



RÉSUMÉ

Le mildiou de l'oignon (*Peronospora destructor*) est une maladie très présente dans les principaux bassins de production d'oignon, sur laquelle les producteurs ont recours à de nombreux traitements systématiques. En 1998, un programme a été engagé à l'Isab dans le but de valider un modèle épidémiologique qui permettrait de mieux raisonner les applications fongicides. À l'issue de quatre années d'essais, un modèle a été validé avec 88 % de bonnes prédictions. Il a permis sur deux campagnes une réduction de 20 à 29 % du nombre d'applications anti-mildiou, sans perte de rendement. Ce modèle sera commercialisé cette année en tant que logiciel accompagnant une station météorologique (Pulsonic), qui, pour une utilisation optimale du modèle, devra être positionnée dans le microclimat des oignons de la parcelle considérée.



Décolorations et duvets de sporulations caractéristiques du mildiou (*Peronospora destructor*) sur feuillage d'oignon

SUPERVISED CONTROL OF LEAF DISEASES

Onion downy mildew (*Peronospora destructor*) is a very widespread disease in France's main onion-growing regions and growers can apply a number of different systematic treatments. In 1998, ISAB undertook a programme aimed at validating an epidemiological model that would allow more rational application of fungicides. The four years of testing led to the validation of a model with 88% prediction accuracy. For two growing seasons, it allowed a 20 to 29% reduction of the number of anti-mildew applications, with no decrease in yield. The model will become commercially available in 2002 in the form of a software programme to be used in combination with a weather station (Pulsonic). For optimal use of the model, the station must be placed within the micro-climate relevant to the onions of a given plot.

Lutte raisonnée contre les maladies foliaires de l'oignon

Validation de modèles épidémiologiques

1^{re} partie : Dncast et prédiction du risque mildiou

Face aux maladies foliaires, les producteurs d'oignon recourent à de nombreux traitements systématiques pour protéger les parcelles de façon préventive. En 1998, dans le cadre d'un programme financé par la section nationale oignon et l'Oniflor, des travaux ont été engagés à l'Isab dans le but d'optimiser les applications fongicides contre le mildiou et le *Botrytis squamosa* grâce à l'utilisation de modèles épidémiologiques. Des essais de validation de modèles

ont été mis en place durant quatre années à Beauvais mais également dans les principaux bassins de production, grâce à l'implication de la profession à travers le Groupe National Oignon. Cet article présente les principaux résultats qui ont été obtenus entre 1998 et 2001 dans le cadre du volet mildiou, et qui ont permis de valider un modèle. Un prochain article fera état des résultats obtenus sur la validation de modèles pour le *Botrytis squamosa*.

