



L'Hydraulique au service de la protection des forêts contre l'incendie



Rapport d'étude

Avril 2002

Résumé de l'étude

L'objectif de cette étude est de fournir aux élus et techniciens concernés un outil d'aide à la décision leur permettant :

- de mieux comprendre les principes d'actions des différents équipements et matériels hydrauliques existants sur le marché utilisables dans le cadre de la Défense des Forêts Contre l'Incendie,
- de mieux cerner l'influence de ces matériels sur les mécanismes de propagation des feux de forêts,
- de répertorier les critères à prendre en compte dans le choix d'un matériel spécifique,
- de les orienter vers le matériel le mieux adapté en fonction de l'objectif poursuivi et des besoins auxquels devra répondre l'installation.

Dans un premier chapitre, l'étude reprend et explique les mécanismes de propagation d'un feu de forêt. Cette partie énumère également les différentes actions envisageables pour combattre leur extension (actions sur le combustible, le comburant, la chaleur) et permet de mieux comprendre en quoi l'utilisation de l'eau peut avoir une influence significative sur chacune d'entre elles.

Le deuxième chapitre aborde le sujet de la prévention et de la défense des forêts contre l'incendie en région méditerranéenne. Il reprend d'abord les particularités du milieu méditerranéen. Son climat, sa végétation et son relief (jouant chacun un rôle majeur dans l'éclosion et la progression des feux) sont propices à la naissance de feux de forêt spécifiques qui nécessitent des stratégies de prévention et de lutte adaptées. Ces différentes stratégies sont résumées dans ce chapitre. Elles dépendent de l'étendue de la zone concernée et se répartissent en plusieurs catégories : les stratégies à l'échelle zonale, régionale ou départementale, les stratégies à l'échelle d'un massif forestier (PIDAF) et les stratégies à l'échelle de la commune (PPRif). La fin du chapitre rappelle la place indispensable de l'eau dans une stratégie globale aussi bien dans le cadre de la prévention que dans le cadre de la lutte.

La troisième partie de l'étude expose l'ensemble des équipements et moyens hydrauliques utilisables dans le cadre de la prévention et la défense des forêts contre l'incendie. L'eau doit avant tout être stockée. La première partie du chapitre aborde les différents moyens de stockage en fonction de leurs caractéristiques (dimension, type d'alimentation...). Il faut ensuite transporter l'eau avec le débit recherché et à la pression nécessaire. Il existe pour cela différents types de pompes centrifuges et de canalisations qui font l'objet de la deuxième partie de ce chapitre qui dresse également un inventaire des points d'eau sous pression existants (poteaux d'incendie, bornes agricoles...). La troisième partie du chapitre est consacrée à l'étude des matériels spécifiques de protection et de lutte. Elle détaille le fonctionnement de chaque procédé ainsi que ces caractéristiques générales.

Tous les matériels étudiés sont repris sous la forme de fiches techniques récapitulatives présentées en annexe du document. Ces fiches présentent, par catégorie et par type de matériel, une description du principe de fonctionnement, les caractéristiques techniques et les contraintes de mise en œuvre (données constructeurs), un ordre de grandeur de l'investissement financier.

Le dernier chapitre recense tous les points importants à étudier avant de choisir et de mettre en place une installation hydraulique de DFCl. Cette partie est principalement orientée vers l'aide à la décision. Après avoir déterminé le risque sur une zone donnée, il faudra étudier un certain nombre de facteurs qui permettront d'orienter le choix vers le procédé le plus adapté aux conditions de site, aux besoins de l'installation mais aussi aux conditions économiques présentes et futures de l'installation.

Table des matières

RESUME DE L'ETUDE	2
TABLE DES MATIERES	3
CHAPITRE I LE FEU DE FORET : MECANISMES PHYSIQUES ET PRINCIPES D'ACTIONS	7
1- MECANISMES PHYSIQUES D'UN FEU DE FORET	8
1.1 LE MILIEU COMBUSTIBLE	8
1.2 LE COMBURANT.....	9
1.3 DESCRIPTION DES MECANISMES DE PROPAGATION	9
1.3.1 De la chaleur.....	9
1.3.2 Du feu.....	10
1.3.3 D'un incendie	11
1.3.4 Effet du vent.....	11
1.3.5 Effet de la pente.....	11
1.4 PUISSANCE D'UN FEU	12
1.4.1 Calcul de la puissance d'un front par la formule d'Alexander.....	12
1.4.2 Rayonnement thermique.....	12
1.5 COMPLEXITE DU PHENOMENE	13
2- LES PRINCIPES D'ACTIONS SUR UN FEU DE FORET – ROLE DE L'EAU –.....	14
2.1 ACTIONS SUR LE COMBUSTIBLE	14
2.1.1 Le débroussaillage.....	14
2.1.2 Rôle de l'eau.....	15
2.2 ACTION SUR LE COMBURANT	15
2.2.1 Etouffement du feu.....	15
2.2.2 Rôle de l'eau.....	15
2.3 ACTION SUR LA CHALEUR	16
2.3.1 Rôle de l'eau au niveau de la température du combustible.....	16
2.3.2 Rôle de l'eau au niveau de la transmission de chaleur.....	16
2.3.2.1 Les retardants.....	16
2.3.2.2 L'effet de la brume	16
CHAPITRE II PREVENTION ET DEFENSE DES FORETS CONTRE L'INCENDIE EN REGION MEDITERRANEENNE	18
1- LES SPECIFICITES DU MILIEU MEDITERRANEEN	19
1.1 LE CLIMAT	19
1.2 LE RELIEF.....	20
1.3 LA VEGETATION	21
1.4 LES RESSOURCES EN EAU	22

Photographies de la page de garde : 1- C. Tailleux, 2- Circosc, 3- Y. Collet / Escota, 4- SCP

2- LES STRATEGIES DE PREVENTION ET DE LUTTE	22
2.1 A L'ECHELLE ZONALE, REGIONALE ET DEPARTEMENTALE	23
2.2 A L'ECHELLE DU MASSIF FORESTIER : LES PIDAF	23
2.3 A L'ECHELLE DE LA COMMUNE : LES PPRIF	24
3- L'EAU ELEMENT INDISPENSABLE D'UNE STRATEGIE GLOBALE	24
<u>CHAPITRE III L'HYDRAULIQUE AU SERVICE DE LA PROTECTION ET DE LA DEFENSE DES</u>	
 FORETS CONTRE L'INCENDIE	26
1- LE STOCKAGE DE L'EAU	27
1.1 LES RESERVES DE TRES GRANDE CAPACITE	27
1.2 LES RETENUES COLLINAIRES	27
1.2.1 L'alimentation.....	28
1.2.2 Caractéristiques de l'aménagement.....	29
1.3 LES BASSINS.....	29
1.3.1 L'alimentation.....	30
1.3.2 Caractéristiques de l'aménagement.....	30
1.4. LES CITERNES	30
1.4.1 Les citernes métalliques.....	30
1.4.1.1 Alimentation et options.....	30
1.4.1.2 Caractéristiques de l'aménagement.....	31
1.4.2 Les citernes en béton	31
1.4.2.1 Alimentation et options.....	31
1.4.2.2 Caractéristiques de l'aménagement.....	31
2- LE TRANSPORT ET L'ALIMENTATION SOUS PRESSION.....	32
2.1 LA STATION DE POMPAGE.....	32
2.1.1 Energie requise.....	32
2.1.2 Types de pompe	32
2.1.3 Les motopompes.....	33
2.2 LES CANALISATIONS.....	33
2.2.1 Un compromis entre diamètre de canalisation et débit.....	33
2.2.2 Choix du matériau	34
2.2.3 Comparaison entre les canalisations.....	35
2.3 LES POINTS D'EAU SOUS PRESSION.....	35
2.3.1 Les poteaux et les bouches d'incendie.....	35
2.3.2 Les bornes agricoles.....	37
2.3.3 Les R.I.A. forestiers (ou dévidoirs forestiers).....	37
3- LES SYSTEMES DE PROTECTION SPECIFIQUES.....	37
3.1 LES SYSTEMES FIXES DE PREVENTION ET DE LUTTE.....	38
3.1.1 La brumisation®	38
3.1.1.1 Le brouillard d'eau.....	38
3.1.1.2 Les effets de la brumisation sur le milieu ambiant.....	39
3.1.1.3 Les effets de la brumisation sur la propagation de chaleur.....	40
3.1.1.4 La mise en place du système :	41

3.1.1.5 Retour d'expérience du dispositif :.....	41
3.1.1.6 Conclusion :	41
3.1.2 L'aspersion	42
3.1.2.1 Les asperseurs agricoles classiques et leurs dérivés.....	42
3.1.2.2 Les asperseurs spécifiques à la DFCI :	43
3.1.2.3 Les extincteurs autonomes:	44
3.1.3 Les détecteurs	45
3.1.4 Modes de déclenchement.....	45
3.2 LES SYSTEMES MOBILES DE LUTTE	46
3.2.1 Les bombes BEAXTIN®	46
3.2.2 Les tuyaux explosifs 2RS-System®	46
3.2.3 Bilan de l'utilisation des moyens d'extinction par explosion.....	47
CHAPITRE IV L'AIDE A LA DECISION.....	48
1- LA NECESSITE DE REPRECISER LES RISQUES ET LES ENJEUX.....	50
1.1 LES CAUSES	50
1.2 L'EVALUATION DES ALEAS	51
1.2.1 Définition	51
1.2.2 Aléa de référence.....	51
1.2.3 Analyse des composantes d'un aléa.....	52
1.2.4 L'évaluation et la qualification de l'aléa.....	53
1.3 LA DEFINITION DES ENJEUX	54
1.3.1 Les enjeux existants.....	54
1.3.2 Les enjeux futurs.....	55
1.4 LA DETERMINATION DES RISQUES	55
1.4.1 Par combinaison des aléas et des enjeux.....	55
1.4.2 La notion de secteur à risque	56
2- LA CONCERTATION AVEC LES ACTEURS CONCERNES	56
3- LES CRITERES A PRENDRE EN COMPTE (CHOIX D'UN MATERIEL SPECIFIQUE).....	57
3.1 LES CONDITIONS DE SITES.....	57
3.2 SURVEILLANCE ET DECLENCHEMENT.....	58
3.3 L'ENTRETIEN.....	58
3.3.1 Les contraintes liées au site	59
3.3.2 La préparation du matériel au changement de saison.....	59
3.3.3 La sûreté de fonctionnement.....	59
3.3.4 Les contrats d'entretien.....	60
3.4 LE COUT TOTAL D'INVESTISSEMENT	60
3.5 LE COUT DE FONCTIONNEMENT.....	60
4- VERS UN CHOIX RAISONNE.....	60
CONCLUSION GENERALE	62
ANNEXES	63

Introduction

Au cours des 10 dernières années, d'importants progrès ont été réalisés en matière de prévention et de lutte contre les incendies de forêts. Si la tendance à la baisse des superficies brûlées annuellement semble se confirmer depuis 1991 notamment grâce à la mise en œuvre d'une politique de prévention plus adaptée, il convient toutefois de garder à l'esprit, qu'en présence de conditions météorologiques défavorables, des incendies de grande ampleur peuvent encore détruire d'importantes surfaces forestières.

La sensibilité au feu reste en effet l'une des principales caractéristiques des espaces forestiers de la région Provence Alpes Côte d'Azur. L'augmentation du taux de boisement, la fermeture progressive des milieux, conséquence de la déprise agricole; un nombre toujours croissant de départs de feu incitent à la plus grande vigilance et à la poursuite de la politique de prévention mise en œuvre par le ministère de l'agriculture et de la pêche en liaison avec les ministères de l'intérieur, de l'aménagement du territoire, de l'environnement, les collectivités territoriales et les propriétaires forestiers.

La mise aux normes des aménagements préventifs, le perfectionnement des équipements et la recherche de nouveaux dispositifs de surveillance et d'intervention font partie des orientations de cette politique. C'est dans ce cadre que s'inscrit cette étude dont le but est de procéder à un inventaire et à une analyse de l'ensemble des matériels hydrauliques utilisables au titre de la prévention et de la lutte contre les incendies de forêts.

Le diagnostic réalisé a pour objectif principal de fournir aux élus et techniciens concernés un outil d'aide à la décision leur permettant :

- de mieux comprendre les principes d'actions des différents équipements et matériels existants sur le marché,
- de mieux cerner leur influence sur les mécanismes d'éclosion et de propagation des feux de forêts,
- de répertorier les critères à prendre en compte dans le choix d'un matériel spécifique,
- de les orienter vers le matériel le mieux adapté en fonction de l'objectif poursuivi et des besoins auxquels devra répondre l'installation.

Répondant à la demande de plusieurs partenaires (Collectivités locales, Conseils Généraux, Conseil Régional, élus des communes forestières...), cette étude a été réalisée par la Société du Canal de Provence et d'Aménagement de la Région Provençale qui dispose d'une expérience de plus de 15 ans dans le domaine de l'hydraulique appliquée à la DFCI en collaboration avec le Centre d'Essais et de Recherche de l'Entente Interdépartementale, organisme de référence en matière de recherche appliquée dans le domaine de la prévention et de la lutte contre les incendies de forêts.

Cette étude a été cofinancée par le ministère de l'Agriculture dans le cadre des Actions de Diversification et de Développement Rural (ligne 6184) et par le Conseil Régional Provence Alpes Côte d'Azur.

Son suivi a été assuré par un comité de pilotage réunissant les principaux acteurs de la DFCI en région méditerranéenne : Services d'Incendie et de Secours, Direction Régionale de l'Agriculture et de la Forêt, Universitaires, Cemagref, INRA, Conseil Régional, Conseils Généraux...

CHAPITRE I :

Le feu de forêt :
mécanismes physiques et principes d'actions

L'étude du matériel hydraulique appliqué à la prévention et à la lutte contre les incendies de forêts nécessite de bien comprendre le comportement et l'évolution d'un feu.

Depuis quelques années, de nombreuses équipes de recherche travaillent sur les différentes problématiques liées aux incendies de forêt (INRA, CEREN, LEMTA, IUSTI, Cemagref, ONF, CNRS, ...).

L'ensemble des explications concernant le comportement d'un feu de forêt présenté ci-dessous s'appuie sur les documents suivants :

- chapitre 4 du "Guide Technique du Forestier Méditerranéen Français" édité par le Cemagref
- Dupuy J.L : "Les apports possibles de la physique du feu à la conception et à l'entretien des coupures combustible" : Forêt méditerranéenne tome XXI n°4p 457 à 506
- Giroud.F, "Contribution à la modélisation de la propagation du feu", Thèse, 1997
- Drouet J.C , Application des modèles de propagation , 1997

1 Mécanismes physiques d'un feu de forêt

Pour apparaître et se propager, le feu a besoin de trois éléments : un combustible (la végétation forestière), un comburant (l'oxygène de l'air) et un flux de chaleur pour porter le combustible à une température initiale suffisamment élevée

1.1 Le milieu combustible

Le milieu combustible est essentiellement représenté par la végétation forestière. Il se répartit en quatre strates distinctes :

- **la litière** ou couverture morte, formée de débris végétaux tombés à terre (feuilles mortes, rameaux...)
- **la strate herbacée**, formée par les plantes annuelles et les plantes dont seule la partie souterraine est vivace (plantes à bulbes ou à rhizomes). En fin de période de végétation, les parties aériennes se dessèchent et constituent une couverture morte très inflammable. Le Brachypode rameux fait partie de cette strate.
- **le ligneux bas**, formé par des arbustes et des jeunes arbres de moins de deux mètres (chêne Kermès, arbousier, argeiras). Abondant en forêt méditerranéenne, on l'appelle usuellement la broussaille. Il constitue l'essentiel de la garrigue et du maquis.
- **le ligneux haut**, de plus de deux mètres de haut, essentiellement constitué par des taillis feuillus (chêne vert, chêne pubescent) et des futaies résineuses (pin d'Alep, pin sylvestre).

Les combustibles possèdent deux caractéristiques essentielles qui vont permettre de les différencier :

- **la teneur en eau** : elle joue un rôle important puisque, avant de pouvoir alimenter une combustion, le combustible doit avoir perdu toute son eau par évaporation, puis avoir émis par pyrolyse des gaz inflammables (terpènes).

La quantité de chaleur alors consommée par l'évaporation de l'eau (chaleur latente d'évaporation) est très importante : 2255 Joules par gramme d'eau. Les végétaux riches en eau sont donc peu inflammables et peu combustibles. La teneur en eau de la litière et des végétaux morts dépend uniquement de phénomènes physiques : échange par capillarité avec le sol et équilibre avec la teneur en eau (sous forme vapeur) de l'atmosphère située en contact immédiat avec la litière.

- **Le rapport surface-volume** du combustible : plus l'épaisseur ou le diamètre d'une particule est faible, plus la surface de contact avec l'air sera importante par rapport à son volume. Ce paramètre, appelé rapport surface-volume de la particule, est essentiel puisque tous les échanges entre les particules et le gaz, mécanismes essentiels de la propagation du feu, lui sont proportionnels. Les plantes à feuilles très fines et nombreuses (bruyères) brûlent mieux que les plantes à grosses feuilles coriaces (arbusiers).

En pratique, lors du passage d'un front de flamme, ce sont principalement les feuilles, les aiguilles et les rameaux de moins de 3 millimètres de diamètre qui brûlent. Les rameaux plus importants peuvent ensuite brûler plus lentement en arrière du front de feu et participent ainsi à la libération d'énergie thermique : ils sont sans intérêt pour le feu.

1.2 Le comburant

L'inflammation est le résultat de l'apparition d'une réaction exothermique brutale entre le combustible et le comburant. Afin que les flammes se produisent, il faut que l'indice d'oxygène (pourcentage d'oxygène contenu dans le milieu ambiant) soit supérieur à 15,75%. Les braises n'ont besoin que de 10,5% d'oxygène pour se consumer. De plus, le vent permet un réapprovisionnement en oxygène du milieu ambiant, participant ainsi à l'entretien du feu en renouvelant l'air frais.

1.3 Description des mécanismes de propagation

1.3.1 De la chaleur

La chaleur se propage par trois processus distincts : la conduction, la convection et le rayonnement.

- **La conduction** : échange d'énergie entre une région de température élevée et une région de basse température. Il se traduit par un transfert de proche en proche par des chocs élastiques où les molécules de plus haute énergie en laissent une partie aux autres de moindre énergie. Le phénomène de conduction est régi par la loi de Fourier où le flux de chaleur va dépendre du gradient de température. La conduction joue un rôle mineur dans la progression du feu mais elle peut, en revanche, donner lieu à **une reprise ultérieure** de l'incendie.
- **La convection** : sous l'effet de la chaleur, un fluide (ou un gaz) va se dilater. Cette augmentation de volume va engendrer le déplacement du fluide permettant ainsi le transfert de chaleur. Le phénomène de convection permet d'évacuer 80 à 90% de la chaleur sous forme de gaz brûlés et d'air chaud. Des colonnes d'air chaud s'élèvent dans le ciel, emportant ainsi une grosse quantité d'énergie perdue pour l'incendie. En revanche, lorsque le feu monte une pente forte, la convection contribue alors à dessécher la végétation accélérant ainsi la progression du feu.

