

Institut National de la Recherche Agronomique  
Département Forêts et Milieux Naturels  
Unité de Recherches Forestières Méditerranéennes  
Equipe de Prévention des Incendies de Forêt  
Document PIF2000-10

**VARIABILITE DE LA VITESSE  
DE PROPAGATION DU FEU DANS UNE LITIERE  
D'AIGUILLES DE PIN MARITIME**

Joël Marechal<sup>1</sup>, Denis Portier<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut National de la Recherche Agronomique  
Unité de Recherches Forestières Méditerranéennes  
Equipe de Prévention des Incendies de Forêt  
20 avenue Vivaldi – F 84000 Avignon  
Téléphone : +33 (0)4 90 13 59 30  
Télécopie : +33 (0)4 90 13 59 59  
Mél : joel.marechal@avignon.inra.fr

<sup>2</sup> Institut National de la Recherche Agronomique  
Unité de Recherches Forestières Méditerranéennes  
Equipe de Prévention des Incendies de Forêt  
Domaine d'Olonne – F 84300 Les Vignères  
Téléphone : +33 (0)4 90 71 94 08  
Télécopie : +33 (0)4 90 71 94 08  
Mél : denis.portier@avignon.inra.fr

## SOMMAIRE

1	Introduction	1
1.1	Rappel de la démarche	1
1.2	Les objectifs et conditions des essais	1
2	Les matériels et les méthodes	2
2.1	Le matériel végétal	2
2.1.1	Le lieu de prélèvement	2
2.1.2	Les caractéristiques physiques des aiguilles	2
2.2	Le matériel expérimental	3
2.2.1	Le plateau support de combustible	3
2.2.2	Le dispositif de mise à feu	3
2.2.3	Le dispositif de mesure de l'avancement du feu	3
2.2.4	L'enregistrement vidéo	3
2.2.5	La ventilation du bâtiment	3
2.3	Les traitements retenus	3
2.4	Les paramètres mesurés et calculés	3
2.4.1	Le combustible	3
2.4.2	Les conditions climatiques	4
2.4.3	Le front de feu	4
2.5	Déroulement des opérations	5
2.5.1	Les opérations préalables à la mise à feu	5
2.5.2	Les opérations durant la combustion	5
2.5.3	Les opérations après extinction totale	5
3	Résultats	6
3.1	Les essais réalisés	6
3.2	Les essais à plat	7
3.2.1	Tableau récapitulatif	7
3.2.2	Statistiques élémentaires	8
3.2.3	Représentations graphiques et corrélations	8
3.3	Les essais à 20°	10
3.3.1	Tableau récapitulatif	10
3.3.2	Statistiques élémentaires	11
3.3.3	Représentations graphiques et corrélations	11
4	Annexes	13
4.1	La fiche d'essai	13
4.2	Le fichier Excel	16

## 1 INTRODUCTION

### 1.1 Rappel de la démarche

Au début des années 1990, l'équipe de Prévention des Incendies de Forêt a conduit des essais au laboratoire destinés à étudier le comportement d'un feu de surface dans des litières d'aiguilles mortes de pin maritime et de pin d'Alep.

Elle a plus particulièrement analysé l'influence de la pente, de la charge et de la teneur en eau sur la dynamique du feu, la vitesse et la forme du front de feu, la géométrie de la flamme.

La relativement faible quantité de combustible nécessaire à la conduite d'un essai, croisement de la taille du banc (jusqu'à  $1,5 \text{ m}^2$ ) et de la charge étudiée (jusqu'à  $1,2 \text{ kg m}^{-2}$ ) et la relativement faible durée d'un essai, permirent de réaliser des répétitions aussi vraies que possible.

Ces répétitions étaient destinées à minimiser les influences des variations des conditions climatiques (pression atmosphérique, température et humidité de l'air) qui règnent dans le hall d'expérimentation.

Les variations de ces conditions, mesurables mais non contrôlables, influencent la dynamique du feu, directement sur les caractéristiques de l'air et indirectement sur la teneur en eau du combustible.

En revanche, certains des niveaux de facteurs étudiés (forte pente, forte charge, faible teneur en eau) ont induit des dynamiques du feu telles que les dimensions du banc d'essai se sont avérées trop petites au regard de celles de la flamme et du front.

Ceci conduisit l'équipe à réaliser le banc d'essai DESIRE dont les dimensions (jusqu'à  $3 \times 9 \text{ m}$ ) purent être considérées comme grandes au regard de celles de la flamme et du front.

Au cours des étés 1996 et 1998, l'équipe conduisit des séries d'essais dont les résultats et les enseignements appartiennent aux acquis du programme européen EFAISTOS.

Toutefois, la quantité de combustible, entre  $4,5 \text{ kg}$  ( $L = 9, l = 1, c = 0,5 \text{ kg m}^{-2}$ ) et  $27 \text{ kg}$  ( $L = 9, l = 3, c = 1 \text{ kg m}^{-2}$ ) et le temps nécessaire (deux heures) pour réaliser un essai, ne permirent pas à l'équipe de conduire des répétitions vraies.

Certes le protocole expérimental prévoyait bien de répéter trois fois les essais à des niveaux identiques des facteurs étudiés, mais les variations des conditions climatiques au cours de ces deux périodes estivales furent telles que, malgré les précautions prises par l'équipe technique, les « répétitions » présentent des écarts entre les grandeurs mesurées parfois supérieurs aux écarts entre traitements.

De plus, l'équipe a cherché à améliorer la ventilation interne du hall d'expérimentation.

Ceci modifia encore les conditions de brûlage.

C'est donc dans le but de vérifier a posteriori que les écarts de la vitesse de propagation entre traitements sont significatifs, dès lors que les conditions de brûlage sont aussi stables que possible, dans le but d'étudier la variabilité de cette vitesse que l'équipe a conduit les essais décrits ici au cours de l'été 2000.

### 1.2 Les objectifs et conditions des essais

L'équipe de Prévention des Incendies de Forêt a étudié la variabilité de la vitesse de propagation du front de feu (en fait celle de son point le plus avancé) en suivant les méthodes décrites ci-après.

Elle a opéré avec des aiguilles mortes de pin maritime prélevées dans la même formation forestière que celle où elle les préleva pour les essais de 1996 et de 1998.

Toutefois, elle détermina de nouveau les caractéristiques des aiguilles de manière à vérifier l'absence de variabilité.

Sur la base des résultats de 1996 et de 1998, elle a retenu deux combinaisons de facteurs :

- pente  $0^\circ$ , longueur  $2 \text{ m}$ , le front de feu demeure linéaire et sa vitesse se stabilise dans les cinquante premiers centimètres,
- pente  $+20^\circ$ , longueur  $4 \text{ m}$ , la forme du front de feu en V inversé et sa vitesse se stabilisent dans le premier mètre.

Sur la base de ces configurations et des opérations à effectuer, décrites ci-après, l'équipe technique peut réaliser de 4 à 6 essais au cours de chaque session.

Pour réduire autant que possible les influences de la teneur en eau de l'air et du combustible, les sessions d'essais sont choisies en fonction des conditions climatiques qui règnent au cours de la veille, de la nuit et de la matinée qui précèdent ; les périodes trop humides sont écartées.

Les essais sont conduits si la température de l'air  $T_s$  est égale ou supérieure à  $25^\circ\text{C}$  et si l'humidité relative est inférieure à 60%.

La teneur en eau du combustible doit être inférieure à  $11 \text{ g hg}^{-1}$ .

Soixante quatre essais sont conduits du 28 juillet au 24 août 2000 ; trente essais sont utilisables pour chacun des deux traitements pour analyser la variabilité de la vitesse de propagation du front de feu.

Cette opération a été réalisée avec l'aide financière de la Direction de l'Espace Rural et de la Forêt du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche dans le cadre de la convention DERF / INRA / IUSTI 61.21.05/98.

## 2 LES MATERIELS ET LES METHODES

### 2.1 Le matériel végétal

#### 2.1.1 Le lieu de prélèvement

Les aiguilles proviennent d'un peuplement de Pin maritime situé près de Gargas dans le Vaucluse (84).

