équipe « ressources génétiques » d'Irstea prenait en charge un projet de recherche partenariale avec Stallergenes SA., une importante PME souhaitant internaliser la production de pollen à des fins médicales. La qualification de l'état hydrique du pollen ainsi que sa stabilité biologique à tous les stades du processus (de la récolte à la fabrication du médicament) devenaient des enjeux majeurs. Ce projet permit de confirmer, de valoriser pleinement le potentiel de la mesure de  $a_w$  et de capitaliser les données recueillies tout au long du projet.

### Une valorisation scientifique conjointe

L'équipe « production de semences et de plants » de la Direction de la recherche forestière (DRF) au Québec et l'unité de recherche Écosystèmes forestiers à Irstea sont deux unités impliquées dans l'ingénierie de la production de matériels forestiers de reproduction.

Une première action de transfert de technologie entre ces deux équipes a eu lieu en 1993, la DRF s'étant intéressée au procédé de pollinisation électrostatique développé par l'institut. Cette technique est toujours utilisée au Québec où elle est mise à profit pour la production de graines de mélèze hybride en verger à graines hors sol et sous abri.

En capitalisant sur le succès déjà rencontré dans le domaine de la pollinisation, un projet de coopération fondé sur deux axes d'action réciproques est élaboré :

- le transfert au Québec du savoir faire de l'institut appliqué à la mesure de  $a_w$  sur les graines et les pollens,
- la conduite par la DRF de travaux de description du comportement hydrique des essences majeures utilisées au Québec.

Ces deux actions ont été placées dans un schéma de bénéfice mutuel. Le travail de recherche et développement serait transféré au Québec, qui prendrait en charge la description du comportement hydrique des essences majeures du Québec étendu d'ailleurs à plusieurs autres essences de l'Ouest canadien. Le transfert de connaissances serait conduit en deux phases successives, d'abord au sein même de la DRF pour les premiers travaux d'appropriation et de validation sur les essences du Québec, et ensuite à une échelle opérationnelle auprès du Centre de semences forestières de Berthier (CSFB<sup>3</sup>), unique centre de ce type au Québec.

Ce projet fut soutenu par la CPCFQ (Commission permanente de coopération franco-québécoise) pour la période 2007-2008. S'agissant de projets biannuels, nous avons depuis bénéficié de deux autres tranches de deux ans. Ce soutien clairement exprimé et renouvelé depuis 2006 nous permet de bénéficier d'un financement des missions entre nos deux pays, et plus encore, de placer dans un excellent cadre de lisibilité cette action de coopération entre nos deux pays.

Dès la fin 2008, la première étape de transfert opérationnel de la méthode de mesure de  $a_w$  auprès de la DRF au Québec est réalisée. La transposition des modèles français aux essences boréales du Québec est engagée et des communications sont réalisées lors de quatre rencontres internationales. Un accord cadre de coopération entre Irstea et le MRNF, Direction de la recherche forestière, soulignait fin 2008 les résultats tangibles acquis dès la première étape de coopération, ainsi que les perspectives de développement et de valorisation.

### Une valeur universelle d' $a_w$ pour graines et pollens orthodoxes

Irstea et la DRF au Québec disposent aujourd'hui de données de caractérisation hydrique des graines des essences forestières majeures utilisées en France, au Québec ainsi qu'en Colombie Britannique, 11 essences caractérisées avec un nombre de lots près de 130. Il résulte en particulier de ces travaux une variabilité intra et inter-spécifique relativement faible de la valeur optimale d' $a_w$  de mise en conservation ( $a_w$  moyenne = 0,35 +/- 0,008 ;  $p = 0,01$ ), ce qui permet d'utiliser de façon relativement sûre une même valeur cible de mise en conservation pour l'ensemble des graines orthodoxes

2. ISTA : *International Seed Testing Association*, association qui fédère un réseau de chercheurs et de laboratoires de 70 pays contribuant à l'élaboration et à la publication de normes de qualification des semences au plan mondial régissant le commerce international des semences : <http://www.seedtest.org/en/home.html>

3. Pour en savoir plus : <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/forets/semences/semences-berthier.jsp>

observées. C'est ce résultat qui étaye aujourd'hui l'hypothèse d'une valeur universelle d' $a_w$  ( $a_w$  0,35) optimale de mise en conservation des semences orthodoxes. Cette possibilité de valeur cible unique est très importante sur le plan opérationnel et a d'ores et déjà induit la révision de bon nombre de pratiques de séchage et de mise en conservation pour les lots de graines « commerciaux ». Son importance est également majeure dans le domaine de la conservation *ex situ* des ressources génétiques (*Seed Banks*) où le grand nombre d'espèces traitées, de variétés ou d'origines ne permet pas des traitements différenciés pour chaque accession.