*Coop d'Or/Dijon céréales-Inra Dijon

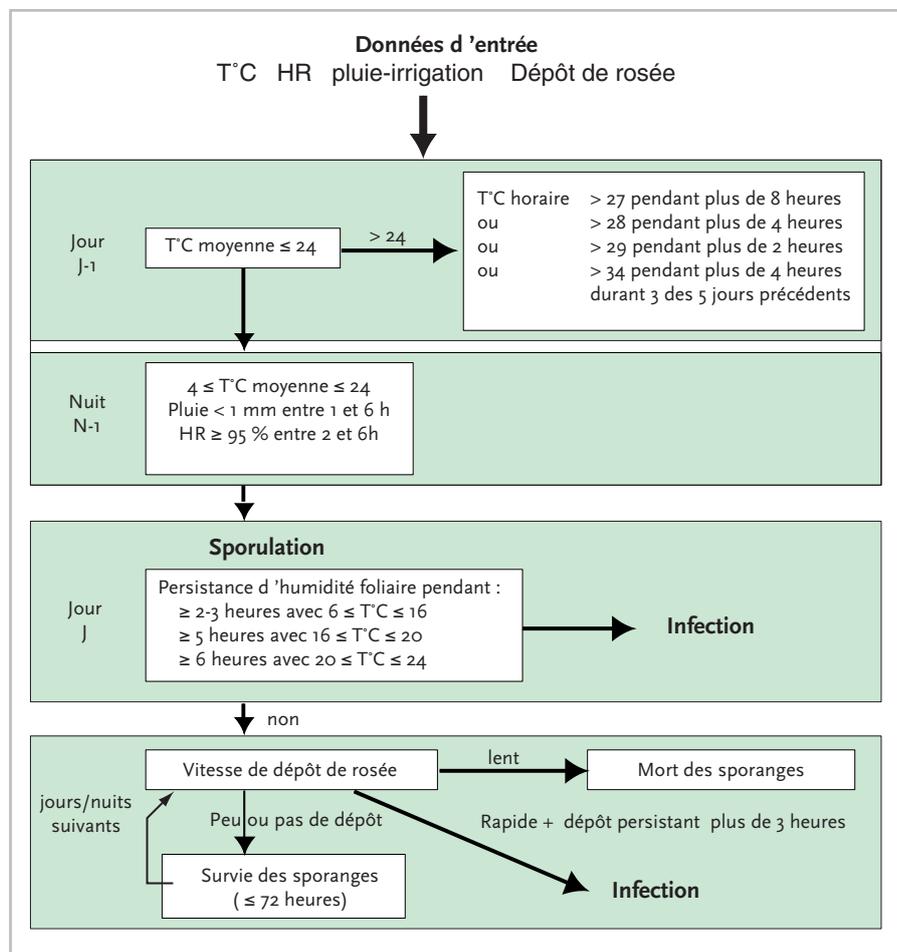
Downcast, un modèle largement répandu

■ En 1997, une étude préliminaire au programme a été réalisée par l'Isab en vue de faire le point sur les modèles validés à l'étranger. Cette étude a mis en évidence un modèle épidémiologique particulièrement répandu : Downcast (**Downy mildew forecaster**). Ce modèle canadien a été mis au point par G.D. Jespersion et J.C. Sutton en 1987 et a été validé avec succès au Canada, en Australie (Fitz Gerald et O'Brien, 1994) et aux Pays-Bas (De Visser, 1998). Il a également servi de base à l'élaboration du modèle Onimil en Italie (Battilani *et al.*, 1996) et est actuellement à l'étude au Royaume-Uni et en Allemagne. Le programme mené par l'Isab s'est alors orienté vers la validation et l'adaptation de ce modèle au contexte climatique français.

■ Downcast calcule les périodes de sporulation et d'infection du champignon responsable de la maladie (*Peronospora destructor*), en fonction de données climatiques mesurées à l'échelle de la parcelle telles que : température, humidité relative, vitesse d'établissement et persistance du dépôt de rosée, et pluviométrie. Une contamination est prédite lorsque les conditions environnementales permettent successivement la sporulation, la survie des spores et l'infection de la plante. En fonction de l'état de la protection du feuillage par le dernier traitement, une nouvelle application fongicide peut alors être ou non préconisée (**FIGURE 1**).

La prise en compte de la vitesse d'établissement et de la persistance du dépôt de rosée sur le feuillage constitue une des particularités de Downcast. Ces facteurs sont déterminants dans le cycle de développement de *Peronospora destructor* car ils influencent la survie des spores et le processus d'infection, et leur prise en compte améliore la précision du modèle. Mais elle nécessite l'utilisation d'un capteur spécifique permettant leur mesure. Ce capteur est basé sur un système de résistance électrique tubulaire dont la surface d'enregistrement vise à mimer la surface d'humectation d'une feuille d'oignon. Il a été imaginé et conçu par les auteurs du modèle Downcast et sa construction a été permise en France grâce au chercheur hollandais CLM De Visser qui en a fourni les plans à l'Isab.

FIGURE 1-Structure du modèle Downcast



Station météorologique Pulsonic utilisée dans les essais.

Le capteur spécifique de dépôt de rosée est placé entre les rangs d'oignon, au niveau du feuillage.