- **Le rayonnement** : d'après l'**hypothèse de Maxwell**, tout corps présentant une température absolument non nulle (0°Kelvin) émet une énergie rayonnante sous la forme d'une onde électromagnétique. Les rayonnements sont formés à l'intérieur du corps chaud et sont émis dans toutes les directions à travers la surface du corps. Dans ce processus d'échange, la quantité d'énergie rayonnante augmente rapidement avec la température de l'objet en ignition. D'après la **loi de Stephan**, le flux de chaleur émis par rayonnement est proportionnel à sa température à la puissance quatre (T^4). Étant une onde électromagnétique, le flux d'énergie émis par une source ponctuelle et reçu par une surface donnée est inversement proportionnel au carré de la distance ($1/d^2$).

1.3.2 Du feu

On considère qu'un feu se propage dans une direction X à travers une strate de végétation. Pour décrire les mécanismes de base, il faut regarder l'évolution d'un petit volume de combustible au fur et à mesure qu'on l'approche du feu, puis dans le foyer et enfin derrière le foyer.

Loin en avant du foyer, le combustible reçoit de l'énergie par **rayonnement** et s'échauffe. Étant plus chaud que l'air ambiant, il perd une partie de cette énergie vers le milieu ambiant, par convection et par rayonnement. Le processus de vaporisation commence alors et l'évolution de la température du combustible reste alors limitée jusqu'à la fin du processus de séchage (processus endothermique). Dès que l'eau (libre) s'est complètement évaporée, le combustible continue alors à s'échauffer. Il est chauffé par convection et par rayonnement.

Dès que sa température dépasse environ 300°C , une dégradation très rapide du milieu solide a lieu : c'est la **pyrolyse** qui libère des gaz combustibles. En contact avec l'oxygène, ces gaz sont alors enflammés par la moindre étincelle, et les réactions chimiques de combustion libèrent de l'énergie en quantité considérable qui permet alors d'entretenir l'ensemble du processus de propagation : les transferts thermiques vers le combustible imbrûlé.

La pyrolyse se poursuit et une partie du matériau solide reste à l'état solide : ce sont les résidus charbonneux. À l'arrière du front de flamme, lorsque l'oxygène est suffisamment présent (dans le foyer, tout l'oxygène est utilisé par l'inflammation des gaz), la combustion de ces résidus charbonneux a lieu, formant des braises qui évoluent jusqu'à l'état de cendres.

L'énergie libérée par la combustion des produits de pyrolyse provoque un échauffement important du mélange gazeux dans le foyer (plus de 1000°C juste au-dessus du foyer). Sous l'influence de la chaleur, les gaz se dilatent considérablement et leur densité devenant inférieure à la densité de l'air ambiant, ils sont mis en mouvement par les forces de flottabilité (équivalent à la poussée d'Archimède). Animés par des mouvements ascendants sous l'influence de ces forces, les gaz chauds vont s'élever dans les airs en créant une dépression (appel d'air). Celle-ci va entraîner une aspiration d'air "frais" dans le plan horizontal, notamment en avant du front de flamme. Ce phénomène permet de réalimenter le milieu en oxygène indispensable à la combustion du foyer.

De plus, cette situation où les gaz chauds sont produits en dessous de l'air ambiant frais entraîne des instabilités dans les écoulements d'air et de gaz : l'air frais descend tandis que les gaz chauds montent. Ces écoulements deviennent turbulents à partir d'une certaine hauteur au-dessus du sol, rendant ainsi plus difficile la modélisation des phénomènes dus au feu.

Ce que l'on dénomme couramment la flamme n'est en fait que la partie visible de ces gaz chauds. Suite à la pyrolyse, des particules très fines et très riches en carbone, des suies, se forment dans le milieu gazeux. Ces particules, qui ont une température de l'ordre de celle

des gaz, émettent une grande quantité d'énergie radiative. Elles rayonnent dans un spectre qui va jusqu'au longueur d'onde du visible contribuant donc fortement au rayonnement de la flamme.

1.3.3 D'un incendie

Le feu commence à se développer au niveau de la litière (couverture morte et herbes sèches) en restant très modéré et facile à éteindre. Il prend ensuite de l'ampleur lorsqu'il atteint la strate des broussailles. La hauteur de flamme atteignant 1,5 fois à 3 fois la hauteur de la strate en combustion. Il peut ensuite atteindre les cimes des ligneux hauts et les embraser si la broussaille est suffisamment haute ou alors si des branches basses, des lichens ou des écoulements de résine font **le relais**.

Le feu peut également se transmettre de cime en cime. Dans un peuplement dense situé en pente forte, les flammes couchées par le vent peuvent embraser directement les cimes des arbres situées plus haut.

Les matières en ignition (brandons), emportées par les courants de convection (vers le hauts) et par le vent (vers l'avant), peuvent retomber au sol plusieurs centaines de mètres en avant du front de feu et enflammer la litière : le feu semble progresser par bonds.

1.3.4 Effet du vent

Selon Jean-Luc DUPUY, les mouvements de gaz et d'air ambiant se produisent forcément, même en absence de vent. Lorsqu'un vent fort est imposé, à une certaine distance du feu, il modifie les écoulements naturellement engendrés par la combustion ou réciproquement on peut dire que le feu modifie les écoulements ambiants. Il participe évidemment à l'apport d'air frais et donc d'oxygène. Mais surtout il change l'orientation des gaz.

En particulier, si le vent est dans la direction de propagation du feu, -ce qui est généralement le cas-, les gaz chauds pourront, sous l'effet des turbulences, s'écouler vers l'avant du front de feu, jusqu'à une distance qui pourra croître avec la force du vent. Ceci amplifie donc l'advection de chaleur en direction de la végétation imbrûlée, accélérant son échauffement et son dessèchement par un processus d'échanges convectifs.

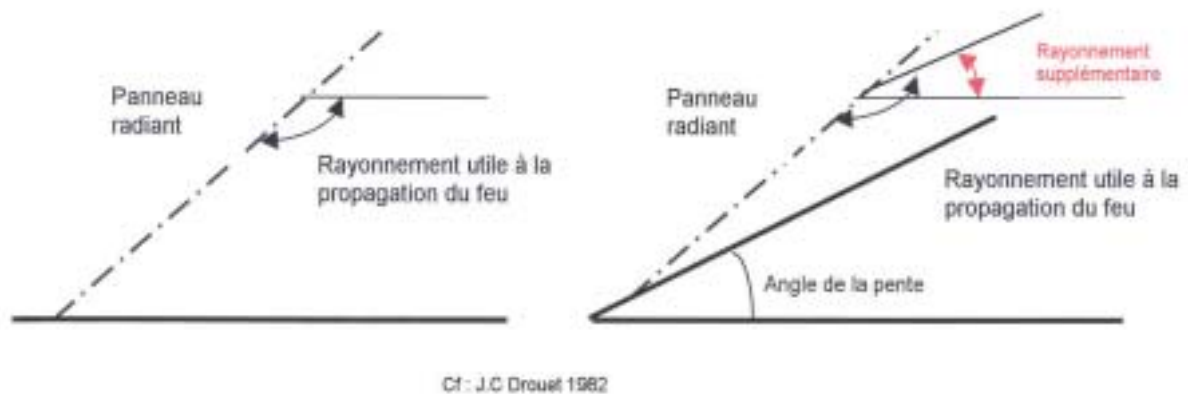
Il peut aussi transporter des brandons qui vont enflammer la litière quelques dizaines voir quelques centaines de mètres plus loin, entraînant la propagation du feu par bonds.

1.3.5 Effet de la pente

Pour un feu montant une pente, les forces de flottabilité s'exercent dans une direction verticale qui forme un angle d'autant plus fermé avec la direction de propagation du feu que la pente est forte.

De manière analogue à l'effet du vent, on pourra ainsi observer des écoulements de gaz chauds depuis le foyer vers la végétation encore imbrûlée, ceci jusqu'à une certaine distance en avant du front qui doit s'accroître avec la pente.

Plus la pente est grande, plus le rayonnement utile à la propagation du feu est important. La pente exerce une influence considérable sur la vitesse de propagation du feu.



1.4 Puissance d'un feu

1.4.1 Calcul de la puissance d'un front par la formule d'Alexander

Proposée en 1982, la formule d'Alexander est tirée de la formule de Byram ($P = H_c \cdot R \cdot W$, 1959). Elle permet de calculer la puissance théorique d'un front de flamme en fonction de la vitesse de propagation du front et de la masse de combustible par mètre consommé à l'état sec. Alexander a montré que l'on peut remplacer dans la formule de Byram, la chaleur de combustion du combustible, H_c en kJ/kg, par une valeur moyenne de 18700 kJ/kg.

$$P = 18700 \times R \times W$$

P = puissance thermique en kW/m

R = vitesse du front en m/s

W = quantité de combustible en kg/m²

D'après cette formule, un incendie se propageant à 1,8 km/h et brûlant 1 kg/m² de combustible, développe une puissance de 9350 kW/m.

1.4.2 Rayonnement thermique

La puissance d'un feu est importante car le rayonnement thermique du front de flamme dépend directement de celle-ci. Le rayonnement reste actuellement une clé capitale pour l'engagement des moyens de lutte sur une coupure.

A une distance de 20 à 30 mètres, le rayonnement thermique d'un front de flamme de feu puissant est de l'ordre de plusieurs Watts par cm², c'est à dire de 10 à 50 fois le rayonnement solaire au Sahara en plein été en plein midi.

D'après DUPUY (2000), pour un front de flamme de 50 mètres de longueur et une température de rayonnement de 1000°C, la distance de survie d'un homme "peau nue" est de 110 mètres, soit un flux d'énergie de 1 kW/m². Un pompier équipé peut survivre à une distance de 50 mètres recevant un flux d'énergie de 7 kW/m².

Le rayonnement transporte une telle quantité d'énergie, qu'il est capable d'enflammer des objets à distance (voir § 2.3.1). Le danger vient principalement du fait que le rayonnement n'est pas précédé d'une augmentation de température et de nombreuses personnes ont péri ainsi.

Les Etats Unis appliquent certaines règles concernant le rayonnement thermique :

- Au niveau de la **sécurité des hommes** : le rayonnement thermique est considéré comme dangereux (entraînant blessures graves, voire la mort), malgré le port de vêtements de sécurité, jusqu'à une distance égale au moins à 4 fois la hauteur des flammes (Butler 1997). Ce dernier préconise même de multiplier encore la distance par 4.
- Au niveau de la distance d'embrasement : d'après Pyne et al. (1996), les radiations thermiques peuvent transmettre le feu à une distance de 1,5 fois la hauteur des flammes (voir aussi § 1.3.1). Il faut donc que la largeur des pare-feux soit supérieure si on ne veut pas que le feu se transmette de part et d'autre de la coupure de combustible.

D'après Trabaud (1989), la hauteur des flammes (H en mètre) serait liée à la puissance du feu (P en kW/m) par la formule:

$$P = 300 H^2$$

1.5 Complexité du phénomène

La complexité des phénomènes réside dans l'existence de nombreux mécanismes physiques et chimiques de bases qui sont fortement couplés. Lorsqu'un paramètre influant sur le feu varie, il n'est pas toujours possible de prévoir les effets de cette variation.

Depuis de nombreuses années, principalement dans les régions méditerranéennes, on essaie de comprendre et d'avancer des théories sur l'évolution et la propagation des feux de forêt. Aux phénomènes physiques et chimiques propres au feu, s'ajoutent d'autres paramètres liés au terrain (couloirs d'accélération, reliefs, vent dominant, aérologie...). Ces derniers sont difficilement abordables d'un point de vue théorique et il faudra pour toutes les études utiliser au maximum l'expérience de terrain des acteurs concernés (forestiers, sapeurs pompiers...).

Malgré la complexité de ce phénomène, de nombreux modèles de propagation sont développés à ce jour. Cependant, très peu d'entre eux sont validés. Les premiers modèles sont apparus dans les années 60. Weber (1991) a classé la plupart des modèles existants en trois catégories :

La première est constituée de modèles statistiques qui ne prennent en compte aucun mécanisme physique mais décrivent statistiquement des feux tests. Ces modèles ne peuvent pas être appliqués dans des conditions différentes à celles du test, ce qui restreint beaucoup leur domaines d'application.

Une seconde catégorie regroupe les modèles empiriques. Basés sur le principe de la conservation de l'énergie, ils ne différencient pas les modes de transfert de l'énergie. Ils utilisent des grandeurs déterminées expérimentalement telle que la quantité globale d'énergie.

Enfin une troisième catégorie concerne les modèles physiques. Ils ont la particularité de prendre en compte tous les modes de transfert de la chaleur. Ils utilisent plus de moyens mathématiques et physiques.

A l'heure actuelle, le seul modèle utilisé de manière opérationnelle dans les Bouches du Rhône est le modèle semi-empirique mis au point par J-C DROUET. Il utilise à la fois des résultats d'expériences et à la fois des moyens physiques et mathématiques.

2 Les principes d'actions sur un feu de forêt – Rôle de l'eau –

L'équilibre d'un feu peut être imagé par un triangle dont les sommets représentent les éléments indispensables à sa propagation et même à sa survie.

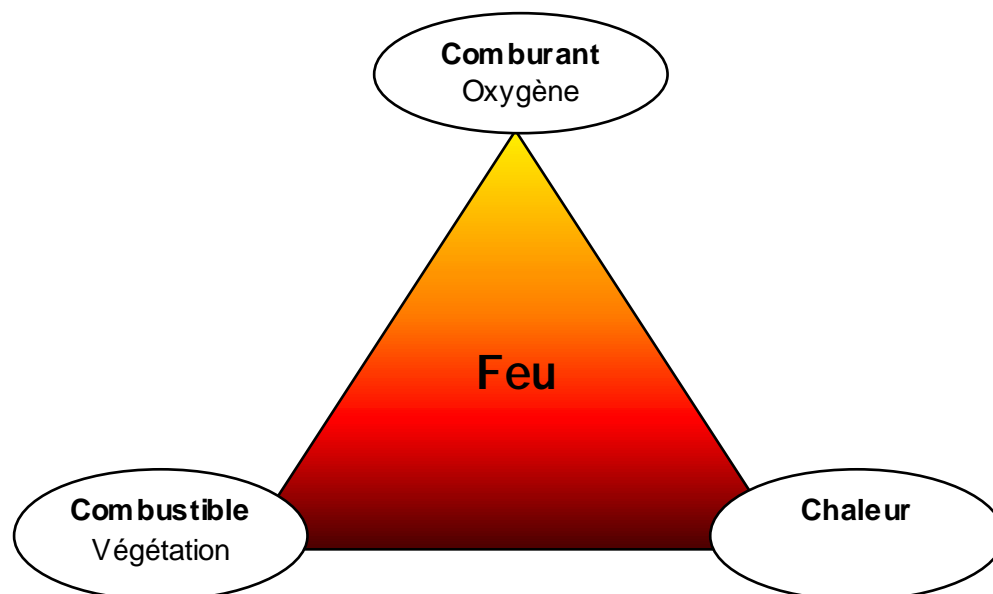


Figure 1 : triangle du feu

Des actions visant à réduire l'un voir plusieurs des ces éléments , entraînent un affaiblissement plus ou moins important du feu. Si l'un des trois sommets manque le feu disparaît.

La Protection de la Forêt Contre l'Incendie (PFCI) comporte un ensemble d'actions de prévention et de lutte visant à empêcher que les feux ne se développent ainsi qu'à limiter les conséquences des incendies. Les actions peuvent être de deux types : active (lutte), ou passive (action de prévention).

2.1 Actions sur le combustible

2.1.1 Le débroussaillage

D'après le "Guide Technique du Forestier Méditerranéen Français" édité par le Cemagref, les discontinuités dans la répartition du combustible ralentissent la progression du feu. En effet, les flammes doivent émettre suffisamment de chaleur pour dessécher et engendrer une pyrolyse de la végétation présente sur l'autre bord avant que cette dernière s'enflamme. Si la discontinuité est suffisamment large, le feu s'arrête. L'action sur le combustible consiste donc à créer des discontinuités horizontales (enlèvement de la végétation sur une bande d'une certaine largeur), ou à constituer des discontinuités verticales (enlèvement des ligneux bas ou branches basses).

Des études faites aux Etats Unis ont permis d'établir une règle empirique sur la discontinuité horizontale : il faut nettoyer jusqu'au sol minéral une bande de largeur au moins égale à 1,5 fois la hauteur des flammes (Pyne et al. 1996, voir § 1.4.2).

Des exemples montrent les carences du système :

- saut de feu (brandons et pommes de pin)
- animaux enflammés...

Si on considère au niveau de la propagation de la chaleur le flux reçu par rayonnement, la mise en place de coupure de combustible peut poser des problèmes. Le rayonnement, d'après la théorie, transporte de très grande quantité de chaleur. Il peut donc entraîner, avec **l'action du vent**, le dessèchement et la pyrolyse des végétaux. Cette pyrolyse produit des gaz hautement inflammables (terpènes...) qui n'ont pas forcément besoin d'une flamme pour prendre feu mais simplement d'une étincelle ou d'une température élevée (auto inflammation). En retirant une partie de la végétation au niveau de la coupure, on réduit considérablement l'alimentation du feu en masse de combustible, mais on **facilite la propagation des rayons infrarouges** contribuant ainsi à la propagation d'un important flux de chaleur.

Les coupures ont aussi **un effet sur le vent**, puisqu'il n'est plus ralenti par un écran de végétation. Il transporte donc les brandons sur une distance plus importante et augmente la distance parcourue par les courants de convection.

Il faut donc bien étudier la mise en place des coupures de combustible afin de ne pas obtenir l'effet contraire à celui recherché (ralentissement voire arrêt du feu).

2.1.2 Rôle de l'eau

L'apport d'eau à la végétation permet de diminuer le stress hydrique des végétaux et d'augmenter leur teneur en eau (c'est le rapport de la masse d'eau contenue par le végétal en kg sur la masse de matière sèche en kg).

L'énergie requise pour assécher des végétaux contenant plus d'eau est alors plus importante (c'est la première phase de propagation d'un feu), retardant ainsi le processus de pyrolyse.

Néanmoins, une utilisation intensive de l'eau en prévention augmente la production de biomasse végétale assurant l'alimentation du feu.

2.2 Action sur le comburant

2.2.1 Etouffement du feu

L'étouffement du feu a pour objectif d'empêcher tout contact entre l'air et le combustible. Plusieurs moyens peuvent être utilisés en fonction de la puissance du feu. Lors de l'éclosion d'un feu ou sur des braises, on peut jeter de la terre ou du sable ce qui réduit la superficie de combustible exposée à l'air.

2.2.2 Rôle de l'eau

Pour les feux plus importants, on arrose le foyer avec de l'eau qui va se vaporiser au contact de la matière en ignition en absorbant une quantité importante d'énergie. La vapeur produite

réduira l'arrivée d'air sur le combustible : il ne faut pas oublier que l'indice d'oxygène dans le milieu ambiant doit être au minimum de 15,75% (voir § 1.2).