Seule la couche supérieure a été prélevée en juillet et août 1999. Au bâtiment expérimental les aiguilles ont séché à l'air.

Avant l'utilisation un tri grossier élimine les rameaux de plus de 2 mm de diamètre, les morceaux d'écorce et les pommes de pin.

#### 2.1.2 Les caractéristiques physiques des aiguilles

L'équipe a mesuré les principales caractéristiques physiques des aiguilles utilisées :

- la longueur et l'épaisseur
- la masse sèche
- la surface et le volume
- la masse volumique

- le rapport surface / volume
- la teneur en cendre
- la courbe de perte de masse en fonction de la température

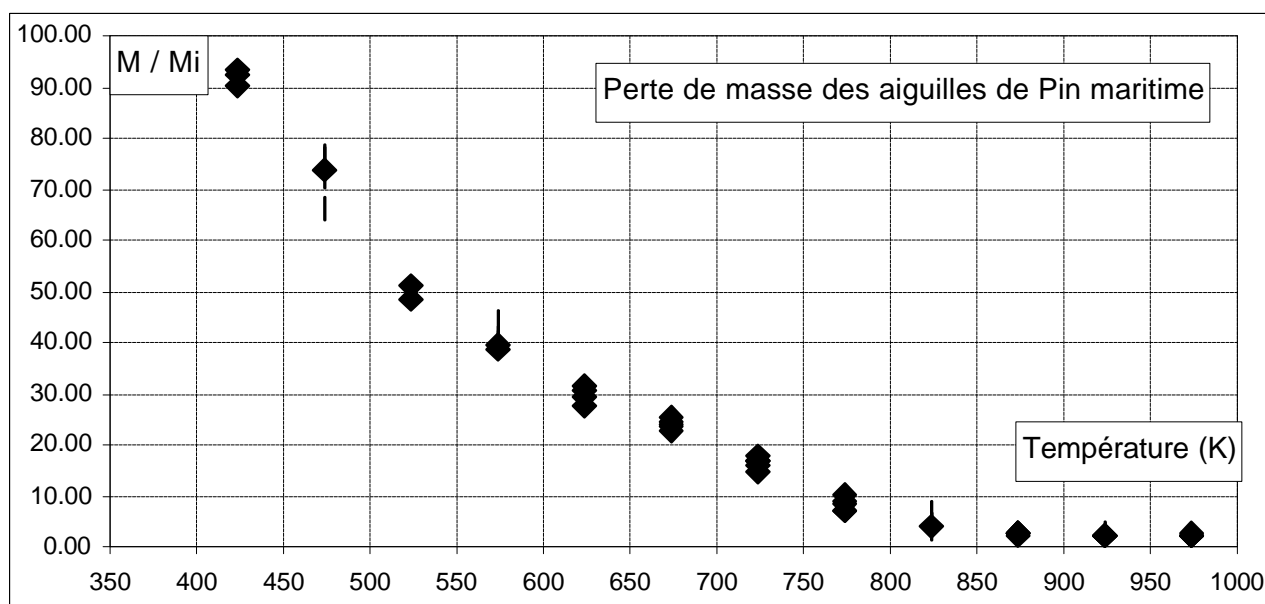
Le Laboratorio del Fuego de l'I.N.I.A. à Madrid a déterminé leur pouvoir calorifique.

Les mesures effectuées par l'Équipe de Prévention des Incendies de Forêts à l'unité expérimentale du Ruscas portent sur trois échantillons de 30 tronçons d'aiguilles de 50 mm de longueur chacun.

Le tableau ci-dessous présente, à l'exception du pouvoir calorifique, la valeur moyenne de chacune des caractéristiques étudiées.

Le graphique ci-dessous montre la variation de la perte de masse en fonction de la température.

Caractéristiques physiques	Unités	Lot 1	Lot 2	Lot 3	Lot 4	Lot 5
Longueur	(mm)	50	50	50	50	50
Épaisseur	(mm)	1,16	1,19	1,16	1,13	1,16
Diamètre	(mm)	1,86	1,83	1,81	1,82	1,84
Masse sèche	(mg)	1268	1264	1205	1163	1207
Surface	( $10^{-6} \text{ m}^2$ )	8557,7	8681,0	8487,3	8357,2	8510,9
Volume	( $10^{-9} \text{ m}^3$ )	2157,0	2100,0	2192,0	2114,0	2186,0
Masse volumique	( $\text{kg m}^{-3}$ )	587,9	601,9	549,7	550,1	552,2
Rapport surface/volume	( $\text{m}^2 \text{ m}^{-3}$ )	3967,4	4133,8	3871,9	3953,3	3893,4
Teneur en cendre	(%)	2,55				
Pouvoir calorifique supérieur	( $\text{kJ kg}^{-1}$ )	21198				



## 2.2 Le matériel expérimental

### 2.2.1 Le plateau support de combustible

Un cadre de 1,5 x 4 mètres est constitué par deux longueurs de tube métallique à section carrée (5 x 5 cm) maintenues écartées par des entretoises en fer plat.

Ce cadre repose sur des dalles de béton cellulaire dans le coin nord-ouest de Désiré de façon à faciliter la mise à feu des essais en pente ascendante et éviter les incidences de la grille porte thermocouples.

La largeur du cadre est supérieure de 0,5 m à la largeur de couche de combustible pour éviter les effets de bordure induits par la forte conductivité thermique du métal.

La pente est obtenue en utilisant le dispositif d'inclinaison de Désiré.

### 2.2.2 Le dispositif de mise à feu

C'est une goulotte en aluminium de 1,5 m de long, 22 mm de large et 10 mm de hauteur ; elle est remplie de sable.

Chaque essai est mis à feu en enflammant environ 7,5 ml d'alcool répartis régulièrement dans toute la goulotte à l'aide d'une pipette.

### 2.2.3 Le dispositif de mesure de l'avancement du feu

Les deux longueurs tubulaires sont équipées tous les 20 cm de vis autoforeuses qui permettent l'attache de fils de coton mercerisé.

Les premières et dernières vis sont placées à 0,5 cm des extrémités.

### 2.2.4 L'enregistrement vidéo

L'ensemble du dispositif est formé :

- d'une caméra orientable pour la prise de vue,
- d'un magnétoscope vidéo S-VHS pour l'enregistrement,
- d'un moniteur vidéo pour la visualisation.

La caméra est pilotée à distance depuis la salle d'observation du bâtiment expérimental.

La caméra CCD couleur à traitement numérique est équipée d'un zoom électrique d'une focale de 5,5 mm (40°) à 72 mm (4,5°).

Elle est située à 9,5 m du sol sur une nacelle accolée à la paroi Nord du bâtiment expérimental.

La distance entre l'objectif et la ligne de mise à feu est de 6 m lorsque le plateau est à 0° et 7,2 m lorsqu'il est incliné à 20°.

La caméra est fixée sur une tourelle mobile qui lui permet de se déplacer dans le plan horizontal et le plan vertical.

Le moniteur vidéo Panasonic permet à l'opérateur de suivre la progression du feu et d'agir en temps réel sur les paramètres de la prise de vue.

Chaque essai est enregistré en totalité avec affichage de la date et de l'heure et les bandes SVHS sont archivées.

### 2.2.5 La ventilation du bâtiment

Les volets de la faîtière sont maintenus ouverts en totalité durant l'expérimentation pour évacuer les fumées.

Les ventelles ouest et est sont maintenues fermées durant chaque essai.

## 2.3 Les traitements retenus

Les modalités retenues sont les suivantes :

- Charge : 1 kg.m<sup>-2</sup> d'équivalent de masse anhydre
  - Teneur en eau : aiguilles séchées à l'air
  - Pente : 0 et 20°
  - Largeur de la bande : 1 m
  - Longueur de la bande : 2 m pour la pente de 0°, 4 m pour la pente de 20°
- Chaque modalité est répétée 32 fois

Les essais sont conduits les après midi afin de bénéficier de conditions météorologiques plus stables notamment en ce qui concerne la température de l'air.