Essais de validation : à partir de plantes pièges

■ Downcast a été validé durant quatre années à l'aide de plantes pièges sur le site de l'Isab, à Beauvais (entre 1998 et 2001). Cette technique est inspirée des travaux des chercheurs australiens ayant validé Downcast (Fitz Gerald et O'Brien, 1994). Elle consiste à disposer des oignons indemnes de tout symptôme de maladie dans des placettes non traitées du dispositif d'essai pour des périodes de temps définies, de 3-4 jours à une semaine en fonction de l'année d'essai dans le cas des essais Isab. Ces oignons ont été élevés en serre après réalisation de semis échelonnés et amenés en parcelle au stade 7-8 feuilles, par séries de huit pots contenant chacun trois oignons. Parallèlement, un pot témoin était maintenu en serre pour vérifier son bon état sanitaire. À l'issue du temps de contact avec la parcelle non traitée, la série et son témoin rejoignaient une enceinte climatique pour subir une période d'incubation de deux semaines à 18 °C jour/16 °C nuit avec une photopériode de 14 heures et une hygrométrie saturante la nuit lors de la deuxième semaine d'incubation. Une observation attentive des oignons incubés sur le critère de présence/absence de symptômes de mildiou sur le feuillage permettait ensuite de vérifier la validité des infections prédites par le modèle pendant leur période de présence en parcelle. Le calcul journalier de ces infections était rendu possible par l'interrogation quotidienne d'une station météorologique placée dans l'essai de la levée à la récolte des oignons, les différents capteurs nécessaires à l'alimentation du modèle Downcast étant disposés directement au niveau du feuillage des oignons.

Pour s'assurer de la présence homogène du mildiou sur le dispositif d'essai, celui-ci a été inoculé en apportant des pots d'oignons montrant des symptômes de sporulations fraîches de mildiou, environ quinze jours avant le début d'apport des séries de plantes pièges.

■ Les premières séries de plantes pièges ont été apportées lorsque la culture était au stade quatre feuilles en 1998, cinq feuilles en 1999 et 2001, et au stade six feuilles en 2000. Les apports se sont arrêtés lorsque la culture atteignait le stade début tombaison. En fonction des années, entre 10 et 18 séries ont ainsi été disposées sur l'essai. Dans les conditions de l'essai et dans la limite d'une précision à l'échelle de une semaine en 1998 et de 3-4 jours les autres années, les obser-

TABLEAU 1-Résultats des confrontations entre les observations réalisées sur les plantes pièges mises au contact du mildiou et les prévisions du modèle Downcast-

Année	Temps de présence au champ des séries de plantes pièges	Nombre total de séries	Nombre de séries confortant les prévisions du modèle	Pourcentage de bonne corrélation entre observations et prévisions
1998	1 semaine	10	9	90 %
1999	3 - 4 jours	18	17	94.5 %
2000	3 - 4 jours	16	15	93.75 %
2001	3 - 4 jours	15	11	73.3 %
Pourcentage moyen de bonne corrélation entre observations et prévisions sur 4 ans				88 %

vations sur ces séries de plantes pièges ont permis de mettre en évidence une efficacité prédictive moyenne de Downcast de 88 % sur quatre ans (TABLEAU 1). De plus, les incohérences mises en évidence entre les prévisions du modèle et les observations sur plantes pièges correspondent toutes à des cas de surestimations du risque mildiou par Downcast, à savoir qu'aucun symptôme de mildiou n'était observé sur les plantes pièges alors que Downcast prévoyait des possibilités de contamination durant leur temps de présence en parcelle. L'année 2001 semble mettre en évidence une moins bonne efficacité du modèle par rapport aux années précédentes mais cette observation est en réalité à mettre en relation avec des conditions climatiques peu favorables au mildiou, qui ont provoqué des difficultés d'inoculation et une présence tardive et faible d'inoculum sur le dispositif d'essai.

Compte-tenu de la bonne performance du modèle dans le contexte de Beauvais, le modèle a été évalué à plus grande échelle dans les principaux bassins de production d'oignon en 2000 et 2001.

Tests Downcast dans les principaux bassins de production d'oignon

■ En 2000 et 2001, Downcast a été évalué en comparant, en terme d'efficacité et de nombre d'applications de fongicides anti-mildiou, la stratégie de traitement basée sur le suivi de ses prévisions avec une stratégie de traitement classique. Ces stratégies de traitement ont été testées à la fois sur le site de l'Isab, dans un dispositif d'essai inoculé avec quatre répétitions, et dans des parcelles de production de cinq autres sites en conditions naturelles, situés dans les principaux bassins de production d'oignon : dans la Marne (Mairy-sur-Marne), dans les régions de Dijon, Nogent-sur-Seine et Orléans, et dans la Haute-

Marne (Ponthion). Sur chaque site, des placettes non traitées étaient aménagées afin de vérifier la présence de mildiou et la gravité de l'attaque. Celles-ci étaient évaluées grâce à la réalisation d'observations hebdomadaires sur le feuillage dans des placettes de 20 plantes, délimitées lors de l'apparition des premiers symptômes de mildiou. Les notations ainsi réalisées permettaient de suivre l'évolution du pourcentage de surface foliaire atteinte par le mildiou sur chacun des 20 oignons. Une moyenne sur la placette donnait l'évolution d'un indice, appelé « indice de gravité », pour le traitement considéré.