L'utilisation de mousses (eau + produits chimiques) permet d'enrober le combustible empêchant ainsi tout contact avec l'air.

2.3 Action sur la chaleur

2.3.1 Rôle de l'eau au niveau de la température du combustible

Réduire la température du combustible consiste à envoyer de l'eau, plus ou moins pulvérisée. Son évaporation absorbe alors une grande quantité de chaleur, réduisant la température de l'aérosol, de l'air, des flammes et du combustible. L'addition de produit chimiques (moussants et retardants) augmente l'efficacité de l'arrosage.

- point éclair: température à laquelle le combustible s'enflamme au contact d'une flamme mais le feu ne peut subsister sans la flamme.
- température d'inflammation: c'est la température que doit atteindre un combustible (gaz, solide, liquide) pour prendre feu au contact d'une flamme ou d'une étincelle et pour subsister.
- température d'auto inflammation: à cette température, le combustible s'enflamme spontanément sous l'effet de la chaleur. Il n'y a pas besoin d'étincelles.

La situation la plus avantageuse est celle où la température du milieu ambiant est en dessous des températures d'inflammation et d'auto inflammation. Mais les quantités d'eau nécessaires à la maîtrise, au contrôle et à l'extinction d'un incendie de forêt sont considérables. Pour un incendie d'une puissance de 10000 kW/m, il faut théoriquement projeter sur le front de feu (1/3 dans le brûlé et 2/3 dans le vert) 30 litres/seconde/mètre (Drouet, 1996) pour arrêter sa progression.

2.3.2 Rôle de l'eau au niveau de la transmission de chaleur

Toutes les actions visant à réduire le flux de chaleur émis par un feu, permettent de ralentir l'augmentation de la température ambiante mais aussi la quantité d'énergie reçue par un corps. Dans ce cas on constate un ralentissement du dessèchement des végétaux qui entraîne par conséquent un effet retardant sur la pyrolyse.

Ces actions doivent porter soit sur le rayonnement qui transporte une quantité importante d'énergie, soit sur les courants de convection qui transportent les gaz chauds. Les courants de convection, ayant une densité plus faible que le milieu ambiant, vont avoir tendance à monter (§ 1.3.1), ils seront donc moins efficaces dans la propagation d'un feu au sommet de colline et dans la descente que dans une montée. C'est un facteur important à prendre en compte dans la stratégie de lutte. Les techniques les plus couramment utilisées sont :

2.3.2.1 Les retardants :

Un composé est qualifié d'agent retardant si par action physique ou chimique, il est capable de diminuer la vitesse de propagation d'un foyer et d'abaisser son intensité.

- **à court terme** : leur durée d'efficacité n'excède pas 30 mn voire 1 heure. L'effet retardant sera uniquement dû à la capacité de rétention d'humidité que possède le composé. Cela se traduit sur le feu par une action de refroidissement du milieu, due

au phénomène d'évaporation de l'eau. Cet effet est qualifié de "court terme" étant donné que l'action du retardant cesse dès que l'eau s'est évaporée.

Ce sont soit des mouillants (produits tensio-actifs) soit des substances colloïdales (argiles) qui aident les gouttelettes d'eau à adhérer à la végétation. L'eau ne tombera pas au sol immédiatement et protégera la végétation plus longtemps.

- **à long terme** : ils ont une durée d'efficacité de 2 à 6 heures, voir plusieurs jours si les conditions météorologiques sont bonnes (pas de pluies entraînant le lessivage du produit...). Contrairement aux retardants à court terme, l'eau n'a plus un rôle prépondérant mais seulement celui de solvant (ou de vecteur). La partie active du produit est principalement due aux composés chimiques qui les constituent.

2.3.2.2 L'effet de la brume :

L'eau, divisée sous forme de gouttelettes, forme un brouillard qui a ainsi la propriété d'absorber très rapidement une quantité d'énergie colossale par échange thermique. Le brouillard d'eau a de plus la propriété de diffracter le rayonnement infrarouge jusqu'à son absorption totale.

Par ces deux principaux facteurs, le brouillard d'eau absorbe la quasi-totalité du rayonnement thermique, ce qui empêche l'élévation de la température et l'inflammation des combustibles voisins.

CHAPITRE II

Prévention et défense des forêts contre l'incendie en région méditerranéenne

1- Les spécificités du milieu méditerranéen

Les conditions particulières rencontrées en région méditerranéenne (climat, relief, végétation...) sont souvent à l'origine ou contribuent pour une part importante au développement de feux de forêt spécifiques qui nécessitent la mise en œuvre de stratégies de prévention et de lutte adaptées.

1.1 Le climat

La région méditerranéenne se définit avant tout par son climat* qui se caractérise par :

- une pluviosité concentrée sur l'automne et l'hiver,
- des pluies d'été rares et violentes qui sont mal utilisées par la végétation,

Tableau 1 : Précipitations moyennes mensuelles et annuelles

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Hauteur (mm)	46	46	41	47	43	27	12	32	59	76	55	53	537

La période de plus forte pluviosité correspond à l'automne. Les précipitations sont très faibles en été et atteignent un minimum en juillet.

- des étés chauds et secs,
- des hivers doux à gelées rares sur le littoral,

Tableau 2 : Températures moyennes mensuelles et annuelles

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Température °C	6.6	7.7	10.3	13.4	17.1	20.8	23.7	23.3	20.2	15.8	10.6	7.5	14.7

Les jours de gel sont peu nombreux (moyenne annuelle de 33 jours).

- une insolation importante notamment au cours des mois d'été

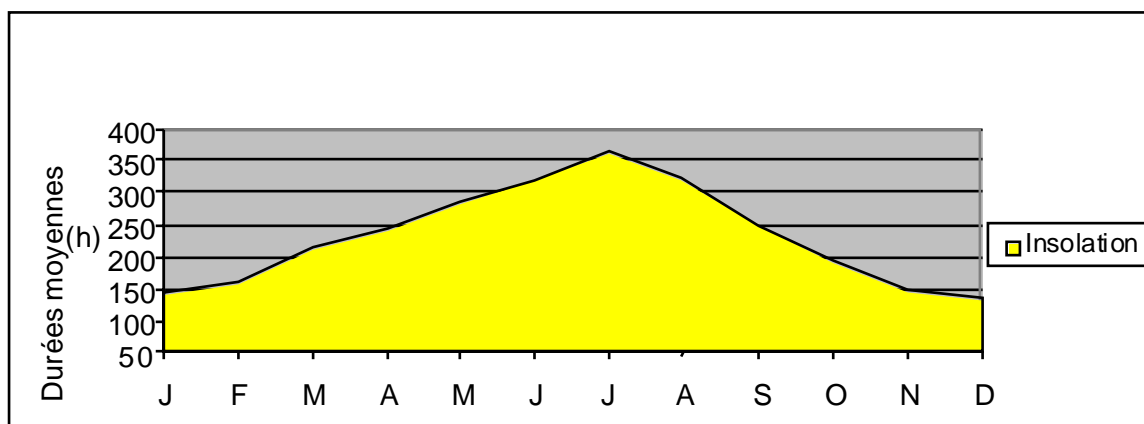


Figure 2 : Durée moyenne d'insolation par mois

* Les données utilisées pour l'analyse climatologique proviennent de la station météo de Maignane (altitude 5,5m). Les moyennes présentées sont calculées sur une période représentative de 52 ans : de 1946 à 1998.

- des vents pouvant atteindre des vitesses supérieures à 100 km/h

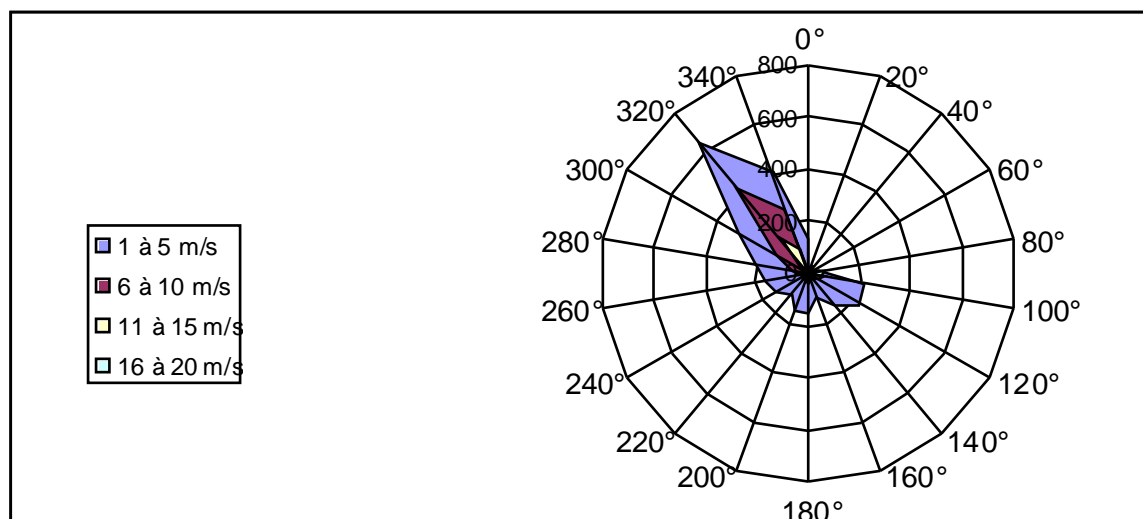


Figure 3 : Rose des vents

Le mistral est le vent dominant. C'est un vent violent (il peut atteindre plus de 120km/h en rafale), de direction NW froid et sec. Il modifie l'état hygrométrique de l'air et du sol et contribue fortement à la xéricité du secteur. Il peut constituer un facteur limitant pour le développement de la végétation.

La région est soumise tout au long de l'année, à des courants Nord ou Sud - Mistral, Tramontane , Sirocco -, qui contribuent à accroître une évaporation déjà très vive pouvant atteindre 1 cm par 24 heures. L'action du vent et de la chaleur entraîne une **évapotranspiration** (ETR) moyenne de 6,7 mm par jour pendant 10 jours :

1.2 Le relief

Il joue un rôle important dans la propagation des feux. En effet, la nature de la roche en place (lithologie) structure le relief qui influe sur la circulation des masses d'air, et donc sur le climat.

Sur ce sujet, le Cemagref[†] propose une cartographie des "petites régions naturelles", découpage qui découle de la juxtaposition des ensembles climatiques et lithologiques présents en région méditerranéenne. Bien que le relief s'accompagne d'une complexité climatique et lithologique qu'il convient d'examiner au cas par cas, à l'échelle de la zone à protéger, il ressort que son influence est primordiale pour l'analyse du risque.

L'aérologie, combinaison du vent et du relief est en effet un des facteurs principaux à étudier pour apprécier le développement et la propagation possible des feux. De façon générale, le relief crée un enroulement du vent dans le sens inverse des aiguilles d'une montre ce qui implique des phénomènes aérologiques très différents entre les versants nord et les versants sud :

- dans les zones les plus escarpées, l'effet pente se combine à l'effet du vent et accélère la propagation du feu depuis les piémonts vers les crêtes. Derrière les crêtes, des phénomènes de turbulence apparaissent créant des zones d'accalmie.

[†] Cemagref, Guide technique du forestier méditerranéen, chapitre "Stations forestières"

- dans les zones vallonnées, les phénomènes sont plus complexes, le vent dominant pouvant même parfois changer radicalement de direction créant des "couloirs de feu", passages préférentiels de l'incendie.

Ces quelques éléments montrent que le parcours d'un feu peut considérablement varier en fonction de la nature du relief présent. La mise en place d'un schéma hydraulique de protection efficace devra donc prendre en compte ce facteur essentiel dans la propagation d'un incendie de forêt.

1.3 La végétation

La dégradation des formations forestières (notamment à cause des incendies), aboutit fréquemment à la constitution de deux formations physionomiquement et floristiquement différenciées, typiques de l'actuel paysage, et qui sont hélas toutes deux très sensibles aux incendies :

- *la garrigue*, formation buissonnante et ouverte : à Chêne Kermès sur les calcaires durs, la plus aride, difficile à reboiser; à Romarin sur les calcaires marneux, accueillant volontiers le Pin d'Alep.

- *le maquis*, sur les sols non calcaires, retenant mieux l'eau. C'est une formation dense qui couvre le terrain et qui est susceptible d'être revalorisée par le Chêne-liège et le Pin maritime.

Le type de végétation est influencé par les variations climatiques mais aussi par l'exposition, avec une opposition très nette entre l'adret et l'ubac.

La végétation méditerranéenne présente de nettes adaptations à la sécheresse (xérophyte) :

- feuilles coriaces, charnues, duveteuses ou petites, collées aux rameaux (ceux ci sont parfois chlorophylliens et capables de remplacer les feuilles);
- tissus à pression osmotique élevée, riches en essences et huiles odoriférantes (terpènes...);
- rythme de végétation avec un repos en été, une reprise d'activité dès l'automne qui ne fait que ralentir pendant l'hiver avant de redevenir intense au printemps.

Cette végétation, dont la teneur en eau est déjà relativement faible, est donc plus particulièrement vulnérable à l'approche d'un front de flamme (rayonnement, phénomènes convectifs complexes...).

La mise en œuvre de tout équipement hydraulique devra donc prioritairement se prévoir sur des secteurs où une intervention sur la végétation en place aura été pratiquée : bande débroussaillée de sécurité (BDS), coupures agro-sylvo-pastorales, ligne de combat préparée à l'avance pour lutter contre les grands incendies de forêts (LICAGIF), zones débroussaillées autour des habitations...

Ces aménagements dont le but est de diminuer la puissance d'un feu afin de permettre l'intervention des services d'incendie et de secours verront ainsi leur efficacité augmenter par la présence d'un équipement hydraulique permettant le réapprovisionnement des véhicules de secours (citernes, retenues...), voire l'arrêt complet du feu (matériels spécifiques d'aspersion).

1.4 Les ressources en eau

Les particularités du climat méditerranéen agissent sur les ressources en eau entraînant la disparition de nombreux cours d'eau durant la saison critique et diminuant considérablement les ressources disponibles pour la végétation. En conséquence, les zones sensibles les plus sensibles aux incendies se trouvent par leur relief et leur topographie les moins bien pourvues en la matière.

En l'absence de ressources locales et hormis les possibilités d'approvisionnement par les précipitations qui restent aléatoires, le transport d'eau en forêt ou la mise en place d'aménagement spécifiques (réseaux sous pression, station de pompage) restent des solutions relativement onéreuses.

La mise en place d'équipements hydrauliques implique donc en amont une réflexion sur un usage optimisé des ressources en eau disponibles localement : nappes, sources, cours d'eau permanents ou temporaires, canaux, eaux usées, etc. La démarche systématique qui doit être entreprise doit permettre :

- d'évaluer les ressources en eau souterraine, en eau de surface et en eaux usées et analyser leurs conditions optimales d'utilisation,
- de concevoir des systèmes simples permettant de garantir une bonne disponibilité en eau aux services d'incendie et de secours,
- d'étudier des systèmes adaptés en fonction des contraintes liées aux zones concernées : protection individuelle des habitations, interface forêt-habitat, protection de la forêt stricto sensu,
- de choisir des solutions respectant les équilibres naturels.

En complément à leur utilisation au titre de la DFCl, il conviendra également de valoriser au mieux ces équipements par des aménagements (coupures agricoles, cultures à but cynégétiques, sylvo-pastoralisme, plan d'eau à vocation touristique...) qui, au delà de leur participation au développement économique des zones concernées, peuvent contribuer à une réduction significative des coûts d'investissement et de fonctionnement de ces ouvrages.

2- Les stratégies de prévention et de lutte

Depuis une trentaine d'années, les stratégies de protection des forêts contre l'incendie associent les techniques de prévention aux techniques de lutte contre le feu, qu'elles soient terrestres ou aériennes.

Principalement orientée sur la maîtrise des feux naissants, cette politique vise avant tout à assurer la sécurité des biens et des personnes par :

- la résorption des causes d'incendies connues dont 90 % sont d'origine humaine,
- la mise aux normes des infrastructures de prévention : pistes, points d'eau, vigies...,
- la surveillance accrue des forêts en période de risque permettant une intervention plus rapide sur les départs de feu,
- la prise en compte du risque dans l'aménagement et la gestion de l'espace.

2.1 A l'échelle zonale, régionale et départementale

Ces stratégies générales se décident principalement au niveau zonal, unité territoriale regroupant les quinze départements du sud de la France et regroupés au sein de l'Entente Interdépartementale en vue de la protection des forêts et de l'environnement contre l'incendie.

La zone de défense sud est administrée par un préfet appuyé par la Délégation à la Protection de la Forêt Méditerranéenne, entité regroupant pompiers et forestiers et dont le but est de définir les orientations stratégiques selon deux axes :

- la protection de la forêt par des mesures réglementaires, de gestion ou techniques et par des actions à destination du public,
- la lutte contre les feux par une amélioration des techniques et moyens et par une meilleure formation des hommes

La politique de protection de la forêt contre les incendies s'organise donc autour d'un certain nombre d'actions et de moyens soutenus financièrement par l'Etat (Conservatoire de la Forêt Méditerranéenne), les Régions, les Départements et l'Union Européenne. Cette politique est clairement réaffirmée dans le cadre des Orientations Forestières Régionales définies par le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche et approuvées par la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur.

On peut citer notamment parmi les principaux domaines d'intervention : la recherche, l'information du public, le système de surveillance (terrestre et aérienne), les équipements de terrain (pistes, points d'eau, débroussaillage, coupures stratégiques...), les matériels de lutte (canadairs, hélicoptères bombardiers d'eau, véhicules terrestres...), les moyens humains complémentaires aux services d'incendie et de secours (FSIRAN, sapeurs forestiers, comités communaux feux de forêts...).

Les Schémas Départementaux d'Aménagement des Forêts contre l'Incendie (SDAFI) constituent un document cadre permettant de définir les objectifs et les priorités d'actions à un niveau inférieur. Elaboré sur la base d'une concertation entre les différents services concernés à l'échelon départemental (SDIS, DDAF, Service Départemental de l'ONF...), ils sont généralement orientés vers la création d'équipements nouveaux et l'estimation des investissements financiers qui en découlent.

2.2 A l'échelle du massif forestier : les PIDAF

La stratégie française de prévention s'appuie sur un principe de compartimentage des espaces sensibles par des ouvrages aménagés et équipés afin de constituer des zones d'appui à la lutte. C'est donc à l'échelle du massif forestier, zone continue et homogène du point de vue du risque, que vont se décliner les principales actions de terrain au travers d'un Plan Intercommunal de Débroussaillage et d'Aménagement Forestier (PIDAF).