Afin d'équilibrer les durées des essais et d'éviter tout biais expérimental, les modalités se sont succédées selon le schéma suivant :

- jour 1 : 0°, 20°, 0°, 20°
- jour 2 : 20°, 0°, 20°, 0°

## 2.4 Les paramètres mesurés et calculés

### 2.4.1 Le combustible

#### 2.4.1.1 L'épaisseur de la couche

Le combustible est conditionné dans des cartons, le contenu de deux cartons couvre 1 m<sup>2</sup>.

La masse du combustible est ajustée avant l'essai en fonction de la teneur en eau des essais de la veille.

Lors de la constitution du lit, des cornières métalliques et des tasseaux gradués sont disposés de façon à former des unités de surface de 1 m<sup>2</sup> (1 x 1 m) ; ils sont retirés à la fin de l'opération.

Après la constitution du lit de combustible on mesure systématiquement son épaisseur, à l'aide de la jauge à profondeur d'un pied à coulisse, en deux points de chacune des bandes de 20 cm délimitées par les fils de coton.

Les valeurs exprimées en mm sont reportées sur la fiche d'essai, les couples de mesure sont positionnés en identifiant les bandes :

- colonne 0 : numéro de position du fil de coton
- colonne 1 : distance entre la ligne de mise à feu et le début de la bande
- colonne 2 : distance entre la ligne de mise à feu et la fin de la bande
- colonne 3 : première mesure
- colonne 4 : deuxième mesure

Pour la modalité à 2 m les statistiques de l'épaisseur du lit sont calculées sur 10 couples et sur 20 couples pour la modalité à 4 m.

Un fichier réalisé avec Excel récapitule ses données de bases en y ajoutant les calculs intermédiaires et les résultats suivants :

- l'épaisseur moyenne de la couche combustible,
- l'écart type de l'échantillon et l'intervalle de confiance de la moyenne
- la masse volumique de la couche combustible
- le rapport de compacité de la couche combustible

La masse volumique est le rapport de la charge au volume occupé, exprimé en  $\text{kg m}^{-3}$ .

Le rapport de compacité, valeur sans dimension, est obtenu en divisant la masse volumique de la couche mentionnée ci-dessus par celle des particules, indiquée au paragraphe 2.1.2.

#### 2.4.1.2 La teneur en eau des aiguilles

Elle est déterminée pour chaque essai.

Un carton d'aiguilles est placé à proximité du plateau de combustion dès le début de la constitution du lit de combustible.

Un échantillon prélevé dans ce carton est pesé et placé à l'étuve à 60°C.

L'échantillon est retiré de l'étuve après 24 h.

La nouvelle pesée donne la masse anhydre et par différence la masse d'eau disparue de l'échantillon d'aiguilles.

La teneur en eau est exprimée en grammes d'eau par hectogramme de matière sèche

### 2.4.2 Les conditions climatiques

#### 2.4.2.1 La pression

La pression atmosphérique est relevée avant la mise à feu sur un baromètre anéroïde.

Elle est exprimée en hPa.

#### 2.4.2.2 Les températures sèche et humide

Un psychromètre fixe à ventilation normale installé en permanence à proximité du banc indique la température de l'air  $T_s$  (thermomètre sec) et la température de l'air saturé d'eau  $T_m$  (thermomètre humide) en °C.

#### 2.4.2.3 L'humidité relative

La valeur de l'humidité relative est calculée à partir des informations du psychromètre en utilisant la série de formules suivantes:

$$EWTS = 6,107 \times (1 + (2^{0,5} \times \sin((2 \times \text{Pi} / 360) \times (Ts / 3))))^{8,827}$$

$$EWTM = 6,107 \times (1 + (2^{0,5} \times \sin((2 \times \text{Pi} / 360) \times (Tm / 3))))^{8,827}$$

$$ETS = EWTM - (Vt \times (Ts - Tm))$$

EWTS : tension de vapeur saturante à la température  $T_s$  en hPa

EWTM : tension de vapeur saturante à la température  $T_m$  en hPa

ETS : correction EWTM par la constante psychrométrique  $Vt$  qui vaut 0,79 lorsque la ventilation est normale (ventilation naturelle).

Humidité relative de l'air =  $100 \times (ETS / EWTS)$ . Elle est exprimée en %.

#### 2.4.2.4 Le déficit de saturation

C'est la différence entre EWTS et ETS en hPa, il traduit le pouvoir "évaporant" de l'air.

#### 2.4.2.5 La température du point de rosée

La température du point de rosée est obtenue à partir de la formule ci-dessous en utilisant les résultats précédents :

$$EWTd = 6,107 \times (1 + (2^{0,5} \times \sin((2 \times \text{Pi} / 360) \times (Td / 3))))^{8,827}$$

$T_d$  est la température du point de rosée en °C.

### 2.4.3 Le front de feu

#### 2.4.3.1 La distance parcourue en fonction du temps

Les délais écoulés entre la mise à feu et la rupture de chacun des fils sont notés sur la fiche d'essai.

#### 2.4.3.2 La vitesse de propagation

Les données ci dessus sont reportées dans une feuille Excel qui calcule les vitesses intermédiaires exprimées en  $\text{mm s}^{-1}$  à l'aide de la formule :

$$L / (T_i - T_{i-1})$$

$L = 200 \text{ mm}$  pour toutes les bandes et  $195 \text{ mm}$  pour la première et la dernière bande.

La feuille donne en outre la vitesse moyenne de propagation en  $\text{mm s}^{-1}$  obtenue de différentes manières :

- à partir des vitesses intermédiaires avec l'écart type des valeurs et l'intervalle de confiance de cette moyenne
- à partir de la distance parcourue en fonction du temps en précisant le coefficient directeur de la droite de régression, l'ordonnée à l'origine et le coefficient de régression.
- à partir de la distance parcourue en fonction du temps pour les fils 1 à 9 (ou 1 à 19) en précisant également le coefficient directeur de la droite de régression, l'ordonnée à l'origine et le coefficient de régression.
- à partir du délai mis par le feu pour parcourir le plateau

## 2.5 Déroulement des opérations

### 2.5.1 Les opérations préalables à la mise à feu

- Trier les aiguilles
- Préparer les cartons d'aiguilles, pesage
- Compléter les cartons en fonction de la teneur en eau des aiguilles des essais de la veille
- Effectuer la mesure de teneur en eau des essais précédents (mesure du poids sec, de la tare, calcul)
- Préparer la fiche d'essai
- Vérifier le bon état du matériel nécessaire (psychromètre, baromètre, chronomètre, fil de coton, alcool, allumettes ...)
- Disposer les cornières métalliques et les tasseaux de bois
- Placer le carton d'aiguilles destiné aux mesures de teneur en eau à proximité du banc
- Constituer le lit combustible
- Mettre en place les fils de coton
- Mesurer l'épaisseur du lit de combustible
- Régler et positionner la caméra
- Préparer le magnétoscope, caler la bande SVHS
- Peser les deux échantillons (poids frais + tare) destinés à déterminer la teneur en eau du combustible et identifier les récipients avant de les mettre à l'étuve
- Relever sur la fiche d'essai les températures sèche et humide et la valeur de la pression atmosphérique

### 2.5.2 Les opérations durant la combustion

- Constituer la ligne d'allumage avec l'alcool
- Mettre à feu la ligne d'alcool
- Déclencher le chronomètre portatif
- Suivre le déplacement du front avec la caméra
- Noter sur la fiche d'essai le délai indiqué par le chronomètre à la rupture de chacun des fils de coton.
- Noter la hauteur des flammes
- Noter le temps d'extinction

### 2.5.3 Les opérations après extinction totale

- Arrêter l'enregistrement vidéo
- Enlever les parties non brûlées des fils de coton
- Nettoyer le plateau de combustion
- Compléter la fiche d'essai, inscrire les observations éventuelles
- Ranger le matériel
- Calculer les paramètres concernant les caractéristiques de l'air et compléter le fiche d'essai
- Constituer les fichiers Excel des essais, effectuer les calculs
- Transférer ses informations sous le serveur de l'équipe
- Noter la position de l'essai sur la bande vidéo et indexer et classer la cassette