Les rendements obtenus pour chacun des traitements étudiés (non traité - traité selon Downcast-stratégie de traitement Producteur) ont également été mesurés à la récolte.

L'ensemble des essais était piloté depuis l'Isab grâce à l'équipement des différents sites avec une station météorologique interrogeable à distance par GSM et équipée du capteur spécifique de mesure du dépôt de rosée mis en œuvre à l'Isab pour la validation de Downcast. Ils étaient suivis sur place par les conseillers des coopératives et chambres d'agriculture impliqués dans le réseau ainsi constitué, à savoir respectivement par : Arco pour la Marne, Coop d'Or et la chambre d'agriculture de Dijon, Soplest pour Nogent-sur-Seine, la FDGETAL pour Orléans et la coopérative d'Eclaron pour la Haute-Marne.

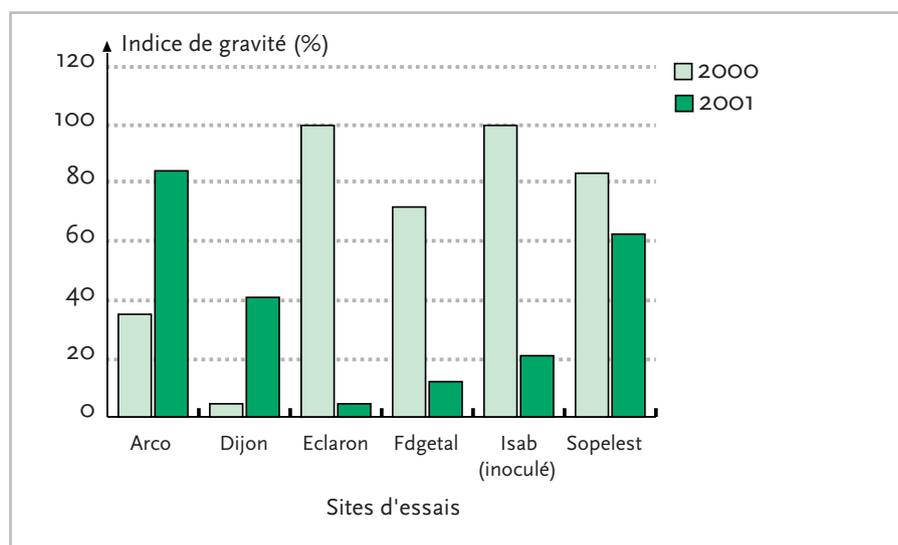
■ Les années 2000 et 2001 se sont avérées très différentes d'un point de vue climatique et ont permis de tester plusieurs cas de figures en terme de niveau de pression maladie en fonction des sites (FIGURE 2). L'année 2000 a été très humide et particulièrement favorable au mildiou, exception faite du site de Dijon. Cela s'est traduit par une pression mildiou importante sur la majorité des essais (indice de gravité moyen de 66 % sur les parcelles non traitées), de nombreuses prévisions d'infection de la part du modèle

Downcast et des cadences de traitement élevées. En 2001, par contre, les conditions climatiques relativement sèches des mois de mai et juin ont freiné l'installation de mildiou sur les essais, y compris sur l'essai Isab inoculé. Cela s'est traduit par une apparition tardive du mildiou, à un niveau de gravité faible, sur la plupart des sites. Seul le site de Dijon a montré des conditions climatiques plus favorables et une forte pression mildiou sur l'essai. En 2001, l'indice de gravité moyen au début de la tombaison des oignons sur les parcelles non traitées était de 37,6 %.

■ Globalement, suivant les sites, le producteur a réalisé entre 5 et 18 traitements, avec une moyenne de 13 fongicides anti-mildiou sur les deux années (TABLEAU 2). Le modèle Downcast n'a pu être utilisé sur l'ensemble de la saison culturale sur tous les sites pour des raisons d'ordre technique, ce qui fait qu'il n'a parfois pas pu être valorisé autant qu'il l'aurait pu. Il a néanmoins permis de réduire ce nombre de fongicides anti-mildiou de 20 % en moyenne en 2000, alors que l'année était favorable à une forte pression mildiou, et de 29 % en moyenne en 2001. Sur ces deux années, une réduction de 40 % du nombre de fongicides anti-mildiou est même observée une fois sur quatre.