Institué par la circulaire du 15 février 1980, le PIDAF est un document d'aménagement dont le but est de planifier de manière cohérente l'équipement d'un massif forestier afin de permettre, en cas de feu, une lutte efficace dans des conditions satisfaisantes de sécurité. Il intègre l'ensemble des interactions existantes entre l'espace forestier et les autres activités humaines présentes sur un massif (agriculture, élevage, urbanisme...) et décline les mesures de gestion et de conservation les plus appropriées pour la Défense des Forêts Contre l'Incendie.

Un PIDAF comprend deux phases :

- une phase "étude" qui recense les caractéristiques générales du massif, réalise l'inventaire des équipements existants, analyse les enjeux et les risques dans une optique de DFCI et de gestion forestière et élabore une série de propositions d'actions et d'ouvrages établies en concertation avec l'ensemble des acteurs concernés.
- une phase "travaux" dont le but est la mise en œuvre des actions prévues dans la phase "étude". Elle comprend leur programmation, la recherche de financement, l'animation de la structure, la réalisation concrète des opérations programmées.

Un PIDAF couvre une unité géographique déterminée en fonction des coupures naturelles (différences de continuité dans le couvert végétal, modification du relief, réseau hydrographique...) et anthropiques existantes (infrastructures routières, zones agricoles, urbanisation...) qui délimitent un secteur homogène au regard de la possibilité de propagation d'un incendie. Toutefois, parce que l'unité administrative de base à l'origine du PIDAF est la commune ou un regroupement de communes (SIVU, SIVOM), les PIDAF en région Provence-Alpes-Côte-d'Azur ont dans la majorité des cas (70%), un champ géographique qui suit les limites communales.

C'est à cette échelle de travail (volet hydraulique du PIDAF) que les principales mesures concernant ***l'utilisation des ressources en eau*** (inventaire exhaustif des ressources existantes et propositions d'équipements complémentaires) sont définies.

2.3 A l'échelle de la commune : les PPRif

Afin de permettre le contrôle des installations humaines et de leur interface avec la forêt que ne permet pas le code forestier, le législateur a récemment institué à l'échelle de la commune, des Plans de Prévention des Risques feux de forêts (PPRif).

Le PPRif permet de délimiter les zones concernées par le risque et d'y prescrire des mesures de prévention adaptées à chacune d'elle. Il complète les mesures prises dans les P.O.S. pour prévenir les incendies et vient en complément des documents d'aménagement et de gestion de la forêt.

Il découle d'une analyse du risque basée sur plusieurs critères utilisés isolément ou combinés (historique des feux de forêts, conditions naturelles prédisposantes, développement de l'urbanisation et de l'habitat diffus...) et se traduit par un zonage réglementaire du risque assorti d'un règlement définissant les règles d'urbanisme.

Parmi les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde relatives à l'équipement de DFCI, le PPRif peut prescrire des travaux spécifiques tels que :

- la mise au normes de réseaux et infrastructures publics avec le souci de sécuriser l'intervention en ***maintenant la continuité de la ressource en eau***,
- la création et l'entretien d'équipements de prévention telles que les coupures de combustibles destinées à créer une discontinuité significative au niveau des interfaces forêt-habitat, les pistes d'accès et ***les points d'eau***.

3- L'eau élément indispensable d'une stratégie globale

L'eau, principal moyen d'extinction des incendies en région méditerranéenne, s'inscrit donc à deux titres dans la stratégie globale de DFCI :

- au titre de la prévention en complétant les dispositifs et en sécurisant les zones sensibles,

- au titre de la lutte en assurant le réapprovisionnement des moyens terrestres et aériens

Comme on vient de le voir à la lecture des paragraphes précédents, la mise en place d'équipements hydrauliques est indissociable d'une réflexion d'ensemble sur l'aménagement contre l'incendie d'un espace, quelque soit son niveau d'échelle.

Bien que la nature et la localisation précise des équipements soient généralement décidées dans le cadre d'un PIDAF ou d'un PPRif, les orientations en matière de types d'infrastructures, de niveaux d'équipements (densité) et de zones de défense prioritaires (interface forêt-habitat, coupures de combustibles, protection des établissements recevant du public...) le sont à l'échelon national, zonal ou départemental.

Il en est de même pour les grandes options budgétaires qui sont définies au niveau national (crédits du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, CFM), régional (lignes budgétaires du Conseil Régional), et départemental (Conseils Généraux).

On peut toutefois regretter qu'il n'existe aucune ligne budgétaire spécifique concernant l'hydraulique appliquée à la DFCI. En effet, l'amenée d'eau en forêt et la mise en place d'infrastructures hydrauliques dans un milieu difficile induisent des investissements importants et de ce fait, la plupart des équipements prévus dans le cadre des volets hydrauliques des PIDAF sont fréquemment relégués au second plan par les financeurs.

L'intégration de la composante hydraulique dans les systèmes de prévention et de lutte sera différente en fonction des situations rencontrées et de l'objectif à atteindre :

- quelle est le type de zone à protéger ?
- quelle est la nature du risque dont on veut se prémunir ?
- quelle est la destination du dispositif à mettre en place ?

Ces trois questions sont à la base du processus de réflexion à engager avant toute mise en place effective d'un matériel hydraulique de protection. Elles constituent les éléments clés de l'aide à la décision et sont développées dans le chapitre IV.

Chapitre III

L'hydraulique au service de la protection et de la défense des Forêts Contre l'Incendie

Une série de fiches techniques reprennent en annexe, pour chaque type d'équipement présenté dans ce chapitre, les usages et objectifs auxquels il répond, une description de son fonctionnement, les caractéristiques et contraintes d'utilisation, des commentaires sur son fonctionnement et un ordre de grandeur des investissements liés à sa réalisation.

1- Le stockage de l'eau

Les équipements de stockage de l'eau peuvent avoir des destinations très diverses : ils peuvent, soit être spécifiquement réservés à la protection des forêts contre les incendies, soit à usages multiples (approvisionnement en eau brute ou potable, agriculture, pastoralisme, loisirs...). Ils ont été classés en 4 catégories :

- les réserves de très grandes capacités
- les retenues collinaires
- les bassins
- les citernes

1.1 Les réserves de très grande capacité

Ce sont des lacs (naturels ou artificiels), des canaux ou des cours d'eau permanents. Ils présentent l'inconvénient d'être très inégalement répartis sur le territoire.

Pour qu'ils puissent être utilisés de manière satisfaisante, les lacs, canaux et cours d'eau nécessitent l'aménagement de points de puisage : zone d'approche nécessaire pour la manœuvre et le stationnement des véhicules de lutte, plate-forme d'aspiration minimale de 8 m x 4 m constituée de matériaux drainants, pouvant supporter un poids minimum de 19 tonnes, hauteur d'eau suffisante pour immerger la crépine afin d'assurer l'aspiration. Une eau dont la teneur en matières en suspension (MES) est importante, peut entraîner des problèmes de colmatage du système de pompage.

Les moyens aériens (avions et Hélicoptères Bombardiers d'Eau...) peuvent également utiliser ces plans d'eau sous certaines conditions (longueur minimale de 2000 mètres, largeur de 100 mètres et profondeur de 2 mètres pour les canadiens, absence de végétation ou de lignes électriques situées à proximité directe pour les HBE).

La région Provence Alpes Côte d'Azur dispose d'un nombre important de réserves de ce type : on peut notamment citer les lacs de Ste Croix, de Serre Ponçon, de St Cassien, les canaux EDF, SCP (120 km), SEM, les nombreuses rivières et les cours d'eau permanents. Toutefois, leur localisation géographique, leur accessibilité et le manque d'aménagements spécifiques ne leur permet pas toujours d'être utilisées dans le cadre de la DFCI.

1.2 Les retenues collinaires

Les retenues collinaires sont des ouvrages implantés dans des sites où la topographie particulière permet de créer des réserves d'eau conséquentes. Les travaux consistent généralement à mettre en place un barrage ou une digue dans un vallon ou dans une dépression.

La construction d'une retenue collinaire se justifie si elle répond au besoin de disposer d'une réserve d'eau de capacité très importante, généralement supérieure à 1000 m³.

1.2.1 L'alimentation

L'alimentation peut être assurée en fonction des caractéristiques du site d'implantation par :

- **un cours d'eau :**

Le cours d'eau qui alimente l'ouvrage doit être pérenne pour assurer le remplissage de la retenue notamment pendant les périodes de sécheresse.

Le débit du cours d'eau n'a pas besoin d'être important. L'approvisionnement peut se réaliser soit **directement** avec l'aménagement de la retenue sur le cours d'eau, soit **indirectement** avec l'aménagement d'une dérivation du cours d'eau :

- dans le premier cas, une attention particulière doit être apportée sur les **problèmes de crue** afin de ne pas exposer l'ouvrage à un phénomène naturel dangereux. En amont de la retenue, un ouvrage de décantation (piège à graviers) doit être mis en place afin de bloquer les débris végétaux, les sables et les matières en suspension. Un entretien régulier de cet ouvrage est indispensable.
- dans le second cas, l'équipement ne se situe pas directement sur le cours d'eau, éliminant ainsi les risques de crues. L'alimentation est assurée par la construction d'un petit canal de dérivation. Cette solution permet de placer l'ouvrage à l'endroit le plus adapté stratégiquement, de moduler la capacité de la retenue en fonction des besoins, de doter la retenue d'une bonne accessibilité et d'assurer une mise en charge gravitaire.

- **une source :**

La réflexion est identique à celle décrite ci-dessus, une source pérenne permettant d'assurer le remplissage de la retenue. La qualité de l'eau étant supérieure, la mise en place d'un piège à graviers n'est pas indispensable.

- **un forage :**

Une alimentation par forage nécessite la mise en place d'une pompe utilisant soit l'énergie électrique, soit l'énergie éolienne, soit des accumulateurs rechargés par des panneaux solaires. Pour les mêmes raisons que les cours d'eau ou les sources, le forage doit être pérenne. Le débit n'a pas besoin d'être important, puisque le remplissage de la retenue peut se réaliser en continu.

- **un réseau spécifique :**

Si les ressources en eau existantes sur le site sont insuffisantes, il est possible de mettre en place, à partir d'un point d'eau pérenne, un réseau spécifique alimentant la retenue par une station de pompage. L'installation nécessitera alors la mise en place de canalisations (aériennes ou enterrées). Le remplissage et le maintien à niveau pourra être assuré par un robinet à flotteur.

Une petite station de pompage électrique, fonctionnant la nuit, suffit généralement pour le remplissage et la mise à niveau de la retenue. Cette solution présente l'avantage de diminuer l'investissement initial et les coûts de fonctionnement.

L'investissement lié à la mise en place d'un réseau spécifique se justifie si la retenue répond à d'autres objectifs que celui strictement de DFCI : irrigation , cynégétique, pastoralisme, accueil du public...

1.2.2 Caractéristiques de l'aménagement

Toute retenue collinaire doit être bordée par une zone de manœuvre où les véhicules qui viennent se réapprovisionner, peuvent se déplacer sans se gêner les uns les autres (aire de retournement ou piste de ceinture en périmètre de la réserve).

Afin de répondre aux besoins des services d'incendie et de secours, la réserve doit être accessible aux véhicules de plus de 19 tonnes et disposer d'une plate-forme d'aspiration minimale de 8 m x 4 m constituée de matériaux drainants.

La hauteur d'eau doit être suffisante pour immerger la crépine afin d'assurer l'aspiration. Une eau relativement claire évite les problèmes de colmatage du système de pompage.

1.3 Les bassins

Ce sont des bassins artificiels à ciel ouvert, généralement creusés dans le sol. Leur capacité est comprise entre 120 et 400 m³, mais la configuration du site et les enjeux peuvent justifier la mise en place de bassins de contenance supérieure.

A titre d'exemple, un bassin artificiel alimenté par une station de pompage a été mis en place au domaine départemental de la Nègre (Bouches du Rhône). C'est une zone d'accueil du public située en périphérie directe de Marseille et très sensible aux incendies de forêt (massif de l'Etoile). D'une capacité de 1000 m³, placé en point haut, le bassin permet d'utiliser gravitairement l'eau stockée pour la protection du domaine contre les incendies (alimentation d'un matériel spécifique d'aspersion et de poteaux incendie), mais aussi pour l'irrigation des plantations agricoles et forestières).

L'étanchéité peut être assurée de plusieurs façons :

- soit à l'aide d'une membrane imperméable en polyester (1 mm d'épaisseur),
- soit par l'utilisation de "bentonite" (mélange d'argiles),
- soit par une infrastructure en maçonnerie étanche (béton hydrofuge).

Pour des questions de sécurité et de longévité de l'étanchéité (piétinement d'animaux dans le cas d'une membrane imperméable), le bassin est généralement clôturé. Selon leur capacité et la topographie du site, ce type d'ouvrage peut alimenter gravitairement un ou plusieurs poteaux d'incendie ou un matériel spécifique de défense (brumisation, aspersion).

Des utilisations connexes de ces bassins peuvent également être envisagées (cynégétique, sylvopastoralisme...) si le renouvellement en eau est suffisant. Une sortie en fond de bassin peut permettre d'alimenter un ou plusieurs abreuvoirs. L'utilisation de ces bassins pour l'irrigation de cultures agricoles est moins évidente, principalement à cause de la quantité d'eau disponible.

N.B. : De plus petite capacité (60 m³ environ), les piscines des habitations individuelles peuvent également être utilisées ponctuellement par les services d'incendie et de secours. Toutefois, leur localisation à proximité directe des habitations, l'accessibilité difficile, la présence fréquente de clôture, et les dégâts occasionnés par le passage de véhicules lourds limitent souvent leur intérêt à la protection des biens et des personnes directement concernés.

L'utilisation de ces équipements par un Hélicoptère Bombardier d'Eau est également proscrite pour des raisons de sécurité.

1.3.1 L'alimentation

Les différentes alimentations décrites pour les retenues collinaires, sont applicables aux bassins artificiels.

En outre, il est également possible pour des ouvrages de ce type de faible capacité d'envisager :

- **une auto alimentation par impluvium :**

Un impluvium en enrobé ou en béton réalisé à la faveur d'une pente naturelle (piste de desserte) permet de récupérer les eaux de ruissellement. Sa surface varie en fonction de la capacité du bassin et de la pluviométrie locale.

En fonction de l'aménagement de l'impluvium, l'eau récupérée peut transporter des particules, sables, graviers, débris végétaux.... Afin de limiter l'apport de matériaux de granulométrie importante et donc de réduire le volume d'eau disponible dans la réserve, il est conseillé de réaliser un ouvrage complet de décantation (dégrilleur, désableur, décanteur).

Une maintenance périodique du bassin et de l'ouvrage de décantation devra être assurée. En période estivale (précipitations réduites), le maintien à niveau pourra être assuré par les services d'incendie et de secours.

Afin de limiter l'évaporation, il est recommandé de mettre en place sur la surface du plan d'eau, un filet "ombra" (réduction de l'évaporation d'environ 20 à 30%).

1.3.2 Caractéristiques de l'aménagement

Elles sont identiques à celles des retenues collinaires (cf. partie III paragraphe 1.2.2). On peut aussi envisager sur ce type d'ouvrage, la mise en place d'une colonne d'aspiration constituée par une conduite de diamètre 100 mm et d'un raccord pompier.

1.4. Les citernes

1.4.1. Les citernes métalliques

De forme cylindrique, se sont généralement des citernes de récupération du transport routier et ferroviaire (Wagon Foudre). Leur capacité varie de 10 à 120 m³ en fonction des besoins mais les citernes de 30 m³ et 60 m³ sont les plus utilisées.

Facilement transportables, elles sont placées dans des endroits stratégiques permettant d'optimiser les ravitaillements. Elles peuvent être enterrées, ou posées sur le sol (aériennes).

1.4.1.1 Alimentation et options

Ces équipements sont généralement approvisionnés et maintenus à niveau par les services d'incendie et de secours. Outre le réservoir, l'équipement standard comprend :

- un trou d'homme N 600,
- une échelle intérieure de secours et de service,
- une vidange en fond de cuve.

Un certain nombre d'options peuvent être ajoutées :

- une trappe pour les hélicoptères bombardiers d'eau (HBE). Elle se situe sur le haut de la citerne. Elle est constituée de deux volets qui s'ouvrent pour permettre à l'hélicoptère de réaliser le pompage.
- une échelle extérieure,
- une passerelle galvanisée,
- pour les réserves enterrées, un tube plongeur équipé d'un raccord pompier.

1.4.1.2 Caractéristiques de l'aménagement

Chaque citerne doit être bordée par une zone dégagée où les véhicules qui viennent se réapprovisionner, peuvent manœuvrer sans se gêner les uns les autres (aire de retournement).

Afin de répondre aux besoins des services d'incendie et de secours, la citerne doit être accessible aux véhicules de plus de 19 tonnes et disposer d'une plate-forme d'aspiration minimale de 8 m x 4 m constituée de matériaux drainants.

1.4.2. Les citernes en béton

Ces citernes sont réalisées soit en béton armé, coulé sur place, soit à partir d'éléments préfabriqués en béton. Elles peuvent être enterrées ou semi-enterrées. La capacité de stockage de ce type de citerne varie de 30 m³ à 120 m³, mais elle est généralement de 60 m³.

1.4.2.1 Alimentation et options

Elles sont auto alimentées à partir d'un impluvium étanche, en enrobé ou en béton, qui va permettre de récupérer les eaux de ruissellement. L'utilisation du béton n'est pas recommandée car il se fissure rapidement. En période estivale (précipitations réduites), le maintien à niveau peut être assuré par les services d'incendie et de secours.

La surface de l'impluvium varie en fonction de la capacité de la citerne et de la pluviométrie locale. Pour une citerne de 60 m³ en région méditerranéenne, la surface de l'impluvium est de l'ordre de 300 m².

En fonction de l'aménagement de l'impluvium, l'eau récupérée peut transporter des particules, sables, graviers, débris végétaux.... Afin de limiter l'apport de matériaux de granulométrie importante et donc de réduire le volume d'eau disponible dans la citerne, il est conseillé de réaliser un ouvrage complet de décantation (dégrilleur, désableur, décanteur).

Une maintenance périodique de la citerne et de l'ouvrage de décantation devra être assurée.

Afin de limiter les problèmes liés à l'aspiration (immersion de la crépine, amorçage, pompage...), il est possible, selon la topographie du site, de prévoir la mise en place d'un poteau incendie situé en contrebas et directement raccordé à la citerne.

1.4.2.2 Caractéristiques de l'aménagement

Elles sont identiques aux citernes métalliques.

2- Le transport et l'alimentation sous pression

La pression dans une canalisation peut être assurée soit par la charge d'un réservoir, soit par une station de pompage.