Vue latérale du front de feu (20°, 4 m)



### 3 RESULTATS

#### 3.1 Les essais réalisés

Date (jj/mm/aaaa)	Inclinaison 0°		Inclinaison 20°	
	Essai (aammjjnn)	Heure (hh:mn:ss)	Essai (aammjjnn)	Heure (hh:mn:ss)
28/07/2000	00072801	13:26:44	00072802	14:33:30
31/07/2000	00073102	14:25:46	00073101	13:44:05
	00073104	16:09:15	00073103	15:22:13
01/08/2000	00080101	13:09:51	00080102	14:01:22
	00080103	14:39:14	00080104	15:28:13
03/08/2000	00080302	14:15:39	00080301	13:25:08
04/08/2000	00080402	14:25:23	00080401	13:38:08
	00080404	15:59:39	00080403	15:19:35
07/08/2000	00080701	13:06:56	00080702	14:00:27
	00080703	14:44:27	00080704	15:39:38
08/08/2000	00080802	13:55:06	00080801	13:18:35
	00080804	15:17:53	00080803	14:39:54
09/08/2000	00080901	13:09:04	00080902	13:58:48
	00080903	14:39:39	00080904	15:29:13
10/08/2000	00081002	13:49:41	00081001	13:12:03
	00081004	15:04:45	00081003	14:28:43
11/08/2000	00081101	13:14:50	00081102	13:52:06
	00081103	14:23:17	00081104	15:02:26
17/08/2000	00081702	13:45:25	00081701	13:12:04
	00081704	14:51:35	00081703	14:20:57
	00081706	15:59:19	00081705	15:26:34
18/08/2000	00081801	13:00:42	00081802	13:36:23
	00081803	14:26:25	00081804	14:42:10
	00081805	15:13:46	00081806	15:49:24
21/08/2000	00082102	14:06:50	00082101	13:24:45
	00082104	15:23:00	00082103	14:47:35
22/08/2000	00082201	13:10:27	00082202	13:46:17
	00082203	14:20:13	00082204	15:02:15
	00082205	15:35:25	00082206	16:18:00
24/08/2000	00082402	14:04:23	00082401	13:14:25
	00082404	15:13:15	00082403	14:40:30
	00082406	16:22:54	00082405	15:50:53

### 3.2 Les essais à plat

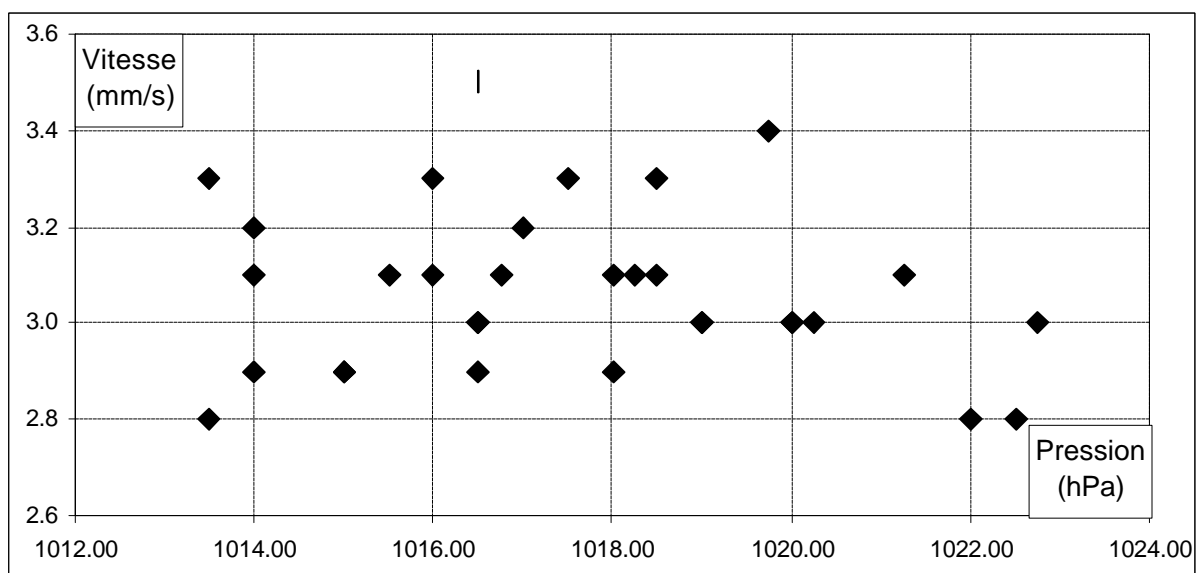
#### 3.2.1 Tableau récapitulatif

Essai (n°)	Pression (hPa)	Air ambiant		Combustible		Front de feu	
		Ts (°C)	Humidité relative (%)	Teneur en eau (g hg <sup>-1</sup> )	Epaisseur (mm)	Vitesse 1 à 10 (mm s <sup>-1</sup> )	Vitesse 1 à 9 (mm s <sup>-1</sup> )
00072801	1016,00	23,5	63,3	10,1	67,5	3,4	3,5
00073102	1019,75	29,5	44,6	8,7	67,3	3,4	3,4
00073104	1018,25	31,1	42,6	7,9	54,0	3,1	3,1
00080101	1022,75	27,2	50,3	9,5	54,8	2,9	3,0
00080103	1020,25	29,7	44,2	8,9	57,5	3,0	3,0
00080302	1022,00	22,6	72,9	10,5	58,2	2,8	2,8
00080402	1017,50	25,8	46,7	10,6	59,7	3,3	3,3
00080404	1016,00	26,8	44,8	10,0	59,7	3,3	3,3
00080701	1020,00	25,2	53,2	9,8	57,9	3,0	3,0
00080703	1018,50	26,7	46,6	9,5	58,1	3,2	3,3
00080802	1018,50	29,2	50,0	9,4	58,6	3,1	3,1
00080804	1016,75	29,6	40,8	9,0	59,0	3,1	3,1
00080901	1021,25	27,1	55,2	9,9	61,0	3,1	3,1
00080903	1018,00	29,2	51,2	9,4	57,3	3,1	3,1
00081002	1018,00	29,8	51,2	10,3	61,1	3,0	2,9
00081004	1017,00	30,3	44,9	9,9	58,4	3,2	3,2
00081101	1016,00	28,3	54,5	9,6	58,9	3,1	3,1
00081103	1014,00	30,0	53,1	9,6	56,9	2,9	2,9
00081702	1016,50	29,3	61,6	9,8	54,5	3,0	3,0
00081704	1015,50	31,0	55,8	9,8	57,1	3,1	3,1
00081706	1014,00	30,7	50,9	9,4	55,6	3,1	3,1
00081801	1016,50	29,8	50,0	10,7	57,3	3,0	3,0
00081803	1014,00	32,2	32,8	10,1	56,2	3,2	3,2
00081805	1013,50	32,2	34,2	9,3	60,3	3,3	3,3
00082102	1015,00	28,2	57,6	10,6	55,7	2,9	2,9
00082104	1013,50	27,6	66,9	10,6	55,4	2,8	2,8
00082201	1019,00	25,8	51,9	10,7	55,5	3,0	3,0
00082203	1016,50	27,7	46,5	10,3	58,1	2,9	2,9
00082205	1015,00	29,4	37,3	10,0	52,7	3,0	2,9
00082402	1022,50	28,5	62,9	10,5	59,5	2,8	2,8
00082404	1020,00	30,0	54,3	10,3	57,7	3,0	3,0
00082406	1019,00	30,2	55,7	10,2	57,2	3,0	3,0