Mais dans certains cas, l'économie de traitements réalisée a été réduite par l'application intermédiaire de fongicides à action anti-botrytis strict. Cette limite dans l'utilisation de Downcast a été plus particulièrement étudiée sur le site de l'Isab où une forte pression Botrytis existait de par la présence d'un deuxième dispositif d'essai inoculé avec du

FIGURE 2-Pourcentage moyen de surface foliaire atteinte de mildiou au début de la tombaison des oignons sur les parcelles non traitées des différents sites



Botrytis squamosa à proximité de l'essai mildiou. Dans ces conditions, il est apparu que si le nombre d'applications fongicides pouvait être fortement réduit grâce à l'utilisation de Downcast, la réduction potentielle pouvait être très fortement diminuée, voire annulée, si la culture devait être protégée préventivement contre d'autres maladies foliaires telles que le *Botrytis squamosa*. Cette observation vient conforter l'intérêt de valider parallèlement un modèle épidémiologique permettant de raisonner la lutte contre cet autre pathogène. L'objectif à terme est donc de disposer d'un outil permettant de raisonner conjointement la lutte contre ces deux maladies foliaires.

■ Outre la possible réduction du nombre d'applications fongicides sur la parcelle, le modèle permet surtout de mieux positionner l'application par rapport aux périodes à risque mildiou. Sur les différents sites d'essai, cela s'est traduit en 2000 par une bonne efficacité de la stratégie Downcast, malgré la forte pression mildiou et la réduction du nombre de traitements. Ainsi aucun symptôme de mildiou n'a été observé sur les stratégies Downcast de deux des six sites. Sur les quatre autres, quelques symptômes ont été observés mais ils ne se sont pas, ou peu développés, se stabilisant autour d'un niveau maximum d'indice de gravité de 5,5 %. Pour l'ensemble des sites, l'indice de gra-

TABLEAU 2-Nombre de traitements fongicides réalisés sur les différents sites d'essais du Réseau Validation de Downcast

Sites d'essais	Période d'utilisation de Downcast	Traitements producteur	Traitements selon Downcast	Réduction du nombre de fongicides anti-mildiou (%)	Réduction globale du nombre de fongicides (%)	
Isab	2000	Stade 4F- tombaison	12 + 2 anti-botrytis	12 + 2 anti-botrytis	0 %	0 %
	2001	2F- tombaison	10 + 2 anti-botrytis	7 + 4 anti-botrytis	30 %	8 %
Arco	2000	6F- tombaison	17	13 + 1 anti-botrytis	23,5 %	18 %
	2001	2F- bulbaison	14	11	21 %	21 %
Dijon	2000	11/07- tombaison	5	3	40 %	40 %
	2001	2 /3F- tombaison	11	11	0 %	0 %
Eclaron	2000	Bulbaison-tombaison	17	14	18 %	18 %
	2001	3/4F-02/08	15	9	40 %	40 %
Fdgetal	2000	6F-début tombaison	12 + 1 anti-botrytis	11 + 1 anti-botrytis	8 %	8 %
	2001	2F- bulbaison	7 + 1 anti-botrytis	4 + 1 anti-botrytis	43 %	38 %
Sopelest	2000	6F-tombaison	18	12	33 %	33 %
	2001	2F-tombaison	15	12	20 %	20 %
Moyenne 2000			14	11	20 %	19,5 %
Moyenne 2001			12	9	29 %	24,5 %



tivité moyen de la stratégie Downcast a été de 1,3 % en 2000. Il était alors de 10 % en moyenne pour la stratégie producteur.