Cette recherche partenariale a instauré un statut partagé de producteurs de données. De plus, le caractère public de la recherche et de l'opérationnel au Québec a permis une grande liberté de circulation et d'échange des données. Cette typologie de partenariat de recherche et développement a été sans aucun doute extrêmement bénéfique à la capitalisation de données supplémentaires. Celles-ci ont alors rapidement contribué à valider le potentiel scientifique et opérationnel de la mesure de l' $a_w$  dans le domaine des semences et pollens forestiers.

Cette valorisation scientifique a eu pour cadre les instances respectives d'Irstea et du MRNF, des organisations nationales comme l'Association canadienne de génétique forestière (ACGF), le carrefour de la recherche au Québec ou le groupe d'étude et de contrôle des variétés (GEVES) en France. Au plan international, affiches ou conférences ont été présentées aux congrès de l'IUFRO (groupe 2.09 en 2008), ISTA (2010). Une communication scientifique « invitée » était également réalisée lors de l'*International Conference of the European Seed Kilns* (ISK) à Vérone (Italie) en septembre 2010.

Enfin, à la demande de l'ISTA, Irstea et la DRF ont organisé en France en 2010 un atelier d'une durée de trois jours dédié spécifiquement à la mesure de l' $a_w$  et son potentiel normatif. Cet atelier, le premier à être organisé sur ce sujet, accueillait les chairmen des trois groupes techniques de l'ISTA impliqués dans le contrôle de l'état hydrique des semences : « *Moisture* », « *Forest Tree & Shrub Seeds* » et « *Seed Storage* ». Cette manifestation se trouvait ainsi parfaitement insérée dans le dispositif normatif de l'ISTA. Cet atelier a témoigné, par ses participants (plus de 20 venus d'Europe et des deux Amériques) et son impact, qu'Irstea et la DRF avaient atteint conjointement un très bon niveau de crédibilité et un leadership légitime sur le thème de l'activité de l'eau.

### Un transfert opérationnel

#### Un relais opérationnel réussi avec la Direction générale des pépinières et stations piscicoles

La spécificité de la filière de production de semences et de plants québécoise a permis un transfert rapide et total de la méthode de mesure de l' $a_w$ . En effet, le MRNF contrôlant toute cette filière, les nouvelles méthodes sont rapidement transférées du volet recherche et développement mené par la DRF au volet opérationnel géré par la Direction générale des pépinières et stations piscicoles (DGSP) dont fait partie le CSFB.

La mesure de l' $a_w$  est maintenant intégrée de façon courante au testage des lots, et cette méthode a permis d'améliorer le processus de séchage final des lots de semences au CSFB, amélioration qui a également entraîné des économies substantielles d'énergie. Rappelons que le CSFB est une unité industrielle de grande envergure qui concentre toutes les activités d'extraction et de conservation des semences forestières de la province. Cette structure a la charge de fournir en graines les vingt-et-une pépinières forestières privées et publiques de la province pour une production totale annuelle d'environ cent cinquante millions de plants qui est à l'entière charge du MRNF.

Une importante collecte de données a pu être réalisée en conditions réelles d'utilisation grâce aux informations recueillies par le CSFB et transmises en parfaite transparence aux partenaires Irstea et DRF. Cet important retour d'informations a permis de disposer rapidement d'un portrait assez complet et objectif des pratiques de traitement et conservation des lots de semences au Québec et de pouvoir, en conséquence, identifier des axes prioritaires de progrès. À l'opposé du modèle public québécois, les premiers partenaires industriels d'Irstea, ONF et Vilmorin, appartenaient au tissu économique privé et demeuraient ainsi compétiteurs sur un même marché. Ainsi, le recueil des données, leur utilisation et leur publication par Irstea ont été sensiblement impactés par cette contrainte de confidentialité.