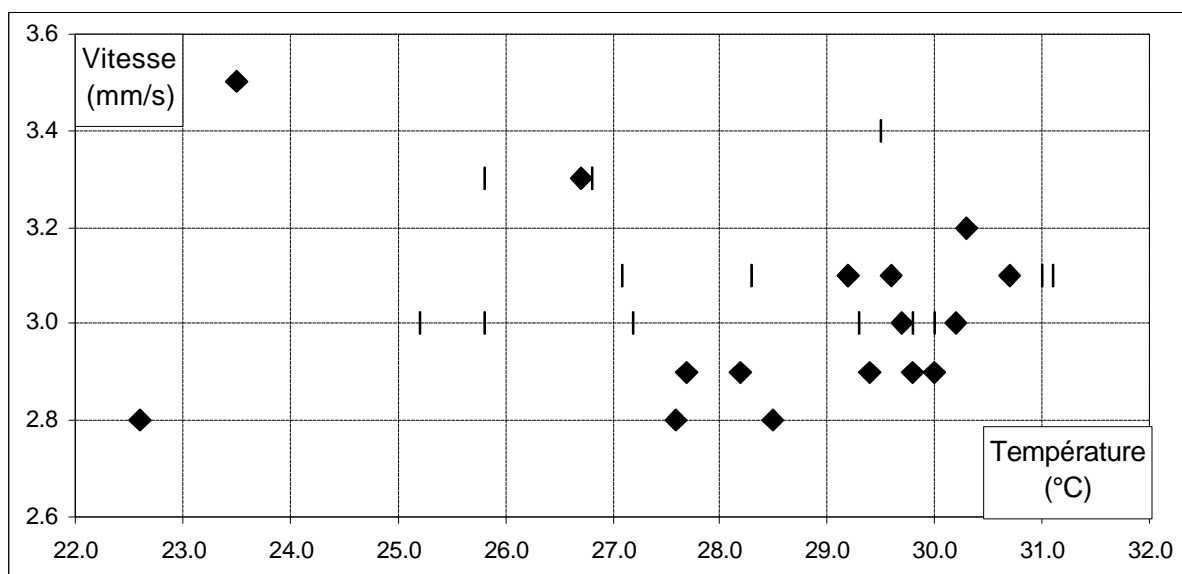
### 3.2.2 Statistiques élémentaires

	Air ambiant			Combustible		Front de feu	
	Pression (hPa)	Ts (°C)	Humidité relative (%)	Teneur en eau (g hg <sup>-1</sup> )	Epaisseur (mm)	Vitesse 1 à 10 (mm s <sup>-1</sup> )	Vitesse 1 à 9 (mm s <sup>-1</sup> )
Nombre	32,00	32,00	32,00	32,00	32,00	32,00	32,00
Minimum	1013,50	22,60	32,80	7,90	52,70	2,80	2,80
Maximum	1022,75	32,20	72,90	10,70	67,50	3,40	3,50
<b>Moyenne</b>	<b>1017,55</b>	<b>28,57</b>	<b>50,86</b>	<b>9,84</b>	<b>58,08</b>	<b>3,07</b>	<b>3,07</b>
Ecart type	2,63	2,28	8,89	0,65	3,16	0,16	0,17
Int. conf.	0,91	0,79	3,08	0,22	1,09	0,06	0,06
CV	0,26	8,00	17,49	6,56	5,43	5,28	5,70

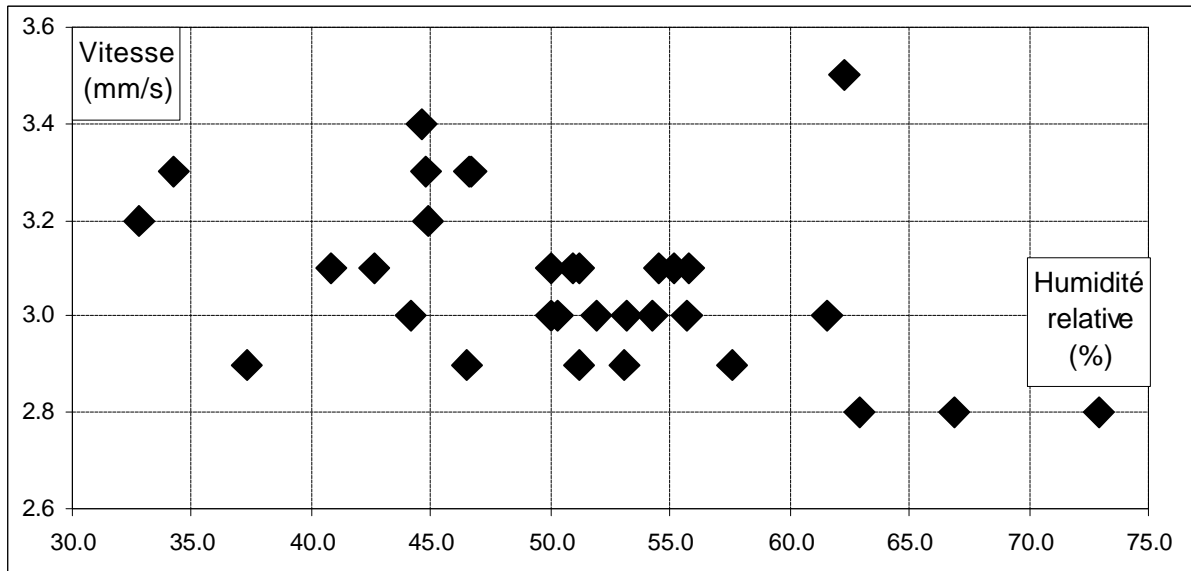
### 3.2.3 Représentations graphiques et corrélations