2.1 La station de pompage

2.1.1 Energie requise

Plusieurs types d'énergies peuvent être utilisées :

- électrique : la station est branchée sur le réseau EDF. C'est le principal mode d'alimentation qui s'applique aux installations dont la mise en route doit s'effectuer régulièrement. Il est possible de faire des économies sur le coût de fonctionnement en prévoyant une programmation déclenchant la mise en route des pompes pendant la nuit. Toutefois, il faut garder présent à l'esprit qu'en cas d'incendie, il est fréquent d'avoir une coupure d'électricité, laissant la station sans énergie.
- - thermique : la station fonctionne avec du carburant (de préférence diesel). Ce type d'alimentation assure l'autonomie du système. Cette installation est souvent utilisée comme solution de secours à une station de pompage électrique, ou pour des infrastructures qui ne marchent qu'occasionnellement évitant ainsi des surcoûts dus à l'éloignement du réseau EDF.
- - solaire ou éolienne : il est tout à fait envisageable de faire fonctionner une station de pompage à partir des énergies solaire ou éolienne. Cette solution est intéressante pour les zones à protéger qui sont éloignées de tout raccordement au réseau EDF ou sur des sites particuliers que l'on voudrait préserver (réserves naturelles, maisons de la nature...).

2.1.2 Types de pompe

Ce sont généralement des pompes dites centrifuges qui assurent l'alimentation en eau des réseaux hydrauliques. Elles sont appelées pompes centrifuges car elles transmettent au fluide pompé une énergie cinétique à travers une force centrifuge obtenue grâce à une roue liée à un arbre moteur. A la sortie de cette roue, l'énergie cinétique (de vitesse) se transforme en énergie de pression.

En fonction des caractéristiques recherchées, débit et pression, les roues utilisées dans les pompes seront différentes. Ils en existent trois types : les roues à écoulement radial, hélico-centrifuge et axial qui correspondent aux pompes dites centrifuges, hélico-centrifuges et à hélices.

Le tableau suivant présente les caractéristiques de chacune de ces pompes :

Type de pompe	Débit	Pression	Ns *
Ecoulement radial	faible	élevée	20-100
Hélico-centrifuge	moyen	moyenne	150
Hélice	élevé	faible	160-280

* Ns = nombre de tours spécifiques = $n \times Q^{1/2} / H^{3/4}$ avec n = nombre de tours minute, Q = débit et H = hauteur de relevage

2.1.3 Les motopompes

Ces pompes sont composées d'un moteur thermique diesel ou à essence et d'une pompe centrifuge et peuvent être équipées d'un kit d'attaque comprenant tuyaux d'aspiration et de refoulement, lances, crépines d'aspiration...Elles permettent aussi aux particuliers d'utiliser des piscines ou des bassins comme réserve d'eau.

Contrairement aux stations de pompage, elles ne sont pas fixes et peuvent être déplacées. Il existe également des modèles portables, montés sur des claies, qui permettent aux services d'incendie et de secours de s'approvisionner dans des points d'eau qui ne sont pas accessibles aux véhicules ou à partir de réservoirs souples hélicoptés.

A titre d'exemple, c'est dans cette optique que le Conseil Général des Bouches du Rhône a mis en place le plan "**1 000 pompes**" qui permet à un particulier, sous acceptation du Service Départemental d'Incendie et de Secours, d'acquérir gratuitement une motopompe moyennant un contrat d'une durée de 5 ans. Ce contrat l'oblige à payer l'entretien annuel du matériel et permet en contrepartie aux pompiers d'utiliser la piscine comme réserve d'eau en cas d'incendie.

2.2 Les canalisations

2.2.1 Un compromis entre diamètre de canalisation et débit

Le choix des canalisations va dépendre des débits recherchés. Un compromis entre la taille de la canalisation et les vitesses d'écoulement des eaux doit être étudié. Pour un même diamètre de canalisation, un débit deux fois plus élevé entraîne une vitesse d'écoulement deux fois plus importante.

Pour obtenir un débit deux fois plus important, tout en gardant une vitesse identique, il faut donc doubler la section de la canalisation.

$$Q = S \times u$$

avec - Q en mètre cube (m³) par seconde = débit d'eau dans la canalisation,
- S en mètre carré (m²) = section de la canalisation*
- u en mètre par seconde = vitesse d'écoulement du fluide transporté

* Rappel du calcul de la section de la canalisation :

$$S = \pi \times R^2 = \pi \times D^2 / 4$$

avec - S en mètre carré (m²) = section de la canalisation
- R en mètre = rayon de la canalisation
- D en mètre = diamètre de la canalisation
- π = 3,14116

- une vitesse d'écoulement trop faible entraîne un colmatage de la canalisation due à une décantation des particules transportées par l'eau qui ne sont pas assez brassées par le courant. Cette vitesse minimale d'écoulement est de l'ordre de **0,2 à 0,3** mètres par seconde.

- une vitesse d'écoulement trop forte entraîne des pertes de charge beaucoup trop importantes. L'énergie utilisée pour transporter l'eau (station de pompage) est perdue dans la compensation de ces pertes de charge. La vitesse maximale d'écoulement est de l'ordre de **1,5 à 2** mètres par seconde. Pour exemple, afin de respecter les limites des vitesses d'écoulement dans un tuyau de DN 100, les débits disponibles devront être compris entre 6 m³/h et 57 m³/h.

2.2.2 Choix du matériau

Pour des débits ne dépassant pas 200 m³/h, les canalisations utilisées auront un diamètre nominal maximal de 200 mm (ou DN 200). Lorsque ces débits diminuent, il faut mettre en place des canalisations plus petites de manière à obtenir une vitesse d'écoulement comprise entre la vitesse d'écoulement minimale et la vitesse d'écoulement maximale.

Le choix du matériau se fera en fonction du diamètre nécessaire, du prix de revient de la canalisation et des contraintes de l'ouvrage. Les prix varient en fonction du marché, du fournisseur, de la quantité....

Quels que soient les matériaux choisis, la construction d'un réseau définitif implique la mise en place de **canalisations enterrées**. La profondeur des tranchées sera au minimum de 80 cm afin de garantir la protection des canalisations contre les détériorations (animaux, pierres, vandalisme...), le gel et les charges roulantes (tracteurs, camions citernes...). Cela permet aussi d'assurer une protection vis à vis de la chaleur (notamment en cas d'incendie). Le choix de **canalisations posées à même le sol** ne se justifie que dans le cas d'une installation provisoire. Ce type de canalisation est plus vulnérable aux dégradations et au gel.

Il existe différents types de canalisations :

- ❶ **Canalisations en fonte :** DN minimal de 60 mm;
DN maximal aucun

Ce sont les canalisations les plus utilisées, surtout pour transporter les gros débits car elles ne sont pas limitées en diamètre maximal. Robustes et solides, elles sont recouvertes intérieurement d'une couche de mortier ciment ou d'époxy afin de protéger la canalisation contre la corrosion.

La fonte étant un matériau rugueux, ces canalisations entraînent des pertes de charge plus importantes que les canalisations en acier ou en aluminium.

En fonction de la nature du sol, la fonte peut rencontrer des problèmes de corrosion extérieure entraînant à terme des fuites. Ces problèmes de corrosion sont très difficiles à gérer car c'est un phénomène complexe lié à plusieurs domaines qui agissent en synergie : physique, chimique, électrochimique et bactériologique.

- ❷ **Canalisations en Polyéthylène (PET) :** DN minimal aucun;
DN maximal de 160 mm

Ces canalisations ne comprenant aucun élément oxydable, elles n'ont par conséquent pas de problèmes de corrosion. Les diamètres utilisés dépassent rarement un DN 100.

Le matériau utilisé étant sensible à la chaleur et au froid, il est recommandé de l'enterrer. En cas d'incendie, la chaleur peut affaiblir la résistance de la conduite et priver d'alimentation en eau une partie (voir la totalité) de l'installation.

- ❸ **Canalisations en PVC :** DN minimal aucun
DN maximal de 200 mm

Très sensibles à la chaleur et au froid, il est également recommandé d'enterrer ces canalisations. N'ayant aucun élément oxydable, elles n'ont pas de problèmes de corrosion.

- ❹ **Canalisations en polymère orienté :** DN minimal 110 mm
DN maximal 300 mm

Ces canalisations aussi solides que celles en fonte ne posent pas de problèmes de corrosion. En revanche, comme les deux canalisations précédentes, elles sont peu résistantes aux fortes chaleurs.

⑤ Canalisations à griffe en acier galvanisé : DN 100 et 150 mm

L'utilisation de ces canalisations est intéressante pour des situations temporaires : changement d'une canalisation enterrée, d'un regard... Légères, de manipulation facile, elles sont généralement en acier galvanisé ou en aluminium. Un raccord à griffe permet d'emboîter chaque partie de la canalisation et d'obtenir du jeu au niveau de l'angle entre chaque élément assurant ainsi une souplesse de mise en place.

2.2.3 Comparaison entre les canalisations

Le choix d'une canalisation dépend à la fois des débits attendus et du diamètre des tuyaux. Les matériaux utilisés ont des caractéristiques qui permettent de faire un choix entre deux canalisations en fonction du diamètre :

- pour les gros diamètres : la fonte et le polymère orienté sont les matériaux les plus utilisés. Les retours d'expériences du Canal de Provence montrent que pour un **coût équivalent**, on utilise plus fréquemment la fonte.

Les principaux inconvénients de la fonte sont la corrosion et les pertes de charge dues à une rugosité importante (pour les matériaux neufs). Avec le temps, les autres matériaux obtiennent une perte de charge quasi identique due aux dépôts.

Si le site sur lequel on place des canalisations possède des caractéristiques propices au développement de la corrosion, il est conseillé de se diriger vers des matériaux type polymère orienté.

- pour les petits diamètres : le PVC est moins cher que le PET mais il est aussi moins solide. Il faut donc être plus attentif lors de la pose des canalisations en PVC (poinçonnement, fissures...). D'après les retours d'expériences du Canal de Provence, le PET est le matériau le plus fréquemment utilisé.

2.3 Les points d'eau sous pression

2.3.1 Les poteaux et les bouches d'incendie

Les poteaux et bornes d'incendie délivrent de l'eau sous pression permettant la lutte directe à partir de l'hydrant et facilitant le remplissage des véhicules. L'alimentation directe évite ainsi les problèmes liés au pompage (mise en place du matériel, problèmes liés à l'aspiration...), gagnant ainsi un temps considérable.

Ils sont généralement situés en bordure de route à des points stratégiques (départ de piste DFCl, carrefours, lotissements...).

Ce mode de ravitaillement, d'après les statistiques Prométhée, est le plus utilisé : **60%** des ravitaillements se font à partir d'un poteau ou d'une bouche d'incendie.

Selon la norme AFNOR NF S 62-200, les caractéristiques hydrauliques des hydrants de type poteau ou bouche d'incendie doivent permettre de répondre aux prescriptions suivantes :

- débit minimum $\geq 60 \text{ m}^3/\text{h}$ pour un poteau ou bouche incendie de diamètre = 100 mm,

- débit minimum $\geq 120 \text{ m}^3/\text{h}$ pour un poteau incendie équipé de 2 sorties de diamètre = 100 mm,
- capacité d'approvisionnement permettant de garantir le débit minimum pendant 2 heures,
- pression résiduelle minimum de 1 bar mesurée en sortie d'appareil.

De plus les conduites alimentant plusieurs appareils doivent être dimensionnées de manière à assurer le débit correspondant au nombre d'appareils susceptibles d'être utilisés simultanément pour la défense d'un risque (entre 2 et 3 appareils en moyenne).

N.B. : Cette norme est définie pour des poteaux et bouches utilisés en milieu urbain. Il n'existe pas à ce jour de norme spécifique pour les hydrants et les réseaux situés en milieu forestier ou spécialement dédiés à une protection de la forêt contre l'incendie.

On observe fréquemment que certains poteaux et bouches d'incendie installés sur les réseaux d'alimentation en eau potable ne répondent pas à l'ensemble de ces caractéristiques. Ceci pour plusieurs raisons :

- le dimensionnement du réservoir d'eau potable est parfois insuffisant pour assurer la durée d'approvisionnement minimum du ou des hydrants, imposée par la norme. De plus, il est admis, par convention par les Services d'Incendie et de Secours de certains départements, de ne prendre que la moitié du volume utile du réservoir comme base de calcul pour l'approvisionnement du ou des poteaux incendie installés sur les conduites d'alimentation (le volume disponible au moment de son utilisation en cas de sinistre ne correspondant que très rarement au volume utile).
Par exemple, un réservoir communal dont le volume utile serait $< 240 \text{ m}^3$ avec une capacité de renouvellement $\approx 60 \text{ m}^3/\text{h}$ se trouverait donc sous-dimensionné pour alimenter un poteau d'incendie et ne répondrait pas aux exigences de la norme.
- le réapprovisionnement des réservoirs AEP se fait couramment par des stations de pompage fonctionnant avec l'énergie électrique. En cas d'incendie, il est fréquent que les services d'incendie et de secours demandent à l'EDF l'arrêt de l'alimentation électrique de manière à protéger les moyens aériens lors des largages (canadais, Hélicoptère Bombardiers d'Eau...). Ceci implique une rupture d'alimentation de ces réservoirs par les stations de pompage.
- l'utilisation simultanée d'eau potable par les habitants voulant protéger leur habitations et d'hydrants par les services d'incendie et de secours peut engendrer une nette diminution des performances hydrauliques du réseau d'alimentation (débit, pression). On ne peut donc accorder qu'une valeur indicative aux pressions et débit relevés par les services d'incendie et de secours dans le cadre de leur tournée annuelle de contrôle des hydrants (effectuées fréquemment en hiver et dans un cadre normal d'utilisation).
- enfin, le diamètre des canalisations d'alimentation en eau potable sur lesquels sont implantés poteaux et bouches d'incendie ne permet pas toujours de répondre aux exigences de la norme (canalisations de diamètre inférieur à 100 mm). C'est le cas notamment lorsque des extensions ont été réalisées sans renforcement, à partir du réseau initial, pour répondre à de nouveaux besoins (développement de l'urbanisation, alimentation en eau de zones d'activités...).

L'ensemble de ces remarques amène donc à considérer avec la plus extrême prudence le réseau de protection constitué par des hydrants installés sur des canalisations d'alimentation en eau potable.

Il semble donc préférable de réserver ces équipements à la protection des biens et des personnes (lotissements, habitat diffus, établissements recevant du public...). Leur utilisation prolongée dans un but strictement DFCI peut toutefois s'envisager à la condition que les

services d'incendie et de secours disposent d'une bonne connaissance des caractéristiques hydrauliques des réseaux amont qui les desservent.

2.3.2 Les bornes agricoles

Les bornes agricoles peuvent fournir des débits variables en fonction du contrat souscrit par l'agriculteur, contrat lié à la surface irriguée et à la nature de la production. Ces débits sont généralement compris entre 7,5 et 100 m³/h. Plusieurs agriculteurs peuvent être raccordés à la même borne, mais chacun d'eux possède une sortie.

L'utilisation de ces bornes pendant un incendie par les services d'incendie et de secours peut poser plusieurs problèmes :

- le plus fréquent et le plus important est celui de l'incompatibilité des sorties des bornes avec les tuyaux des pompiers,
- les bornes fournissent des débits qui ne correspondent pas forcément aux besoins des services d'incendie et de secours,
- les agriculteurs payent l'eau consommée. En cas d'incendie, se pose la question de la prise en charge financière de l'eau prélevée par les services d'incendie et de secours.

Il serait par conséquent, intéressant de répertorier, en collaboration avec les Services Départementaux d'Incendie et de Secours, les bornes stratégiquement les plus intéressantes et disposant d'un débit compatible avec la norme NF-S 62-200. Une sortie spécifique (de couleur différente) équipée d'un compteur permettrait ainsi de disposer de points d'eau supplémentaires dans le dispositif de prévention et résoudrait les problèmes liés à l'estimation financière des débits consommés.

2.3.3 Les R.I.A. forestiers (ou dévidoirs forestiers)

Le R.I.A forestier (Robinet d'Incendie Armé) est constitué d'une lance reliée à un tuyau sur dévidoir (de 20 à 30 mètres) contenus dans un caisson verrouillé et encastré dans le sol. Ces caissons sont discrets et s'implantent aisément en milieu forestier avec des couleurs adaptées aux conditions de site. La partie visible du caisson permet un accès facile au dévidoir à l'aide d'une clé DFCI standardisée.

L'équipement intérieur peut varier suivant les services souhaités : rigidité du tuyau, caractéristiques de la lance. Chaque sortie est contrôlée par une vanne à volant.

Protégés des dégradations extérieures par le caisson fermé, le R.I.A est un outil tout à fait adapté à la stratégie de lutte employée par les services d'incendie et de secours : il permet une intervention très rapide sur tout feu naissant, anticipant dans certains cas (personnel formé...), l'arrivée des sapeurs pompiers. Il assure aussi un gain de temps au niveau de la mise en place du matériel.

Il est également possible d'utiliser les R.I.A pour l'entretien du site (arrosage des espaces verts, nettoyage des allées...).

3- Les systèmes de protection spécifiques

Pour assurer la protection rapprochée de certaines zones de grande valeur écologique, scientifique, ou récréative, pour traiter une zone de dépôts de feu particulièrement dangereuse (interface forêt-habitat), ou renforcer une coupure de combustible, des équipements spécifiques fixes de protection peuvent être envisagés.

La consultation des brevets déposés à l'Institut National de la Protection Industrielle concernant l'ensemble des matériels de prévention et de lutte contre les incendies. Une première recherche à l'aide de mots clés (incendie, protection, lutte...) a permis d'obtenir une liste de plus de 950 brevets provenant principalement de Finlande, d'Irlande, des États-Unis, de France et du Japon. Après consultations des résumés de chaque brevet, il est ressorti qu'une trentaine seulement présentaient un réel intérêt. Les systèmes brevetés sont basés sur quelques grands principes d'actions : la création de brume, l'aspersion, l'utilisation d'explosifs. Dans l'ensemble de la partie 3, le travail présente l'ensemble des procédés utilisés en France ou tout du moins commercialisés en Europe (pour les explosifs).

3.1 Les systèmes fixes de prévention et de lutte

Le choix de ces équipements devra être effectué en fonction de :

- l'intérêt du secteur à protéger,
- les conditions du site : topographiques, aérologiques, hydrologiques...,
- l'historique des incendies sur la zone

Le coût de ces équipements, même s'il peut paraître élevé, devra être comparé au coût d'un incendie (moyens humains et matériels...) et à l'évaluation des dégâts qu'il occasionnerait.

3.1.1 La brumisation[®]

Comme il l'a été abordé dans la première partie du rapport, l'eau permet de réduire les flux de chaleur transférés entre le feu et le combustible. Il faut donc envoyer l'eau de telle façon quelle puisse échanger un maximum d'énergie avec le milieu ambiant. Les transferts de chaleur sont régulés par la surface d'échange et plus celle-ci est grande, plus le transfert de chaleur est important. Le plus intéressant est d'avoir, pour un volume d'eau donné, une surface d'échange la plus grande possible. Physiquement, plus une goutte d'eau est petite, plus sa surface par rapport à son volume est grande.

D'après le constructeur, la brumisation (brouillard d'eau) interviendrait sur plusieurs domaines qui, à des degrés différents, directement ou indirectement, sont impliqués dans la propagation d'un incendie.