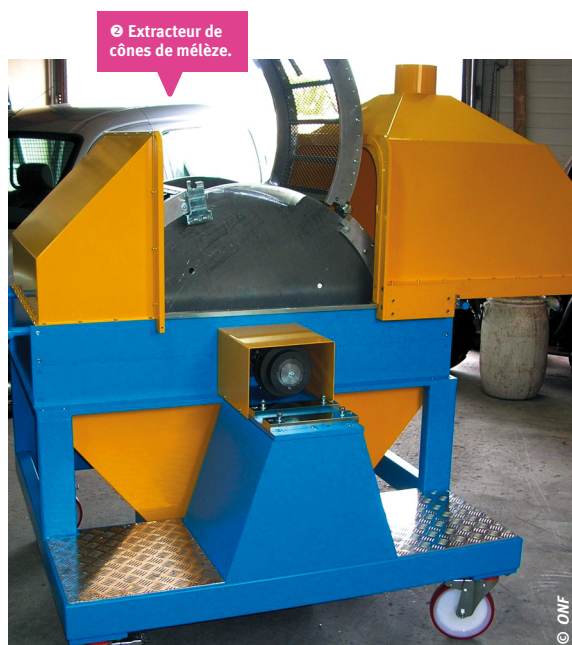
#### Un nouvel outil de diagnostic, une amélioration globale des pratiques

Le caractère non destructif de la mesure de l' $a_w$  a permis d'identifier en France et au Québec des problèmes de transferts d'humidité aux graines dans les chambres froides des différents partenaires (France : Irstea, INRA, ONF, Vilmorin ; Québec : Centre de semences forestières de Berthier et DRF). En effet, l'humidité relative (HRE) mesurée dans les chambres froides se situait, au Québec comme en France, à des valeurs élevées proches de 65 % à 70 %. Ces valeurs étaient contraires à l'idée reçue selon laquelle le stockage au froid engendre une forte déshydratation. Cette HRE élevée possède en effet dans l'absolu un potentiel de séchage pour les matières les plus hydratées. Elle constitue toutefois une importante force potentielle de réhydratation des semences dont l'humidité relative de conservation est idéalement de 35 % ( $a_w$  0,35). C'est ainsi qu'une importante campagne de mesures d' $a_w$  a été conduite en France et au Québec sur les lots de graines stockés dans les différentes installations de stockage de la DRF et d'Irstea ainsi qu'auprès de leurs partenaires scientifiques ou industriels.

Les reprises d'eau indésirables observées se sont rapidement révélées être le produit de l'humidité relative présente en chambre froide et de sa mise en contact avec les graines, soit très directement lors des fréquentes ouvertures d'échantillonnage ou plus insidieusement lors de son cheminement à travers les matières plastiques constitutives des conteneurs et dotées d'une imperméabilité très relative. Ces matériaux, comme le polyéthylène (PE) ou le polychlorure de vinyle (PVC) ne sont pas étanches à la vapeur d'eau, leurs coefficients de perméabilité sont

► d'ailleurs parfaitement décrits dans la bibliographie. Plusieurs exemples historiques de graines centenaires ayant pu germer au moins pour partie ont très souvent comme trait commun la nature de leurs contenants en verre, ces flacons pour la plupart scellés à la flamme étaient ainsi rendus parfaitement imperméables aux gaz et liquides environnant en combinant la valeur intrinsèque du verre à un système de fermeture sans faille.

L'implantation opérationnelle de la mesure de l' $a_w$  au CSFB s'est donc très rapidement imposée par ses qualités intrinsèques telles que son caractère non destructif et sa facilité de mise en œuvre. Elle s'est également montrée très performante par son domaine d'application qui étend le contrôle de l'état hydrique aux différentes étapes du processus d'extraction, de séchage, de conditionnement et de mise en conservation des semences et des pollens forestiers.



### Deux autres technologies transférées

Le transfert de la mesure de l' $a_w$  au CSFB s'est rapidement accompagné du transfert du sècheur de pollen et graines à « deux pressions » précédemment adopté par la DRF. La facilité d'utilisation, la parfaite cohérence de cette méthode de séchage avec la mesure de l' $a_w$  ainsi que la reproductibilité des résultats ont suscité un excellent accueil des utilisateurs. Il est prévu d'équiper d'autres unités de traitement de semences ou de pollens du Québec avec cet appareil. Une publication regroupant les modalités de construction et consignes d'utilisation est en cours de finalisation.

Par ailleurs, la dynamique du projet et les nombreux échanges très soutenus entre Irstea et le MRNF nous ont permis d'identifier le potentiel pour la filière québécoise d'une autre technologie relative à l'extraction des cônes de mélèze. Irstea avait mis au point un extracteur de graines de mélèze qui permettait de doubler les rendements obtenus jusqu'alors (photo ②). Le Québec, confronté aux mêmes difficultés d'extraction de graines de mélèze, a rapidement adopté cette technologie et importé un appareil construit en France.