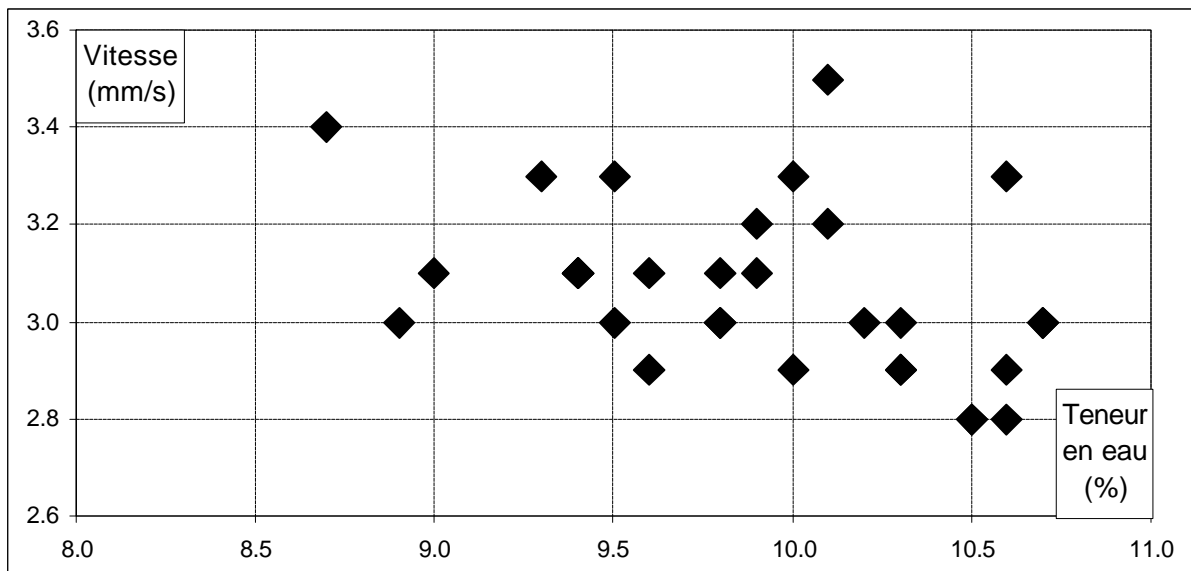
Indice de corrélation : -0,156



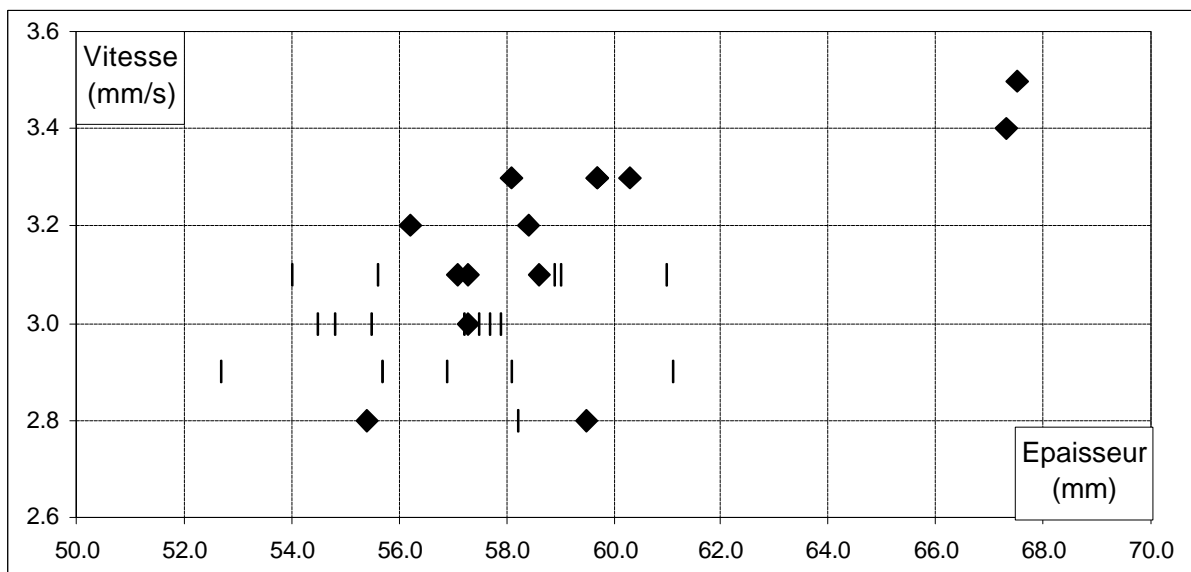
Indice de corrélation : 0,002



Indice de corrélation : -0,429



Indice de corrélation : -0,360



Indice de corrélation : 0,597

### 3.3 Les essais à 20°

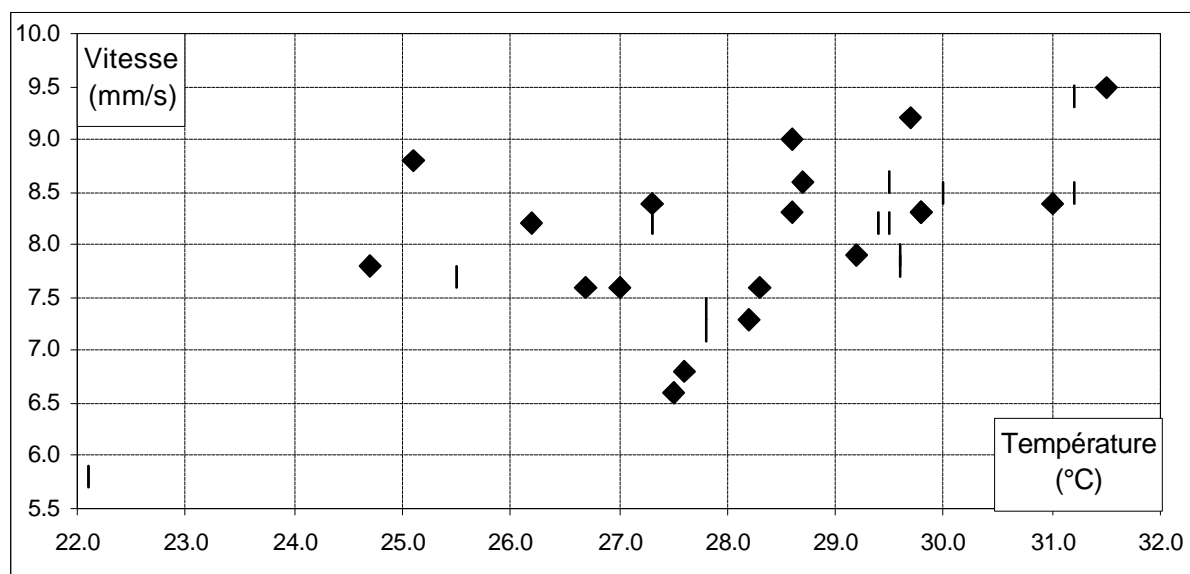
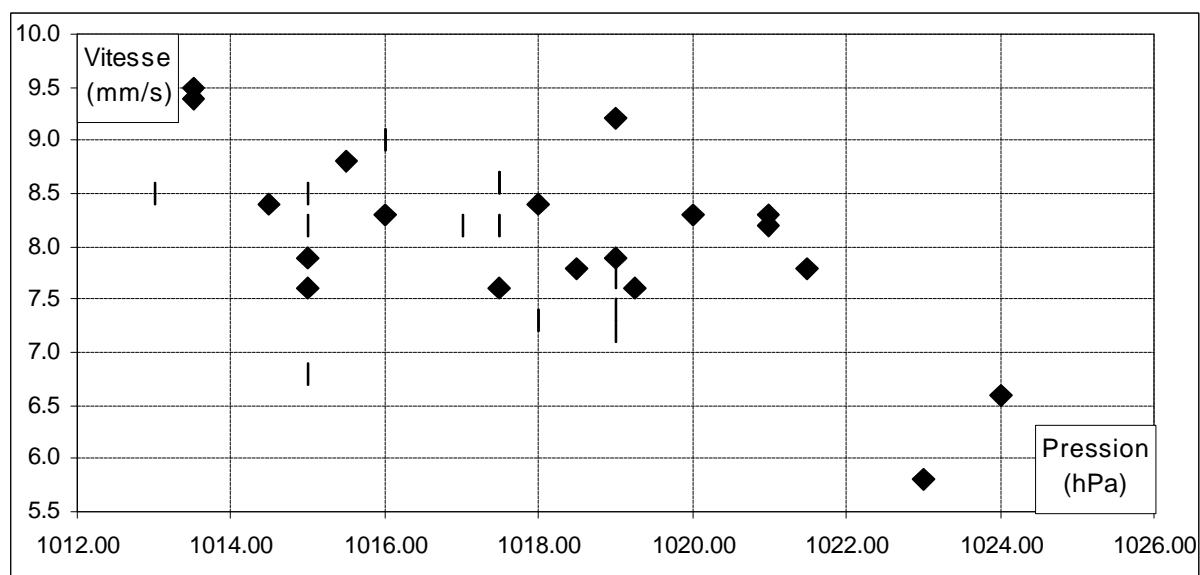
#### 3.3.1 Tableau récapitulatif