3.1.1.1 Le brouillard d'eau

Le brouillard d'eau est obtenu à partir de buses spécifiques qui vont diffuser l'eau sous forme de micro gouttelettes. D'après l'inventeur du procédé² :

"Pour créer le brouillard d'eau, il est nécessaire de transformer un volume d'eau en un aérosol formé de myriades de gouttelettes d'eau extrêmement petites. Le nuage de gouttelettes d'eau doit avoir des tailles de gouttelettes inférieures à 200 microns afin d'obtenir un "diphase". Cet état se rapproche de l'état gazeux, de ce fait, le brouillard qui reste en suspension va tendre à occuper le maximum de place".

La surface d'échange de 1 m³ d'eau sous forme de brouillard est supérieure à 10 000 fois la surface d'échange présentée face à un feu par 1 m³ d'eau projetée par une lance d'incendie classique. La petite taille des gouttes évite les retombées au sol (précipitations) sous l'effet de la pesanteur.

² KAÏDONIS A., Avril 2001, Le brouillard d'eau dans la lutte contre les incendies, les rayonnements, les toxiques et les explosions.

3.1.1.2 Les effets de la brumisation sur le milieu ambiant :

Par rapport au feu, ce sont des effets indirects dont les actions contre la progression d'un incendie ne sont pas négligeables.

- abaissement de la température :

La zone baignée dans le brouillard connaît une différence de température. Plus on est près de la source du brouillard, plus cette différence est grande. Cette baisse est principalement due à l'absorption de chaleur par des gouttelettes d'eau qui passent à l'état de vapeur d'eau (le processus permettant à l'eau de passer de la phase liquide à la phase vapeur "consomme" une grande quantité d'énergie, 2.4MJ par litre d'eau vaporisée dans un temps très bref). Il a été constaté par le CEREN[‡] une différence de température de 5 à 7 °C au plus près des brumiseurs et d'environ 2 °C à plus de 40 mètres.

- augmentation de l'hygrométrie :

De la même façon que pour la température, on assiste à une augmentation de l'hygrométrie du milieu ambiant. Toujours d'après le CEREN, l'augmentation de l'hygrométrie est supérieure à 25 % à une dizaine de mètres des brumiseurs et entre 10 et 15 % à plus de 40 mètres.

- diminution du stress hydrique des végétaux :

La brumisation ne diminue pas directement le stress hydrique par absorption des gouttelettes d'eau par la végétation. Les tests montrent que la portée au sol est de l'ordre de 21 à 28 mètres (CEREN) et que la teneur en eau des végétaux n'est pas modifiée mais qu'ils sont simplement mouillés. L'eau retombée au sol est principalement absorbée par celui-ci et n'est pas récupérée par les végétaux de type racinaire profond par contre les végétaux de type herbacé et litière en bénéficient rapidement .

Mais elle diminue indirectement ce stress. La température étant moins élevée, l'évapotranspiration est moindre. Comme l'hygrométrie est plus importante, l'équilibre entre l'eau en phase gazeuse (dans l'air) et l'eau en phase liquide (dans les végétaux) est maintenue. Il faut savoir que cet équilibre est important, il est défini par des lois thermodynamiques. Pour résumer, si l'eau contenue dans l'air ambiant d'un massif forestier est évacuée sous l'effet de la chaleur et du vent (baisse de l'hygrométrie), celle des végétaux va s'évaporer pour la remplacer. Il y aura donc une augmentation de l'évaporation de l'eau contenue dans les végétaux donc du stress hydrique. Bilan, l'eau du brouillard va s'évaporer à la place de l'eau ou des essences (cf. partie I, paragraphe 2.1.1) des végétaux.

- Conclusion :

Sans brumisation, dans des conditions favorables au feu de forêt, lorsque les flammes arrivent sur une zone, la végétation de celle-ci émet déjà des essences (cf. partie I, paragraphe 2.1.1) pour compenser une température trop élevée.

Avec la brumisation, les différents effets expliqués ci-dessus vont affaiblir le front de flamme. En effet, celui-ci va perdre une énergie supplémentaire afin de préparer le terrain à sa propagation. Il lui faudra augmenter la température perdue sous l'effet du nuage de brume, vaporiser l'eau du nuage avant celle des végétaux. Cette dernière est en quantité plus

[‡] CEREN, 1994; Caractérisation et suivi expérimental des installations de brumisation dans le cadre de la participation aux efforts de prévention des incendies de forêt (phase I et II). N.B. : les essais qui ont permis d'obtenir les chiffres mentionnés ci-dessus ont été effectués par vent nul ou quasi-nul

importante puisque l'évapotranspiration a été minimisée par l'action de la brume. L'inflammabilité des végétaux diminue donc sous l'effet de la brume.

3.1.1.3 Les effets de la brumisation sur la propagation de chaleur :

D'après le constructeur, les effets portent sur les deux principaux modes de propagation de la chaleur pendant un incendie : la convection et le rayonnement.

- absorption d'une grande quantité de chaleur :

Comme nous l'avons déjà évoqué, l'eau en se vaporisant absorbe une grande quantité d'énergie. D'après la thermodynamique, la vaporisation de 1 litre d'eau, nécessite une énergie d'environ 2400 kJ. Etant donné que l'eau est sous forme de brouillard, les échanges d'énergie qui sont régulés par les surfaces d'échanges, sont grandement facilités (jusqu'à 10 000 fois supérieurs). Donc théoriquement, une grande partie de l'énergie qui arrive d'un front de flamme va être utilisée par les gouttelettes d'eau pour passer à l'état vapeur (H_2O gazeux).

- réflexion/réfraction du rayonnement :

C'est un phénomène qui se produit à la surface de séparation de deux milieux dans lesquels une onde électromagnétique a des vitesses de propagation différentes. C'est le cas de l'air et de l'eau. Lorsque l'onde arrive sur une gouttelette, une partie est renvoyée dans son premier milieu, elle est réfléchiée. L'autre partie change de milieu on dit qu'elle est réfractée. Etant donné le nombre élevé de gouttelettes dans le milieu, le nombre de réflexion/réfraction est très important. A chacun de ces phénomènes, le rayon perd une partie de son énergie qu'il cède au milieu. Cette énergie absorbée va être principalement utilisée pour vaporiser l'eau du nuage de brume (cf. paragraphe précédent).

- Conclusion :

Les phénomènes induits par la brumisation permettent d'absorber les flux d'énergie émis par l'incendie.

Pour les courants de convection, l'énergie transportée par l'air chaud sera en grande partie dissipée par absorption pendant la phase de vaporisation des gouttelettes d'eau.

Pour le rayonnement qui transporte la plus grande quantité d'énergie pendant un incendie, les phénomènes de réflexion/réfraction et d'absorption vont permettre de réduire le flux d'énergie dans sa plus grande partie.

Généralement, l'énergie produit par un incendie lui permet de se propager en préparant le terrain en aval par dessèchement de la végétation et production d'essence hautement inflammable. Mais puisque cette énergie est utilisée pour vaporiser l'eau de la brume, le feu arrive sur une végétation encore humide et chargée d'eau, milieu très défavorable à sa propagation.

Dans le cas où le brouillard d'eau est mis en œuvre avant l'arrivée du front de flamme, l'énergie produite par celui ci sera absorbée en très grande partie par l'effet de vaporisation des gouttelettes. L'air sec se chargera en humidité et le rayonnement en partie absorbé ce qui confirme l'action du brouillard sur les trois paramètres qui concourent le plus au développement et à la propagation de l'incendie.

3.1.1.4 La mise en place du système :

En fonction de la végétation, les brumiseurs seront placés différemment. Il faut chercher à les positionner de façon à obtenir une barrière de brume représentée par un nuage homogène.

D'après les retours d'expérience et notamment à Roques Hautes (Aix en Provence), l'espace entre les buses doit être d'environ 5 mètres et au maximum de 10 mètres. Ce paramètre est une estimation qui doit absolument être confirmée par des essais dans des conditions proches de celles présentes lors d'un incendie (température, vent...).

Avant la mise en place d'équipement sur de nouveaux sites, une expertise devra être conduite par le CEREN qui possède dans ce domaine un retour d'expérience de plus de 10 ans. Contrairement à ce qui avait été préconisé auparavant, l'installation sera désormais souhaitable sur des poteaux verticaux dédiés uniquement à cette fonction.

3.1.1.5 Retour d'expérience du dispositif :

Ce procédé étant destiné à être implanté dans un milieu naturel, les conditions extérieures parfois difficiles entraînent des dégradations sur le matériel :

- les dégradations dues aux animaux. Ils cherchent souvent à atteindre l'eau transportée par les tuyaux dans les points les plus bas. Les rongeurs, les écureuils... vont chercher à ronger les buses et les tuyaux. Le Conseil Général 13 a trouvé une solution : mise en place de récipients d'eau pour abreuver les animaux. Notons qu'aucune dégradation due à de la malveillance n'a été signalée sur l'ensemble des rampes installées.
- les tuyaux pendus entre les arbres sont soumis lors de vent violent aux mouvements des arbres et de leurs branches. Ces mouvements oscillatoires ne possèdent pas les mêmes fréquences entraînant la rupture de tuyaux par étirement. Il est difficile de prévoir ce phénomène et de l'anticiper en augmentant la longueur des tuyaux entre les arbres.
- lorsque les buses sont placées au sommet des arbres ou sous frondaison, il est difficile d'assurer l'entretien. Il faut en effet, à partir d'une certaine hauteur, avoir recours à des travailleurs spécialisés et équipés, augmentant ainsi considérablement le coût de l'entretien.
- Il a été constaté que les brumiseurs sur perche installés sur les cimes des arbres ont un mauvais rendement mais que les rampes aériennes avec brumiseurs intermédiaires et les rampes fixes en sous-bois offrent de meilleurs résultats

3.1.1.6 Conclusion :

L'expérience en milieux ouverts notamment les essais (gaz de France, GESIP ...) et son installation sur de nombreux sites industriels (solvants, alcool, hydrocarbure...) ont démontré l'efficacité du mécanisme physique d'absorption d'énergie et d'extinction de la flamme. Il faudra donc s'en inspirer pour le milieu des feux de forêts.

Lorsque la brumisation ci est en place, il est montré que par vent nul, il y a :

- baisse de la température et augmentation de l'hygrométrie dans un rayon de 40 mètres maximum,
- baisse de l'inflammabilité des végétaux dans un rayon de 28 mètres,
- teneur en eau des végétaux non modifiée.

3.1.2 L'aspersion

Le principe de l'aspersion repose sur la couverture d'une surface par une hauteur d'eau recherchée. Ces deux critères, ainsi que le débit, permettent de définir les caractéristiques d'un système d'aspersion. La répartition de la pluviométrie (apport d'eau) sur l'ensemble de la surface couverte doit être la plus homogène possible.

3.1.2.1 Les asperseurs agricoles classiques et leurs dérivés :

L'irrigation en agriculture occupe une place très importante. Pour répondre à l'ensemble des besoins, très diversifiés en fonction des cultures, des conditions climatiques..., il existe un large éventail de matériels qui balayent toute une gamme de débits et de pressions. Les enjeux liés à l'irrigation permettent aujourd'hui de disposer de matériels solides et fiables. Il est donc facile, à l'heure actuelle, de trouver un matériel qui corresponde aux besoins définis par les conditions de site (portée, débit...). Généralement distribués à grande échelle, les matériels agricoles présentent un avantage certain au niveau de l'acquisition et des pièces de rechange, évitant ainsi des délais de commande pouvant rendre inutilisable le système mis en place. Ces matériels subissent également de nombreux tests effectués par différents organismes (Cemagref, ARDEPI, SCP...), qui permettent de vérifier les données constructeurs et de les adapter au mieux à la demande.

Le principal problème qui se pose lorsque l'on souhaite adapter du matériel agricole à la prévention et à la lutte contre les feux de forêts est sa résistance aux conditions particulières du milieu forestier (vent, chaleur, neige, gel...). En effet, si le matériel agricole est régulièrement entretenu et mis à l'abri lorsque la saison d'irrigation est terminée, dans le contexte de la DFCI, le matériel reste sur place toute l'année, n'est pas entretenu aussi fréquemment et les dysfonctionnements ne sont pas immédiatement repérés et réparés.

La fiche technique en annexe présente deux types d'asperseurs : un asperseur à petit débit et à portée moyenne et un canon d'aspersion, beaucoup plus gros, permettant d'avoir des débits et des portées très importants mais qui nécessite un entretien plus important qu'un matériel moins sophistiqué du fait des nombreuses pièces mécaniques en mouvement qu'il utilise et qui sont soumises à des forces hydrauliques importantes.

◆ un système spécifique : le "SPACI[®]"

En France, un système spécifique a été développé par Maurice Jean et ESCOTA[§]. Le système SPACI[®] (Système de Protection des Aires Contre l'Incendie) est particulièrement adapté à une mise en œuvre dans le domaine public et équipe aujourd'hui 4 aires de repos du réseau autoroutier pour assurer une protection contre les feux subis.

Ce système se compose :

- d'une station de pompage totalement invisible (le local technique et la réserve d'eau sont enterrés),
- de mâts fixes, monoblocs en acier, dont la longueur est adaptée en fonction de la hauteur de végétation au sommet desquels sont placés des asperseurs agricoles à turbine extérieure équipés de buses interchangeable et à secteur réglable qui permettent de couvrir une gamme de débit comprise entre 18 et 50 m³ avec des portées comprises entre 20 et 45 mètres (type : Grillo – marque : Valducci).
- d'un ensemble de commande (électrovanne, décodeur) protégé par un regard béton fermé par une plaque métallique,
- des réseaux (eau, câble de commande, réseau d'appel, énergie), tous enterrés,

[§] Système SPACI[®] breveté en 1992, par Maurice JEAN - Quartier la Pinède – 83 670 BARJOLS et par ESCOTA – Av. de Cannes – BP 41 – 06211 MANDELIEU Cedex

- d'un système de pilotage constitué d'un automate programmable, accessible à distance (ligne extérieure et réseau interne) qui permet de mettre en route et d'arrêter le système à distance sans intervention humaine sur site et d'être informé en temps réel (renvoi d'alarmes) d'un dysfonctionnement des principaux constituants par analyse en continu de certains paramètres.

Pendant la période estivale, le système est déclenché automatiquement deux fois par semaine pendant un temps très court (2 minutes/mât) pour permettre un suivi de fonctionnement de l'installation par télésurveillance et si cela est nécessaire procéder aux opérations de maintenance.

De par sa conception, cet ensemble n'offre que très peu de prise au vandalisme. De plus, l'ensemble des produits constitutifs du système sont de diffusion courante ce qui offre une grande facilité d'approvisionnement et une maintenance aisée.

3.1.2.2 Les asperseurs spécifiques à la DFCI :

Ce type de matériel a été construit et/ou adapté spécialement pour répondre aux besoins et aux contraintes de la DFCI. Malgré l'existence de quelques brevets, seuls deux asperseurs de ce type, sont aujourd'hui commercialisés en France par Protect Forest* :

◆ le système "Python®" qui se compose :

- d'une tête multi-canon (2 ou 3) projetant l'eau en tournant autour d'un mât. Le fait d'avoir plusieurs canons permet d'équilibrer les forces hydrauliques ce qui évite une usure trop importante des pièces concernées. Cet équilibrage est d'autant plus important que la hauteur du mât est grande. En fonction de la tête choisie, les surfaces couvertes varient de 1200 à 4500 m² avec des débits pouvant atteindre 80 m³/h.
- d'un mât fixe, semi-télescopique ou télescopique. Les différents types de mât permettent de répondre aux besoins du site.
 - Les mâts fixes sont généralement placés à une hauteur de 3 à 6 mètres. Plus adaptée aux zones de végétation basse et peu fréquentée par le public, cette configuration réduit considérablement les coûts d'installation puisqu'elle évite de creuser profondément dans le sol. L'entretien des têtes doit être effectué en hauteur avec des engins adaptés et du personnel qualifié.
 - Les mâts semi-télescopiques sont composés d'une partie fixe identique à celle définie ci-dessus et d'une partie télescopique. Sous l'effet de la pression de l'eau, la partie télescopique s'élève, amenant la tête multi-canon au dessus de la végétation à une hauteur pouvant atteindre 12 mètres. Cette configuration permet aussi de réduire le coût de l'installation tout en assurant un arrosage au-dessus d'une végétation assez haute. Au niveau de l'entretien, les problèmes sont identiques à ceux d'un mât fixe puisqu'il faut atteindre la partie fixe pour réaliser les travaux.
 - Les mâts télescopiques sont complètement enterrés dans le sol. Ils nécessitent la réalisation d'un forage de 6 mètres de profondeur. En fonction de la nature du sol, les coûts d'installation peuvent donc varier considérablement. Sous l'effet de la pression de l'eau qui alimente le système, le mât sort du sol et s'élève à une hauteur pouvant atteindre 12 mètres. Ce système présente plusieurs avantages : il est complètement enterré et seul un capot d'une vingtaine de centimètres de hauteur dépasse du sol ; ce capot verrouillé de l'intérieur évite toute dégradation. Pour les zones d'accueil du public, cette configuration est très intéressante puisqu'elle a un faible impact d'un point de vue

* brevetés en 1990 par LEJOSNE – Protect Forest – 45 av. des Ribas – 13770 Venelles

esthétique et qu'elle réduit au maximum les actes de vandalisme. L'autre avantage réside dans l'entretien, grandement facilité par le blocage du mat à 1 mètre de hauteur permettant de travailler sur les têtes sans avoir besoin d'engins ou de personnel spécialisé.

◆ le système "Piccolo[®]" qui en est dérivé :

Le fonctionnement se caractérise par la possibilité de faire fonctionner l'arroseur soit en mode aspersion, soit en mode micro-aspersion. Le basculement sur l'un ou l'autre des deux modes est lié à la différence de pression de l'eau dans le système :

- pour une pression de 4 bars, l'arroseur délivre des gouttelettes d'environ 1 mm de diamètre avec un débit de 3 m³/h abaissant la température de la zone concernée.
- pour une pression de 6 bars, l'arroseur passe en mode aspersion permettant de couvrir une surface de 700 m² avec un débit de 12 à 15 m³/h.

Avec un capot de protection ne dépassant pas 5 centimètres d'épaisseur, l'asperseur enterré reste assez discret. Le système "Piccolo[®]" s'adresse plus particulièrement à la protection individuelle (habitat diffus en forêt) ou à celle des établissements recevant du public (maisons de retraite, hôpitaux).

3.1.2.3 Les extincteurs autonomes:

Cette catégorie de matériels permet d'agir très efficacement et très rapidement au moment même de l'arrivée d'un feu sur la zone à protéger. Le principe consiste à "noyer" le feu en arrosant la zone avec une très grande quantité d'eau dans un minimum de temps.

Parmi les brevets existants, le système "Forestal[®]", distribué en France par Protect Forest*, permet d'obtenir des débits très importants pouvant aller jusqu'à 300 m³/h et couvrant une surface de 4500 à 11800 m². Ce système a été officiellement testé par le SDIS 24 pour la Préfecture de Dordogne en novembre 1986.