### Conclusion et perspectives

#### Élaborer une norme internationale ISTA

À la suite de l'atelier ISTA, Irstea et la DRF ont réussi à démontrer le potentiel normatif de la mesure de l' $a_w$ . Le domaine d'application de cette mesure à l'ensemble des semences orthodoxes de la planète est extrêmement vaste. En effet, la plupart des semences agricoles et horticoles sont orthodoxes, ce qui augure un fort potentiel de développement dans ces secteurs. Irstea et la DRF souhaitent aujourd'hui légitimement conserver un rôle dans le développement de cette mesure et de son potentiel normatif.

D'ailleurs suite à l'atelier tenu à Montargis, il est acquis que le groupe technique « *Moisture* » de l'ISTA va produire une nouvelle version du manuel technique « *Handbook on Moisture determination* » qui intégrera les avancées portées par notre travail franco-québécois.

#### ① Tableau de synthèse des étapes de la coopération Irstea/DRF

Années	Jalons	Acquis
2006	Premier échanges formels avec la DRF (F. Colas). Réalisation d'une mission exploratoire.	Élaboration d'un projet de coopération. Deux axes : – le transfert au Québec du savoir faire Irstea appliqué à la mesure de l' $a_w$ sur les graines et les pollens, – la conduite par la DRF de travaux de description du comportement hydrique des essences majeures utilisées au Québec.
2007-2008	Acceptation du projet par la 61 <sup>e</sup> session de la Commission permanente de coopération franco-québécoise.	Réalisation de missions en France et au Québec, diffusion scientifique. Transfert complet de la mesure à la DRF et construction du sècheur à partir des plants fournis par Irstea. Signature d'un accord cadre de coopération Irstea-MRNF.
2009-2010	2 <sup>e</sup> phase financée par la 62 <sup>e</sup> CPCFQ.	Réalisation de missions en France et au Québec. Intégration de la mesure dans les opérations courantes du CSFB (séchage opérationnel, tests de qualité, sècheur à pollen). Valorisation du potentiel normatif de la mesure auprès de l'ISTA (conférence + atelier).
2011-2012	3 <sup>e</sup> phase financée par la 63 <sup>e</sup> CPCFQ.	Début des travaux sur la conception d'un sècheur à embryons somatiques.

## Faire émerger de nouveaux projets de recherche et développement

### Le séchage contrôlé des embryons somatiques

L'embryogénèse somatique permet de multiplier à des milliers d'exemplaires un même arbre. Cette technique est utilisée pour la production de génotypes d'élite destinés à des plantations de très haute performance. Il s'agit d'un instrument d'amplification et non pas de transformation génétique des végétaux. Actuellement, cette méthode se heurte à un verrou technique constitué par le délicat problème de la déshydratation des embryons somatiques. Irstea a proposé à la DRF l'évaluation conjointe de la faisabilité du séchage des embryons somatiques en adaptant la technique de séchage des « deux pressions ». Un modèle probatoire de sécheur d'embryons a été construit au Québec et est actuellement en cours d'évaluation. Cette action se propose également d'explorer les possibilités d'examen non destructif des constituants des semences par la résonance magnétique nucléaire en partenariat avec l'équipe IRM Food (UR Technologie des équipements agroalimentaires) conduite par M. François MARIETTE (Irstea de Rennes). Côté Québec, la collaboration scientifique de M. Mohammed LAMHAMED, spécialiste de la DRF en écophysiologie et production de plants, va permettre de valider la méthode de déshydratation grâce à un suivi physiologique très pointu des plants qui seront produits à partir des embryons préalablement déshydratés.

### Le projet au Québec sur la plasturgie

Les mesures réalisées dans le cadre du projet de coopération ont mis en évidence les limites d'emploi des contenants en matières plastiques utilisés pour la conservation sèche des semences. Aussi, la DRF a contracté un

projet de recherche et développement au Québec avec le centre de plasturgie de Thetford Mines ([www.ctmp.ca](http://www.ctmp.ca)) pour le développement d'un contenant (nature du polymère et bouchon) satisfaisant aux exigences d'imperméabilité requises à un maintien strict de l' $a_w$  des semences stockées – cette exigence vaut également pour les gaz comme l'oxygène qui peuvent accélérer le vieillissement des semences. Il doit être remarqué que les contenants en matières plastiques aujourd'hui incriminés avaient remplacé depuis deux à trois décennies des contenants en métal. Ces « boîtes en fer » utilisées en France comme au Québec pour le stockage des graines sèches avaient une grande qualité intrinsèque : l'imperméabilité du fer.