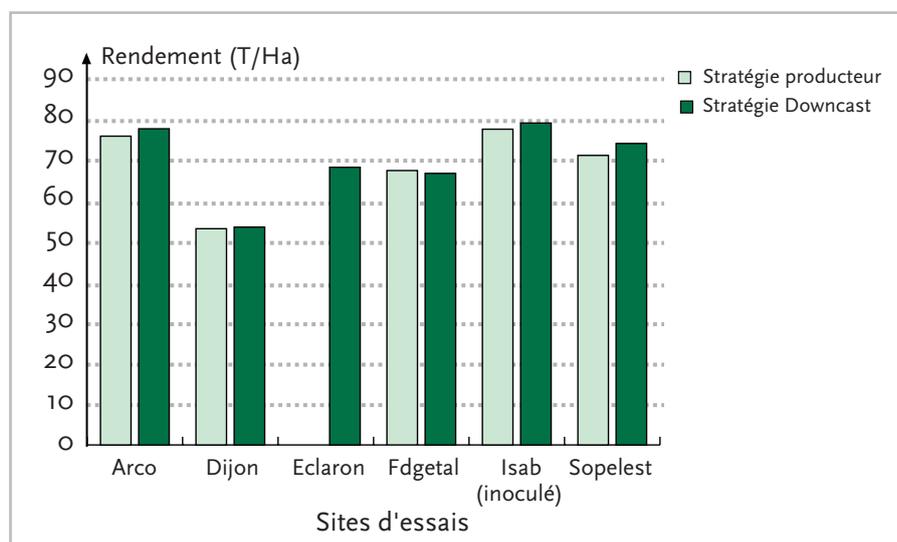
Le même scénario a pu être observé sur cinq des six sites d'essais en 2001 : quelques symptômes de mildiou ont été observés sur les parcelles traitées, dont la stratégie Downcast, mais l'indice de gravité a atteint au maximum 6 % au début de la tombaison des oignons. Seul le site de Dijon a montré une présence importante du mildiou sur les parcelles traitées, mais de façon équivalente sur les stratégies Downcast et producteur. Pour améliorer de façon efficace la protection fongicide face à une maladie aussi dommageable que le mildiou, différents facteurs restent donc à analyser et maîtriser tels que : l'efficacité des différentes matières actives disponibles sur le mildiou de l'oignon, le choix du fongicide sur attaque déclarée et les conditions d'application des produits.

■ La réduction du nombre de fongicides permise par le modèle Downcast ne s'est pas accompagnée d'une baisse de rendement par rapport à la stratégie Producteur, conformément aux observations réalisées en parcelle qui montrent un maintien de l'efficacité sur le mildiou (FIGURE 3). Les rendements sont en moyenne sur les deux années 2000 et 2001, respectivement de 71,7 et de 73,9 T/ha pour les stratégies Producteur et Downcast. Seul le site de Dijon 2001 présente des rendements particulièrement faibles, mais équivalents, sur les deux stratégies traitées (32,3 T/ha en moyenne), ce qui confirme qu'en conditions favorables une attaque de mildiou non maîtrisée peut occasionner de très fortes pertes de rendement.

Un outil performant

Le modèle Downcast s'est montré suffisamment performant durant ces quatre années d'essai pour que sa diffusion soit envisagée. Cette performance est cependant à mettre en relation avec un enregistrement à la parcelle des données climatiques servant à alimenter le modèle, directement dans le microclimat des oignons et l'utilisation d'un capteur spécifique de mesure du dépôt de rosée. Le modèle sera donc commercialisé cette année en tant que logiciel accompagnant une station météorologique équipée du capteur de rosée (Pulsonic), et qui pourra permettre la vérification individuelle et quotidienne de ses prévisions à la

FIGURE 3-Rendements nets commercialisables moyens (calibre supérieur à 40 mm) des stratégies Downcast et producteur des différents sites d'essais-(moyennes 2000 - 2001)



parcelle. Il est prévu que ces prévisions mildiou soient complétées par des prévisions sur le *Botrytis squamosa*, établies à partir d'autres modèles validés et testés à l'Isab (voir Infos-Ctifl n° 181). La mise à disposition de ce modèle sur oignon devrait permettre de mieux raisonner la lutte contre le mildiou mais en vue d'assurer une protection fongicide efficace, il restera indispensable de vérifier régulièrement l'état sanitaire de la parcelle. ■

Pour faciliter le diagnostic du mildiou sur oignon et mieux connaître ses conditions de développement, une plaquette a été réalisée par l'Isab dans le cadre de ce programme sur les maladies foliaires de l'oignon. Elle est éditée par le Ctifl et la section nationale oignon. Elle présente les différents stades d'évolution du mildiou sur le feuillage à travers une série de photos et donne des informations sur le cycle de développement du mildiou de l'oignon et sa nuisibilité.



Détail de sporulations de mildiou (*peronospora destructor*)