Le principe de fonctionnement est identique au système "Python[®]" dont il est le précurseur :

- alimentation en eau : elle est assurée par un réservoir en acier contenant 5 à 10 m³ d'eau.
- alimentation électrique : des batteries délivrent l'énergie nécessaire aux déclencheurs, détecteurs et aux électrovannes régulant le système. Ces batteries sont ensuite rechargées par le réseau EDF ou à l'aide de panneaux solaires.
- puissance hydraulique : les pressions sont obtenues à l'aide de bouteilles de gaz sous-pression (air ou azote) à 200 bars. Un système régulateur distribue une pression de 6 à 7 bars permettant de sortir le mât télescopique
- distribution d'eau : une tête comportant 2,3 ou 6 canons, fixée au sommet du mât pouvant s'élever à une hauteur de 6 à 10 mètres, arrose la zone protégée sur une surface importante grâce aux pressions disponibles.
- détection du feu: elle est assurée par des détecteurs thermiques. A l'arrivée du front de flamme, la température s'élève brusquement et les détecteurs envoient l'information à la centrale de gestion qui déclenche la mise en route du système.

L'utilisation de gaz sous-pression entraîne également une baisse de température du milieu ambiant de quelques degrés augmentant l'efficacité du système (cf. partie I, paragraphe 2.3.2). Etant donné le débit important requis et la capacité limitée du réservoir, le temps de fonctionnement après déclenchement est de l'ordre de 2 minutes. Le système "Forestal[®]" se décrit comme un système "coup de poing". Il est bien adapté aux zones d'habitat en forêt.

* breveté en 1985 par LEJOSNE – Protect Forest – 45 av. des Ribas – 13770 Venelles

La particularité de ce matériel réside dans son autonomie totale : il n'est pas directement dépendant d'une ressource en eau, son déclenchement et sa mise en œuvre sont automatiques et ne nécessitent pas la présence d'un opérateur. A contrario et notamment en milieu naturel, la sophistication entraîne souvent la fragilité d'un matériel. Les problèmes liés à l'utilisation de ce type de système viennent de leur complexité :

- le fonctionnement est assuré par des éléments appartenant aux domaines de la mécanique, de l'hydraulique, de l'électronique... La superposition de ces domaines entraîne donc certaines étapes dites critiques, qui, si elles ne se déroulent pas normalement, bloquent l'ensemble du système. Pour exemple, si le régulateur de pression ne fonctionne pas, l'eau ne sera pas mise sous pression et le mât télescopique ne sortira pas du sol. Les autres points critiques sont les détecteurs et la centrale de gestion.
- l'entretien est relativement délicat du fait de la complexité du système (différents domaines à gérer).

3.1.3 Les détecteurs

Le principe de détection d'un feu de forêt est identique pour tous les systèmes. Des informations du signal enregistré (grandeur physique) sont envoyées à un récepteur. Le moyen de communication entre détecteur et récepteur est généralement électrique ou radio. Dans la majeure partie des cas, c'est le récepteur qui va réagir lorsque le seuil programmé est atteint par le signal et mettre en route le système hydraulique de protection.

Les détecteurs utilisés dans le cadre de la prévention des incendies de forêt peuvent être :

- des détecteurs thermiques : le principe est de détecter une quantité de chaleur qui est ensuite corrélée avec la température ambiante.
- des anémomètres : lorsque le vent dépasse une certaine vitesse, le signal envoyé par l'anémomètre déclenche une réaction du récepteur.
- des détecteurs vidéos : la société T2M automation a mis au point un système basé sur des caméras capables de repérer dans le visible, la fumée d'un feu naissant quelques secondes après son départ. Le système de détection automatique des incendies et feux de forêts, ARTIS Fire[®], peut couvrir une surface de 3 000 hectares (en plaine) avec des distances de détection comprise entre 500 mètres et 9 kilomètres (données constructeur). Reliées à un poste de commande, les caméras peuvent de façon autonome détecter et positionner un feu en moins de deux minutes. Ce système a montré des taux de détection de 100% lors de tests menés par le CEREN en collaboration avec l'Institut Universitaire des Systèmes Thermiques Industriels.

3.1.4 Modes de déclenchement

Ils assurent la mise en route du système en fonction de paramètres programmés et définis selon les besoins du site. Les modes de déclenchement peuvent être classés en trois catégories :

- **mode automatique** : un poste de commande reçoit les données des capteurs (anémomètres, détecteurs thermiques...) et déclenche le système de protection en fonction des informations qu'il reçoit. Par exemple, le boîtier de commande est programmé pour déclencher le système de protection de la zone, si un détecteur thermique informe que la température est de 70°C ou si un anémomètre donne une vitesse de 80 km/h de vent.

- **mode manuel** : une personne sur place déclenche le système en appuyant sur un bouton. Ce système peut être utilisé seul, dans des lieux constamment gardés tel que les parcs ou les Etablissements Recevant du Public. Généralement, toutes les installations sont équipées d'un déclenchement manuel, permettant de vérifier régulièrement le bon fonctionnement du matériel.
- **mode à distance** : le déclenchement est réalisé grâce à des moyens de communication. Cela implique que l'installation soit reliée à une source d'énergie. Les moyens de déclenchement à distance les plus couramment utilisés sont :
 - la ligne téléphonique : c'est le minitel qui est le plus employé bien que le téléphone ou Internet peuvent l'être aussi. La seule contrainte est de disposer d'une ligne téléphonique à proximité de l'installation.
 - les ondes radios : le système peut être déclenché par n'importe quel poste émetteur disposant d'une fréquence particulière. L'avantage de ce système réside dans le fait qu'il peut être mis en route de n'importe quel lieu situé dans le périmètre couvert par les ondes radios : par une vigie, les Services d'Incendie et de Secours, les Comité Communaux Feux de Forêt, les services forestiers...
 - le GSM : il est identique au déclenchement précédent. Un téléphone avec un code spécial d'accès peut assurer la mise en route du système.

3.2 Les systèmes mobiles de lutte

Il existe actuellement sur le marché Européen deux systèmes de lutte basés sur la même méthode : l'extinction par explosion.

3.2.1 Les bombes BEAEXTIN®

Le système est constitué d'un récipient sphérique de 5 kg contenant 80% d'eau, 20% de retardant et 40 grammes de poudre explosive reliés à une mèche rapide. Etant donné la faible quantité de poudre qui se trouve dans les bombes BEAEXTIN®, celles-ci ne sont pas considérées par la législation (Française et Européenne) comme étant un produit explosif. Il n'y a donc aucune condition particulière de stockage.

La bombe est placée sur le passage du feu avec la mèche dirigée vers le front de flamme. Lorsque celui-ci arrive, l'extincteur explose. Le triangle du feu est ainsi brisé car il se forme un espace sans oxygène et le liquide projeté refroidit et ignifuge la matière combustible environnante (cf. partie I paragraphe 2).

Le CEREN a testé en situation les bombes BEAEXTIN®. Ces essais, peu nombreux, n'ont pas permis d'obtenir des résultats permettant de garantir une efficacité totale de ce procédé. Au cours des tests, certaines bombes n'ont pas explosé lors du passage du feu. Ce type d'incident pose des problèmes de sécurité pour le personnel notamment lorsqu'il faut récupérer des bombes qui peuvent alors exploser à tout moment (projection de morceaux de plastique rigide).

3.2.2 Les tuyaux explosifs 2RS-System®

Le procédé consiste à placer stratégiquement en amont du front de flamme un tuyau en tissu équipé d'un cordon détonant. Le tuyau dont la longueur varie de quelques mètres à plusieurs centaines de mètres est ensuite rempli d'eau. L'explosion est déclenchée au moment où le feu arrive à proximité immédiate des tuyaux.

L'eau est projetée en grande quantité, sous forme de petites gouttes de chaque côté du tuyau mais aussi en hauteur formant un rideau d'eau. C'est la vitesse considérable atteinte par l'eau qui permet de la pulvériser sous forme de fines gouttelettes. La "vague" de gouttelettes engendre une extinction instantanée du front de flamme et un refroidissement durable des corps en combustion (WAGNER 2RS-Système[®], 2000; Notice descriptive du constructeur).

Pour exemple, avec un tuyau de 100 mètres de long et de 25 centimètres de diamètres, 5000 litres d'eau sont dispersés simultanément sur une surface de 3600 m². Ce tuyau peut être installé en moins de 7 minutes par trois personnes. Le coût du mètre linéaire de tuyau est d'environ 15 € (100 francs).

D'après le constructeur, ce système permet de pallier à deux points critiques lors de l'attaque d'un feu :

- le premier est l'évaporation et le détournement de l'eau envoyée par les lances sous l'action de la chaleur et du vent. Le 2RS-système[®] permet d'assurer la libération de l'eau au plus proche du front de flamme et d'en augmenter son efficacité .
- le second est lié aux températures très élevées qui posent des problèmes considérables aux équipes d'intervention au sol qui doivent s'approcher du foyer pour combattre le feu. Il est possible de commander le 2RS-système[®] à distance si celui-ci a été mis en place avant l'arrivée du front de flammes.

Les tuyaux peuvent être utilisés pour diminuer l'intensité des pointes du front de feu, ouvrir des brèches dans le front de feu, protéger des biens (habitations, fermes, véhicules...). L'efficacité du système peut être augmentée grâce à des additifs d'extinction.

L'agencement d'un ou de deux tuyaux va déterminer la projection du rideau d'eau :

- tuyau simple : il permet une projection bilatérale de l'agent extincteur. La portée latérale est de 18 mètres (soit une largeur de 36 mètres).
- tuyau double : ce sont deux tuyaux simples côte à côte assurant une projection surtout verticale pouvant atteindre une hauteur de 30 mètres.
- tuyau combi : formé d'un gros et d'un petit tuyau pour une projection inclinée, il est adapté au feu de garrigue et de sous-bois (hauteur de végétation basse). Il couvre une hauteur de 12 mètres et une largeur totale de 27 mètres.

Actuellement, le CEREN travaille sur le 2RS-système[®] dans le cadre du projet européen "FIMEX". Il sera donc possible dans quelques temps d'obtenir des informations fiables sur l'efficacité du système et ses conditions d'utilisation.

3.2.3 Bilan de l'utilisation des moyens d'extinction par explosion

Ces procédés, même s'ils paraissent efficaces, exigent l'utilisation de matière dangereuse et délicate à manipuler, surtout en présence du feu. Pendant un incendie, les risques encourus sont déjà importants et il est difficile de concevoir l'utilisation de ce matériel qui, dans les faits, augmente le risque pour le personnel chargé de sa mise en œuvre.

Les Services d'Incendie et de Secours en région PA CA ne sont pour l'instant pas favorables à l'utilisation de ces systèmes car ils ajoutent un danger supplémentaire du à leur caractère explosif. Des études complémentaires sont donc à mener afin de mieux maîtriser l'utilisation de ces procédés et de réduire le risque qu'ils représentent en apportant des améliorations dans leur conception.

Chapitre IV

L'aide à la décision

Outre l'intérêt d'intégrer au mieux la composante hydraulique au sein du dispositif de protection existant (cf. chapitre II), la prise en compte d'un certain nombre de critères est nécessaire avant toute prise de décision concernant son implantation.

L'intégration sera différente en fonction des situations rencontrées et de l'objectif à atteindre :

- **Le type de zone à protéger :**

On peut classer les zones à protéger en trois grands types : les zones forestières stricto sensu, les zones d'interface forêt-habitat, les bâtiments et infrastructures nécessitant une protection individuelle (habitations, établissements recevant du public, décharge brute...).

Dans les trois cas, il sera important de tenir compte des équipements existants à proximité et sur la zone elle-même (qu'ils aient ou non un objectif DFCI : voie d'accès, débroussaillage, bassin, piscine...) et d'examiner la cohérence entre l'équipement projeté et la stratégie de prévention (et de lutte) déjà existante sur le secteur.

En fonction du type de zone à protéger, on s'orientera alors vers des systèmes simples complémentaires aux équipements existants (citernes métalliques...) ou plus complexes destinés à une protection ponctuelle (systèmes spécifiques de prévention ou de lutte).

- **La nature du risque dont on veut se prémunir**

Sans rentrer dans le calcul du risque développé dans le chapitre 4, on peut définir deux natures de risque différentes : le risque d'éclosion et le risque de feu subi. En effet, on n'envisagera pas les mêmes types de dispositifs hydrauliques si la zone concernée est une zone de départ potentiel ou si elle est susceptible de recevoir un feu. A titre d'exemple, on envisagera plutôt un système de brumisation préventive dans le cas d'une zone d'éclosion possible (décharge...) et un système d'aspersion défensive pour la protection de secteurs où le feu pourrait occasionner des dommages aux biens ou aux personnes (maison de retraite, collège...).

Toutefois, de nombreuses zones (ex : interfaces forêt-habitat) sont parfois soumises à ces deux natures de risque. Dans ce cas, on pourra alors s'orienter vers des systèmes mixtes du type "aspersion – micro aspersion) pouvant être utilisés autant en prévention qu'en défense.

- **La destination du dispositif à mettre en place**

En fonction de l'utilisation souhaitée de l'équipement hydraulique que l'on envisage d'implanter, on peut distinguer deux types

- les équipements passifs : ils seront principalement utilisés par les services d'incendie et de secours au moment de la lutte notamment en vue des réapprovisionnement des véhicules. Ce sont des ouvrages essentiellement axés sur la mise à disposition de l'eau (retenues, bassins, citernes, poteaux et bornes d'incendie...). Ils nécessitent des aménagements spécifiques permettant un accès facile à la ressource : aires de manœuvre et de retournement, points de puisage, prises d'eau équipées de sorties aux normes...).
- les équipements actifs : leur utilisation est quasi autonome dans le sens où leur fonctionnement est assuré sans intervention extérieure (à l'exception de leur déclenchement qui peut également être automatisée). Outre le matériel spécifique qui les particularise (perches, buses, tuyaux souples...), ils nécessitent la mise en place d'aménagements complémentaires (station de pompage, réseaux sous pression...) qui pourront avoir une incidence significative en terme d'investissement. A la différence des équipements passifs, ils pourront également être employés pour la prévention.

Dans ce chapitre, la mise en place d'équipements hydrauliques a été mise en perspective avec la législation actuelle concernant les Plans de Prévention des Risques incendie de forêts (PPRif). Cette partie de l'étude reprend donc de larges extraits du document** relatif à la mise en œuvre de ces plans et réalisé à l'initiative de la direction de la prévention, des pollutions et des risques (DPPR), de la direction de l'espace rural et de la forêt (DERF) et la direction générale de l'urbanisme, de l'habitat et de la construction (DGUHC).

Cet ouvrage complet traite spécifiquement du risque d'incendie de forêt. Il s'articule autour de quatre chapitres : la présentation des phénomènes naturels et du risque, la protection contre les incendies de forêt, la cartographie du risque (aléa et enjeux), le dossier réglementaire. La première partie de ce chapitre présente une synthèse des points à retenir lors de la conduite d'une procédure PPRif.

1- La nécessité de préciser les risques et les enjeux

1.1 Les causes

De nombreux facteurs liés aux activités humaines sont à l'origine de l'éclosion et contribuent au développement des incendies de forêt. De même, l'évolution de l'occupation du sol influe notablement sur le risque d'incendie de forêt en raison du développement des zones urbaines situées à l'interface forêt/habitat et de la diminution de zones "tampon" constituées par les espaces cultivés (coupures vertes).

Dans l'ensemble, les causes d'incendie sont inégalement connues^{††}. Aujourd'hui, 65 % des causes de feux en région méditerranéenne ont une origine connue (35 % dans les départements situés en dehors de la zone méditerranéenne). Les sources statistiques recensant les causes identifiées de départs de feu montrent qu'elles sont le plus souvent liées aux activités humaines et peuvent être :

- soit d'origine naturelle : il s'agit uniquement de la foudre, celle-ci ne contribuant que pour 4 à 7% du nombre de départs de feux, principalement au cœur des massifs et pendant le mois d'août. Ce pourcentage peut atteindre 20% dans les Landes. Les surfaces brûlées liées à ce type de cause sont en général réduites compte tenu des conditions météorologiques qui les accompagnent.
- soit d'origine humaine, elles sont les plus nombreuses et sont classées en cinq grandes catégories :
 - causes accidentelles (lignes électriques, chemins de fer, véhicules automobiles, dépôts d'ordures),
 - imprudences (jets de mégots, pique-nique en forêt, jeux d'enfants, etc.),
 - travaux agricoles,
 - travaux forestiers,
 - malveillance.

** ARMINES-Cemagref-DEDALE-MTDA; 2000; Plans de Prévention des Risques Naturels (PPR) risques d'incendies de forêt.

†† En France, deux bases de données sur les incendies de forêts sont disponibles : il s'agit de la base "Prométhée" pour les 15 départements du sud de la France et des statistiques du SCEES pour les autres départements.

1.2 L'évaluation des aléas

1.2.1 Définition

L'aléa est défini comme la probabilité qu'un phénomène naturel d'intensité donnée se produise en un lieu. Deux notions sont à préciser : la probabilité d'occurrence et l'intensité.

La probabilité d'occurrence d'un feu se manifeste sous deux aspects :

- **la probabilité d'occurrence temporelle** correspondant à la période de retour d'un feu. Celle-ci est fondée sur l'analyse de données historiques. Cette observation a des conséquences méthodologiques. Elle permet de retenir un temps de retour de l'événement pour l'ensemble du bassin de risque. Le temps de retour peut être de 10-20-30-50 ans.
- **La probabilité d'occurrence spatiale** : elle correspond à la probabilité, pour chaque zone du bassin de risque, d'être soit à l'origine d'un départ de feu, soit d'être touchée par un incendie.

L'intensité d'un incendie de forêt correspond à la puissance du front de feu. Plusieurs formules permettent, en fonction des caractéristiques du site, de calculer cette intensité (cf. chapitre I).

1.2.2 Aléa de référence

Généralement, la définition d'un aléa de référence permet de fixer le cadre de l'évaluation de l'aléa. Elle se fonde notamment sur l'étude de l'ensemble des feux passés réalisée lors de l'analyse préalable (comprenant les incendies remarquables et recensés sur une carte informative).

Cependant, dans le domaine des incendies de forêt, la détermination d'un aléa de référence est complexe compte tenu de la très forte variabilité spatiale des feux de forêt, contrairement aux autres phénomènes naturels pour lesquels il est aisé de le définir. Sans chercher forcément à identifier le feu correspondant, il faut raisonner à partir d'un ensemble de feux. Il est ainsi possible de définir une occurrence spatiale de référence, appréciée par un ou deux feux représentatifs de la zone d'étude.

Compte tenu de la difficulté pour définir un aléa de référence, il est recommandé de déterminer les conditions de références qui serviront lors de l'évaluation des aléas. Il s'agit de mettre en évidence certaines données caractéristiques telles que l'intensité, les localisations préférentielles, la surface brûlée, les principales directions de vent, la sécheresse de la végétation en se fondant sur l'étude des feux passés.