Au final, le projet de coopération entre Irstea et le MRNF est un projet très actif de recherche et développement aux productions multiples qui ont régulièrement contribué à la valorisation et à la visibilité de la coopération franco-québécoise. ■

### Les auteurs

#### Patrick BALDET

Irstea, UR EFNO, Écosystèmes forestiers  
Domaine des Barres, 45290 Nogent-sur-Vernisson  
[patrick.baldet@irstea.fr](mailto:patrick.baldet@irstea.fr)

#### Fabienne COLAS

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune  
Direction de la recherche forestière  
2700 rue Einstein, Québec G1P 3W8  
[fabienne.colas@mrrnf.gouv.qc.ca](mailto:fabienne.colas@mrrnf.gouv.qc.ca)

## QUELQUES RÉFÉRENCES CLÉS...

- BALDET, P., 2006, La gestion du pollen, in : PHILIPPE, G., BALDET, P., HÉOIS, B., GINISTY, C., 2006, *Reproduction sexuée des conifères et production de semences en vergers à graines*, Collection Synthèses, Éditions Quae, pp. 287-332.
- BALDET, P., VERGER, M., 2004, Water activity as a more reliable method than moisture content applied to pollen and seeds moisture management, in : LI, B., MCKEAND, S., (eds), *Forest Genetics and Tree Breeding in the Age of Genomics: Progress and Future*, IUFRO Joint Conference of Division 2, Conference Proceedings, p. 456.  
[http://www.ces.ncsu.edu/nreos/forest/feop/Agenda2004/iufro\\_genetics2004/proceedings.pdf](http://www.ces.ncsu.edu/nreos/forest/feop/Agenda2004/iufro_genetics2004/proceedings.pdf)
- BALDET, P., COLAS, F., BETTEZ, M., 2007, Mesure de l'activité de l'eau : intégration d'une nouvelle technologie pour le contrôle de la qualité des semences et des pollens, in : *Colloque de transfert de connaissances : Des plants aux plantations ; techniques, technologies et performances*, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière, Direction générale des pépinières et des stations piscicoles, Carrefour de la recherche 2007 (Québec), 19 septembre 2007, Recueil des résumés, ISBN : 978-2-550-50668-3, 2007 3027, p. 33-35.
- BALDET, P., COLAS, F., BETTEZ, M., 2008, *Measurement of water activity on forest tree seeds : an efficient tool for seed bank management*, International Seed Testing Association, Forest Tree and Shrub Seed Workshop, June 12-14 2008, Peri, Verona, Italia, 42 p.
- BALDET, P., COLAS, F., BETTEZ, M., 2008, *Water activity in seed and pollen banks: An efficient tool to improve conservation of forest genetic resources*, Abstract and poster presented at the main session of IUFRO-CTIA, In : IUFRO – CTIA 2008 Joint Conference – Adaptation, Breeding and Conservation in the Era of Forest Tree Genomics and Environmental Change, August 25-28, 2008, Québec, Canada, p. 143.  
<http://www.mrrnf.gouv.qc.ca/activite/iufro-aca/pdf/Baldet-afiche.pdf>
- COLAS, F., BALDET, P., BETTEZ, M., 2008, *Water activity: a new tool for moisture management of seedlots in tree seed centres*, Abstract of the conference presented at the Tree Seed Working Group, In : IUFRO – CTIA 2008 Joint Conference – Adaptation, Breeding and Conservation in the Era of Forest Tree Genomics and Environmental Change, August 25-28, 2008, Québec, Canada, p. 51.
- COLAS, F., BALDET, P., BETTEZ, M., 2010, Water activity measurement: demonstration of a single and non-specific optimal storage value for orthodox forest seeds, in : *29<sup>th</sup> ISTA Congress- Seed Symposium*, Cologne (Germany) 16-18th June, p. 19.
- HASEGAWA, S., LITTLE, J.W., 1977, The NBS Two-Pressure Humidity Generator, Mark 2, *J. Res. Nat. Bur. Stand (US)*, 81A(1), p. 81-88.
- SCOTT, W.J., 1953, Water relations of *Staphylococcus aureus* at 30°C, *Aust. J. Biol. Sci.*, n° 6, 1953, p. 549-564.