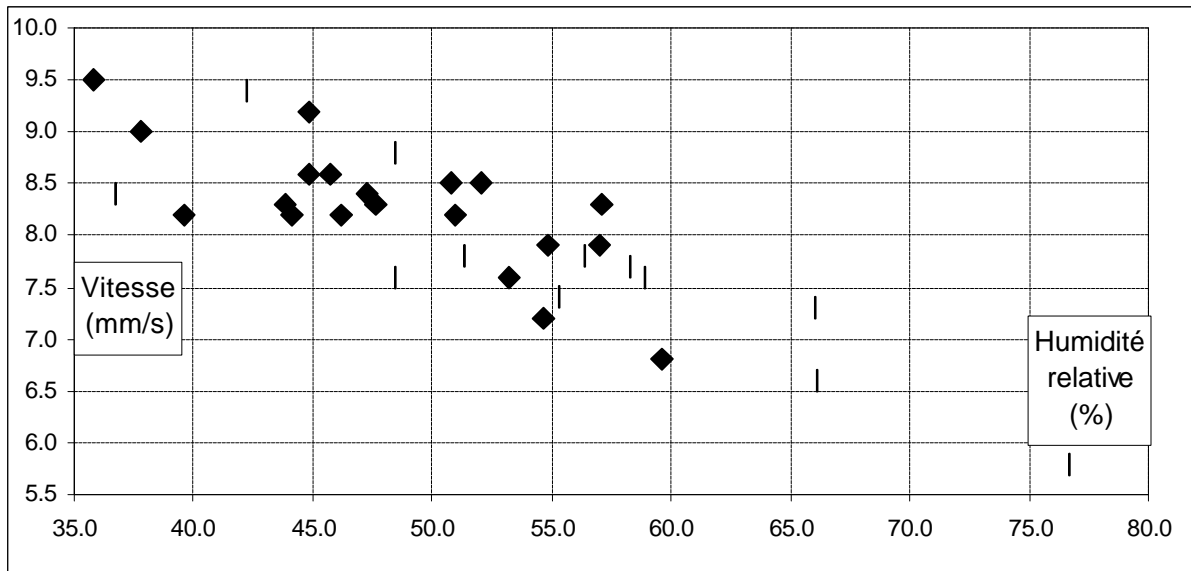
Essai (n°)	Pression (hPa)	Air ambiant		Combustible		Front de feu	
		Ts (°C)	Humidité relative (%)	Teneur en eau (g hg <sup>-1</sup> )	Epaisseur (mm)	Vitesse 1 à 20 (mm s <sup>-1</sup> )	Vitesse 1 à 19 (mm s <sup>-1</sup> )
00072802	1015,50	25,1	48,4	10,0	64,7	8,7	8,8
00073101	1021,00	27,3	51,0	9,1	65,2	8,1	8,2
00073103	1019,00	29,7	44,8	8,0	60,8	9,1	9,2
00080102	1021,00	28,6	47,6	9,1	55,9	8,3	8,3
00080104	1020,00	29,8	43,8	8,5	56,4	8,2	8,3
00080301	1023,00	22,1	76,7	10,5	57,2	5,7	5,8
00080401	1018,50	24,7	51,3	10,6	58,7	7,7	7,8
00080403	1017,00	26,2	44,1	10,2	59,7	8,1	8,2
00080702	1019,00	25,5	58,3	9,7	58,9	7,6	7,7
00080704	1018,00	27,3	47,3	9,3	59,5	8,3	8,4
00080801	1019,25	27,0	53,2	9,5	59,6	7,5	7,6
00080803	1017,50	28,7	44,8	9,4	59,1	8,5	8,6
00080902	1019,00	27,8	55,3	9,7	55,3	7,4	7,4
00080904	1017,50	29,5	45,7	9,3	55,4	8,5	8,6
00081001	1019,00	27,8	54,7	10,3	59,8	7,1	7,2
00081003	1017,50	29,4	46,2	10,3	59,7	8,1	8,2
00081102	1015,00	29,2	54,8	9,6	58,2	7,7	7,9
00081104	1013,00	30,0	50,8	9,5	59,2	8,4	8,5
00081701	1018,00	28,2	66,0	10,1	57,0	7,3	7,3
00081703	1016,00	29,8	57,1	9,9	52,2	8,1	8,3
00081705	1015,00	31,2	52,0	9,5	53,1	8,3	8,5
00081802	1014,00	31,0	36,7	10,3	57,8	8,3	8,4
00081804	1013,50	31,5	35,8	9,7	58,8	9,2	9,5
00081806	1013,50	31,2	42,2	9,1	63,6	9,2	9,4
00082101	1015,00	27,6	59,6	11,1	59,2	6,7	6,8
00082103	1015,00	28,3	58,9	10,7	55,4	7,5	7,6
00082202	1017,50	26,7	48,4	10,4	60,4	7,4	7,6
00082204	1016,00	28,6	37,8	10,2	58,4	8,8	9,0
00082206	1015,00	29,5	39,6	9,6	57,8	8,0	8,2
00082401	1024,00	27,5	66,1	10,5	61,9	6,5	6,6
00082403	1021,50	29,6	56,4	10,5	60,6	7,7	7,8
00082405	1019,00	29,6	57,0	10,2	58,5	7,7	7,9

### 3.3.2 Statistiques élémentaires

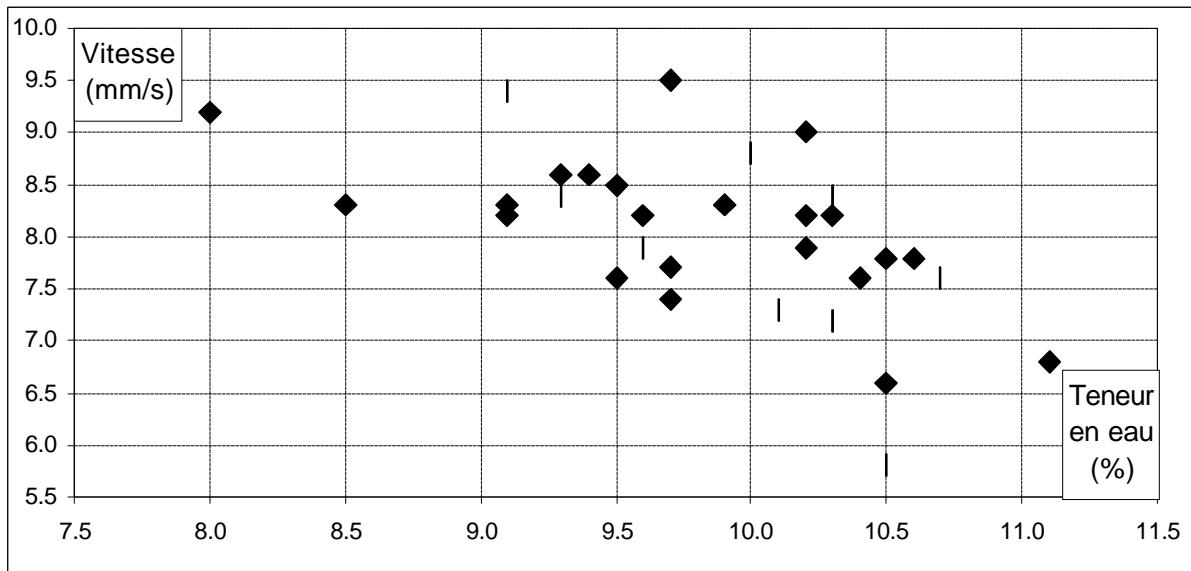
	Air ambiant			Combustible		Front de feu	
	Pression (hPa)	Ts (°C)	Humidité relative (%)	Teneur en eau (g hg <sup>-1</sup> )	Epaisseur (mm)	Vitesse 1 à 20 (mm s <sup>-1</sup> )	Vitesse 1 à 19 (mm s <sup>-1</sup> )
Nombre	32,00	32,00	32,00	32,00	32,00	32,00	32,00
Minimum	1013,00	22,10	35,80	8,00	52,20	5,70	5,80
Maximum	1024,00	31,50	76,70	11,10	65,20	9,20	9,50
<b>Moyenne</b>	<b>1017,60</b>	<b>28,31</b>	<b>51,01</b>	<b>9,83</b>	<b>58,69</b>	<b>7,93</b>	<b>8,05</b>
Ecart type	2,76	2,08	9,05	0,67	2,87	0,77	0,79
Int. conf.	0,96	0,72	3,14	0,23	1,00	0,27	0,28
CV	0,27	7,35	17,75	6,78	4,90	9,72	9,87

### 3.3.3 Représentations graphiques et corrélations

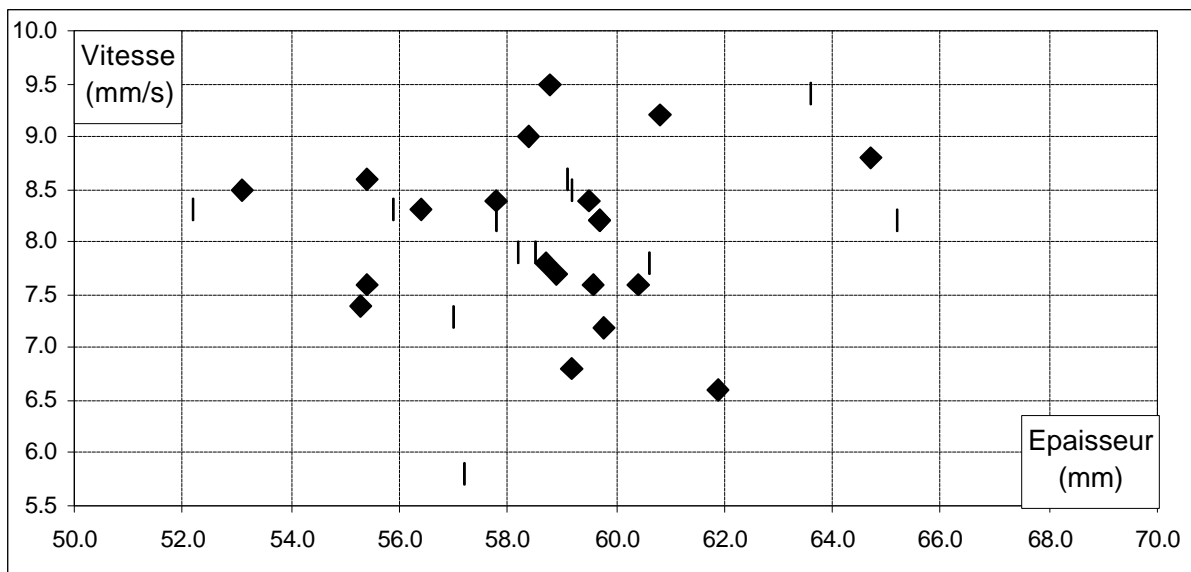




Indice de corrélation : -0,847



Indice de corrélation : -0,584



Indice de corrélation : 0,116

## 4 ANNEXES

## 4.1 La fiche d'essai

<b>SERIE 0002</b>		<b>P.1</b>	
Date			
Numéro de l'essai (aammjjnn)			
Heure de l'essai			
<b>Particule combustible</b>			
Type		Aiguilles de Pin maritime	
		Triées	
		Séchées à l'air	
<b>Couche combustible</b>			
Charge anhydre (kg/m <sup>2</sup> )		1	
Largeur (m)		1	
Longueur (m)		2	4
Pente (°)		0	20
<b>Humidité du combustible</b>			
Poids frais + tare (g)			
Poids sec (g)			
Tare (g)			
Teneur en eau par rapport au poids sec (%)			
<b>Caractéristiques de l'air</b>			
Pression (hPa)			
Température sèche (°C)			
Température humide (°C)			
Ventilation (Normale : 0,79, Forcée : 0,65)			
EWTS (hPa)			
EWTM (hPa)			
ETS (hPa)			
Humidité relative (%)			
Déficit saturation (hPa)			
Température point de rosée (°C)			
<b>Repérage vidéo</b>			
Numéro de la cassette SVHS			
Début enregistrement sur la bande (hh.mn.ss)			
<b>Observations</b>			

**SERIE 0002****P.2****ESSAI :** \_\_\_\_\_

Position (N°)	Bande		Epaisseur couche	
	Début (mm)	Fin (mm)	h1 (mm)	h2 (mm)
1	0	200		
2	200	400		
3	400	600		
4	600	800		
5	800	1000		
6	1000	1200		
7	1200	1400		
8	1400	1600		
9	1600	1800		
10	1800	2000		
11	2000	2200		
12	2200	2400		
13	2400	2600		
14	2600	2800		
15	2800	3000		
16	3000	3200		
17	3200	3400		
18	3400	3600		
19	3600	3800		
20	3800	4000		

**SERIE 0002****P.3****ESSAI :** \_\_\_\_\_

Position (N°)	Fil	Temps de passage	
	Distance (mm)	(mn : ss)	(s)
0	0		
1	200		
2	400		
3	600		
4	800		
5	1000		
6	1200		
7	1400		
8	1600		
9	1800		
10	2000		
11	2200		
12	2400		
13	2600		
14	2800		
15	3000		
16	3200		
17	3400		
18	3600		
19	3800		
20	4000		

**4.2 Le fichier Excel****SERIE 0002****P. 1**

Date	28/07/2000
Numéro de l'essai (aammjjnn)	00072802
Heure de l'essai	14:33:30

**Particule combustible**

Type	Aiguilles
Espèce	Pin maritime
Triage	oui
Séchage	à l'air

**Couche combustible**

Charge anhydre (kg/m <sup>2</sup> )	1
Largeur (m)	1
Longueur (m)	4
Pente (°)	20

**Humidité du combustible**

Poids frais + tare (g)	67.189
Poids sec (g)	55.501
Tare (g)	6.153
Teneur en eau par rapport au poids sec (%)	10.0

**Caractéristiques de l'air**

Pression (hPa)	1015.5
Température sèche (°C)	25.1
Température humide (°C)	17.7
Ventilation (Normale : 0,79, Forcée : 0,65)	0.65

EWTS (hPa)	31.85
EWTM (hPa)	20.24
ETS (hPa)	15.43
Humidité relative (%)	48.4
Déficit saturation (hPa)	16.43
Température point de rosée (°C)	13.5

**Repérage vidéo**

Numéro de la cassette SVHS	2000-02
Début enregistrement sur la bande (hh.mn.ss)	00:13:20

**Observations**

Mistral modéré  
Flammes de 1,25 m de hauteur  
extinction 617 s

SERIE 0002

P. 2

Position (N°)	Bande		Epaisseur de la couche		
	Début (mm)	Fin (mm)	h1 (mm)	h2 (mm)	hm (mm)
1	0	200	50	64	57.0
2	200	400	58	54	56.0
3	400	600	64	65	64.5
4	600	800	62	78	70.0
5	800	1000	71	79	75.0
6	1000	1200	71	54	62.5
7	1200	1400	79	59	69.0
8	1400	1600	86	60	73.0
9	1600	1800	67	77	72.0
10	1800	2000	68	55	61.5
11	2000	2200	71	53	62.0
12	2200	2400	69	69	69.0
13	2400	2600	67	63	65.0
14	2600	2800	72	56	64.0
15	2800	3000	73	71	72.0
16	3000	3200	71	61	66.0
17	3200	3400	59	65	62.0
18	3400	3600	68	56	62.0
19	3600	3800	63	48	55.5
20	3800	4000	59	53	56.0

Epaisseur moyenne de la couche de combustible

Moyenne	64.7 mm
Ecart Type	8.8 mm
Intervalle de confiance	2.7 mm

Masse volumique de la couche de combustible

15.5 kg/m<sup>3</sup>

Masse volumique de la particule

677 kg/m<sup>3</sup>

Rapport de compacité de la couche de combustible

0.0228 (-)

SERIE 0002

P. 3

Position (N°)	Fil		Temps de passage			Délai(i) T - Ti-1 (s)	Vf(i) (mm/s)
	Distance (mm)		en mn et s		en s		
			(mn)	(s)	(s)		
0	0		0	0	0		
1	200		0	19	19	19	10.3
2	400		0	50	50	31	6.5
3	600		1	17	77	27	7.4
4	800		1	46	106	29	6.9
5	1000		2	10	130	24	8.3
6	1200		2	30	150	20	10.0
7	1400		2	53	173	23	8.7
8	1600		3	17	197	24	8.3
9	1800		3	37	217	20	10.0
10	2000		4	1	241	24	8.3
11	2200		4	17	257	16	12.5
12	2400		4	40	280	23	8.7
13	2600		5	4	304	24	8.3
14	2800		5	30	330	26	7.7
15	3000		5	54	354	24	8.3
16	3200		6	13	373	19	10.5
17	3400		6	37	397	24	8.3
18	3600		6	57	417	20	10.0
19	3800		7	17	437	20	10.0
20	4000		7	54	474	37	5.3

Vitesse moyenne de propagation à partir du délai mis par le feu pour parcourir le plateau

Moyenne

8.4 mm/s

Vitesse moyenne de propagation à partir de la distance parcourue en fonction du temps  
fils 1 à 19

Résultats du calcul de la régression

8.77095453 -81.4859985

0.08019408 21.5026819

0.99858087 43.6269163

11962.1448 17

22767643.8 32356.233

Coefficient m

8.8 mm/s

Coefficient b

-81.5 mm

Coefficient de régression

0.999