Les conditions de référence définies sont alors utilisées comme paramètres dans les différentes approches de qualification des aléas. Par exemple, la détermination d'un vent dominant sur le massif permet de fixer certaines conditions nécessaires à l'élaboration d'un modèle de propagation du feu.

Il est à noter que la définition de l'aléa de référence mais également des conditions de référence doit être réalisée avec rigueur et précaution. En effet, l'étude fondée sur des incendies passés doit tenir compte de l'évolution des moyens et des conditions actuelles. Des événements peuvent ne pas s'être produits, ou s'être produits il y a longtemps ou ne pas avoir été enregistrés ; la situation a pu considérablement changer comme la végétation, l'urbanisation, l'équipement de DFCI, Ainsi une zone peut-elle être exposée à un fort aléa et devenir sans risque après une coupe rase ou un incendie.

A l'inverse, dans certaines zones qui n'étaient pas soumises aux incendies dans le passé, l'évolution de la végétation et de l'urbanisme a pu les rendre sensibles aux feux (en relation avec l'augmentation de la biomasse ou la présence d'une source d'éclosion). Dans ce cas, et en l'absence de données historiques sur les sites, il est nécessaire d'élargir l'analyse sur des étendues voisines et comparables à la zone d'étude.

1.2.3 Analyse des composantes d'un aléa

La végétation, les paramètres climatiques, la topographie et les facteurs humains sont les principales composantes de l'aléa.

Chacune des composantes est décrite en précisant les paramètres pris en compte, l'action de la composante sur l'éclosion et la propagation du feu. Ces paramètres sont ensuite utilisés pour déterminer l'intensité et l'occurrence spatiale du feu :

- **La composante végétation.** La caractérisation de la végétation reste une des difficultés majeures rencontrées dans l'évaluation des aléas : d'une part, les données recherchées ne sont pas toujours disponibles car la végétation peut varier d'un endroit à l'autre ; d'autre part, l'évolution de la végétation dans le temps et donc de la masse combustible vont modifier l'aléa. Actuellement, la végétation est cartographiée à un moment donné sans intégrer son évolution. Il serait cependant pertinent de présenter cet aspect dans la note de présentation, en soulignant ainsi la validité d'une carte de végétation. Les paramètres pris en compte peuvent prendre des formes très variées selon les objectifs fixés, la précision recherchée. En règle générale la sensibilité aux feux de la végétation se définit principalement par l'étude de ses caractéristiques mais également par sa sécheresse :
 - les caractéristiques de la végétation : certains paramètres comme la structure (combinaison des strates, de la hauteur et du recouvrement), la biomasse, la composition ont une action directe sur la combustibilité et l'inflammabilité de la végétation. Ainsi les types de peuplements sont cartographiés et caractérisés par expertise ou expérimentation afin de regrouper les espèces considérées comme sensibles aux feux de forêt. Une carte d'inflammabilité ou de combustibilité peut être réalisée en utilisant les modèles de L.Trabaud, du Cemagref..., qui prennent en compte la biomasse et les peuplements auxquels des notes d'inflammabilité et de combustibilité sont attribuées. Les cartes de végétation obtenues ont des représentations différentes qu'il est nécessaire d'homogénéiser afin de les intégrer avec d'autres paramètres dans la qualification de l'aléa.
 - la sécheresse de la végétation : ce paramètre consiste à prendre en compte l'état hydrique des plantes. Les zones les plus sèches sont considérées comme les plus inflammables et les plus combustibles. Celles-ci peuvent être estimées par une valeur moyenne au cours de l'année, à partir d'études statistiques.
- **La composante climatique.** La vitesse et la direction du vent sont les paramètres météorologiques prépondérants dans l'évaluation des aléas. Il existe en effet une relation entre la vitesse du vent et la vitesse de propagation des feux. Vitesse et direction sont mises en évidence selon plusieurs méthodes. L'étude des données statistiques fournies par Météo France est la méthode la plus utilisable. Elle permet d'approcher la situation à l'intérieur de la zone d'étude. Des simulations physiques sont aussi possibles. Une maquette du terrain naturel est alors fabriquée à échelle réduite. L'écoulement de l'air sur la maquette est étudié. Il existe enfin des méthodes de simulation numérique. Température et humidité relative ont également une action sur le départ et la propagation du feu. Elles sont précisées en utilisant les données fournies par Météo France.

- **La composante topographie.** Les paramètres topographiques pris en compte dans les études d'aléas restent parmi les plus simples à obtenir, trois types de paramètres sont prépondérants :
 - la pente : celle-ci a une influence sur la vitesse de propagation d'un feu qui peut être tout à fait différente selon que le feu gravit ou descend une pente. Elle est exprimée en pourcentage ou en degré qu'il est généralement convenu de regrouper en seuils (déterminés à partir de résultats expérimentaux que l'on trouve dans les études bibliographiques).
 - l'exposition : elle est généralement prise en compte pour distinguer les zones sous le vent sur la zone d'étude. Elle peut également servir à déterminer les zones au sud, qui sont plus exposées au soleil et donc plus sèches.
 - l'insolation : ce critère est souvent utilisé pour déterminer les zones plus sèches en fonction de la quantité de chaleur reçue.
- **La composante liée à l'activité humaine.** Cet aspect concerne toutes les formes d'occupation du sol qui ont une action sur l'aléa. Ce sont les abords des routes, des chemins, les zones fréquentées, les interfaces entre le milieu naturel et urbanisé, qui constitue des points de départs de feu potentiels. A l'inverse, certains paramètres comme les activités d'exploitation (débroussaillage...) concourent à diminuer la biomasse combustible.

1.2.4 L'évaluation et la qualification de l'aléa

L'objectif est de déterminer l'occurrence spatiale d'un incendie et son intensité probable. Dans certaines circonstances, les aléas peuvent être fondés sur un seul de ces aspects. C'est le cas lorsque l'intensité sur la zone d'étude est homogène en raison d'une topographie plate et d'une végétation uniforme. Seule l'occurrence sera retenue comme critère de qualification des aléas. Inversement, l'appréciation de l'occurrence d'un feu dépend de données qui ne sont pas toujours disponibles. Dans ce cas, l'intensité sera, seule utilisée.

L'évaluation des aléas ne prend pas en compte les moyens de protection. Les espaces protégés par des parades actives (accès, hydrants, pare-feu, etc.) seront toujours considérés comme restant soumis aux phénomènes étudiés, c'est-à-dire vulnérables. En effet l'efficacité des mesures de protection ne peut être complètement garantie à long terme. Les secteurs intégralement débarrassés de manière durable de toute végétation combustible sont en revanche considérés à risque nul.

L'évaluation et la qualification de l'aléa peuvent être réalisées selon deux approches :

- à dire d'experts,
- par recours à des modèles mathématiques plus ou moins sophistiqués.

Dans les deux cas, le chargé d'étude s'intéressera à l'analyse approfondie des composantes influençant l'éclosion et la propagation du feu. Pour chacune d'elles et selon le degré de complexité de la méthode d'évaluation de l'aléa, il choisit un ensemble de paramètres qui sera par la suite analysé avant d'être cartographié et intégré dans la qualification. Les choix réalisés devront être justifiés.

Dans un premier temps, afin d'être cartographiées, les données brutes doivent être traitées. Généralement on affecte à chacun des paramètres une valeur conventionnelle qui traduit la sensibilité aux incendies. Compte tenu de la représentation de chaque paramètre et notamment des différences d'unités il est préférable de les classer (on définira par exemple pour la végétation des classes du plus inflammable au moins inflammable, il en est de même pour les autres paramètres).

L'analyse des composantes conduit à déterminer l'intensité probable d'un feu et son occurrence ainsi que la contribution de chacune des composantes.

1.3 La définition des enjeux

L'enjeu est ce que la collectivité risque de perdre lors d'un incendie de forêt. Les enjeux concernent notamment les personnes, les biens, les infrastructures et les espaces naturels.

L'objectif est de réaliser un inventaire des enjeux spécifiques à la zone concernée. Dans le cadre d'une étude, on privilégiera une approche qualitative et pragmatique. Elle permet d'assurer la cohérence entre les objectifs de prévention des risques et les dispositions qui seront retenues. Les enjeux seront évalués de façon simple à partir de données issues du cadastre, des plans d'occupation des sols, de photos aériennes, d'expertise de terrain et après discussion avec les acteurs locaux (maires, aménageurs, etc.). L'intérêt est de prendre en compte les différents types d'occupation du sol.

Il convient ensuite de superposer la carte des enjeux à la carte des aléas. L'étude des deux cartes permet de délimiter le plan de zonage réglementaire, de préciser le contenu du règlement, et de formuler un certain nombre de mesures de prévention, de protection et de sauvegarde.

1.3.1 Les enjeux existants

Les principaux enjeux à prendre en considération sont les suivants :

- **Les espaces urbanisés** : il s'agit des zones d'activité, des zones d'habitat denses et diffus et des zones industrielles ou commerciales. L'évaluation prendra également en compte les zones urbaines les plus vulnérables comme les interfaces "forêt-habitat". Pour chacune des zones seront notamment étudiées : la population menacée, les établissements publics, les équipements sensibles, les outils liés à l'activité économique, les réseaux de communication.
- **Les espaces non urbanisés** : il s'agit des zones agricoles, des espaces naturels à vocation touristique ou de loisirs, des forêts de production, des espaces sensibles, etc. Les enjeux spécifiques à ces espaces relèvent d'une part, de leur valeur financière et patrimoniale, d'autre part, de la fréquentation par l'homme. Les considérations écologiques et paysagères sont à intégrer dans ce bilan. La présence de personnes dans la forêt ou dans les zones de loisirs vulnérables aux incendies de forêt augmente l'enjeu. Ces zones de fréquentation seront délimitées, notamment les campings, infrastructures sportives et de loisirs de plein air.
- **Les infrastructures** : elles comprennent les routes et les réseaux de communication divers. On distinguera surtout les lignes électriques, les voies de chemin de fer, les gazoducs. Les routes peuvent être différenciées selon leur accessibilité (route principale, route en cul de sac). Il faut souligner leur rôle particulier de protection (position des moyens de secours, etc.) et d'acheminement des secours.
- **Les dispositifs de lutte et de secours** : il convient aussi de recenser les moyens de lutte et de secours comme les centres de secours, les pistes DFCI, les points d'eau, les citernes, les coupures vertes.
- **Les zones protégées par des équipements** : bien que les équipements de protection ne soient pas pris en compte pour l'évaluation des aléas au stade de l'élaboration du zonage réglementaire, leur présence permettra de définir des zones protégées et des zones non protégées. Dans le domaine des incendies de forêt, les zones protégées sont en fait des zones dites défendables par des

équipements de protection (DFCI). Elles doivent donc remplir certaines conditions : une bonne accessibilité (que ce soit pour l'acheminement et l'intervention des secours mais également pour l'évacuation des personnes), disposer de points d'eau et présenter une réduction de la masse combustible (coupures vertes, zones agricoles). Ces zones sont toujours soumises à l'aléa feu de forêt. Elles peuvent être protégées seulement quand une intervention humaine (sapeurs pompiers) assure leur défense. Cependant la présence au moment opportun des moyens de secours est aléatoire : elle dépend en effet de leur disponibilité. La garantie d'une protection sans faille de ces espaces n'est pas assurée. Les notions de zones défendables et de zones non défendables seront utilisées afin de définir un zonage réglementaire.

1.3.2 Les enjeux futurs

Les aménagements futurs doivent être pris en compte lors de l'élaboration d'un PPRif. Ils ont un impact direct sur l'aléa en le diminuant (suppression de zones combustibles, densification de l'habitat) ou en aggravant le risque par leur présence.

Les enjeux futurs doivent donc être identifiés, à partir du schéma directeur d'aménagement et d'urbanisme ou du plan d'occupation du sol (zone Na et ZAC) et après discussion avec les acteurs locaux (maires, aménageurs,...).

1.4 La détermination des risques

1.4.1 Par combinaison des aléas et des enjeux

Les risques sont la combinaison des aléas et des enjeux. Le regroupement des informations permet de définir les différentes zones de risque d'un massif forestier. Celles qui auront à la fois un niveau d'aléas et d'enjeux élevés, doivent être traitées en priorité.

Détermination des risques par croisements des enjeux et des aléas

Risques		Enjeux		
		faibles	Moyens	FORTS
Aléas	faibles	faibles	Moyens	FORTS
	Moyens	faibles	Moyens/FORTS	FORTS
	FORTS	Moyens	FORTS	TRES FORTS

Aléas et enjeux élevés s'appréhendent au travers de plusieurs critères, utilisés isolément ou combinés entre eux en fonction des éléments connus sur les secteurs concernés :

- les zones caractérisées par des conditions naturelles prédisposantes que l'on peut mettre en évidence à l'aide de cartes climatiques, de cartes de l'inventaire forestier national, etc.
- les communes où, historiquement, les incendies de forêts ont toujours représenté une menace importante,
- les communes où le développement de l'urbanisation et la présence d'habitat dispersé ont multiplié les zones d'interface forêt-habitat et ont donc augmenté les probabilités de départ de feu et les vulnérabilités,

- les communes où le développement rapide des activités a conduit à une augmentation importante des installations humaines exposées au risque d'incendie,
- les communes où le phénomène de déprise agricole a entraîné une fermeture des milieux et par conséquent une sensibilité au feu plus forte. De plus grandes surfaces forestières sont exposées à un risque et des incendies s'y propageant peuvent menacer des enjeux existants ou futurs qui se trouveraient à leur contact.

L'analyse spatiale du risque d'incendie devra donc être appréhendé à différentes échelles. Au niveau d'une commune ou d'un massif forestier, une carte (au 1/25000^{ème} ou au 1/10000^{ème}) superposant les aléas et les enjeux permettra de délimiter les différentes zones de risque, d'évaluer les zones de priorités dans une stratégie de PFCI et de prévoir les équipements adaptés en conséquence.

1.4.2 La notion de secteur à risque : les zones potentielles de départ de feu et les zones susceptibles de recevoir un feu.

La notion de risque étant relative, il est indispensable de faire la différence entre un risque d'éclosion sur une zone et un risque subi par une zone car le problème sera abordé de façon différente suivant le cas :

- **le risque d'éclosion** : représente la probabilité d'avoir un départ de feu dans la zone concernée.
- **le risque de feu subi** : c'est la probabilité qu'une zone soit victime d'un incendie qui se propage.

En effet, un site peut présenter un risque moyen (aléas forts et enjeux faibles) et être une source de danger très important si, par rapport à la propagation d'un incendie, il est placé en amont de zones possédant des enjeux forts et risquant de subir l'incendie. Dans ce cas, malgré un risque moyen, il faut traiter ce site comme étant une priorité et procéder aux aménagements nécessaires à la réduction du risque d'éclosion.

A titre d'exemple, en région PACA, une aire d'autoroute qui se trouve du côté sud des voies possède généralement un risque d'éclosion important mais son risque subi est faible. A l'inverse, cette même aire d'autoroute côté nord, possède un risque d'éclosion faible et un risque subi élevé.

2- La concertation avec les acteurs concernés

Les retours d'expérience dans le domaine des feux de forêts montrent que les points faibles rencontrés dans l'application d'une stratégie globale sont généralement dus à un manque de concertation entre les différents acteurs.

L'élaboration d'un projet dans le cadre de la PFCI repose sur une démarche de concertation et de dialogue. Elle permet de mettre en commun des informations détenues par chacun des acteurs (et pas forcément accessibles) et favorise le suivi et la transparence des étapes du projet. Elle contribue ainsi à l'instauration d'un climat de confiance nécessaire à l'appropriation des risques et à la discussion des choix qui fondent le projet.

Il est indispensable d'associer les différents acteurs présentant des compétences administratives, techniques et politiques, mais aussi des connaissances locales sur les phénomènes et leurs conséquences :

- les services de l'Etat,
- les collectivités locales,

- les experts du domaine : sapeurs pompiers, forestiers, scientifiques
- les socio-professionnels concernés par les risques feux de forêts (agriculteurs, exploitants forestiers,...).
- les associations : de protection de la nature, de loisirs, de chasseurs ...

En effet, l'intérêt de mettre en place un équipement hydraulique en forêt repose également, outre son aspect strictement DFCl, sur la possibilité qu'il offre de répondre à d'autres usages (multifonctionnalité). Ses caractéristiques, son positionnement, son utilisation devront donc par conséquent être réfléchis en concertation avec les autres acteurs et usagers de la forêt.

3- Les critères à prendre en compte dans le choix d'un matériel spécifique

3.1 Les conditions de sites

Afin de définir le type de matériel le mieux adapté au projet, il faut avant tout caractériser le site concerné et les besoins auxquels doit répondre l'installation à mettre en place.

Les chapitres précédents ont montré qu'il était nécessaire de s'insérer dans une stratégie globale pour toute installation de PFCI. Cette stratégie englobe un certain nombre de paramètres tels que la délimitation et la caractérisation des zones à protéger, la notion de risques et d'enjeux.

L'analyse des composantes des aléas (cf. § 1.2.3), qui permet de déterminer le risque encouru sur la zone à protéger, examine déjà une grande partie des conditions de sites : la végétation, les paramètres climatiques, la topographie, les facteurs humains auxquels il faut ajouter l'historique des feux sur la zone. Il est donc primordial de recueillir les données les plus exhaustives possibles sur les conditions de site lors de la première phase de l'étude, puisque celles-ci seront ensuite réutilisées pour analyser le matériel spécifique qui semble le plus adapté.

D'autres facteurs sont également à prendre en compte pour compléter la caractérisation du site :

- **l'aérologie** : c'est l'étude des propriétés des couches inférieures de l'atmosphère (troposphère et stratosphère. Elle permet de déterminer l'écoulement des vents dans la zone. Le vent dominant, caractérisé par le recueil des données climatiques, est influencé par la configuration du site (topographie, végétation...) qui va modifier sa direction et sa puissance.
- **l'accès au site** : il est utile de définir la facilité d'accès au site (routes goudronnées, pistes DFCl de 1^{ère} ou 2^{ème} catégories, chemins forestiers...) ainsi que les temps d'accès (distance entre le Centre de Secours le plus proche et la zone concernée). Cet élément de configuration est important à la fois pour la construction et l'entretien de l'installation, mais aussi pour les problèmes de déclenchement et de vérification de bon fonctionnement du système. Il permet aussi de déterminer le temps d'arrivée des secours sur place.
- **la fréquentation** : c'est un paramètre partiellement défini dans l'étude des enjeux de la zone. Il permet non seulement d'avoir un aspect quantitatif mais aussi qualitatif de ce facteur, de connaître et de caractériser les personnes susceptibles de fréquenter le site à protéger (chasseurs, promeneurs, randonneurs...). Il doit aussi prendre en compte les problèmes de vandalisme qui peuvent être un facteur déterminant dans le choix d'un matériel.
- **la présence d'infrastructures** : sous la forme d'un inventaire et d'une caractérisation des infrastructures mises en place telles que les chemins

aménagés pour la promenade, les jeux pour enfant, les maisons, les parkings... Elles peuvent être classées en deux catégories pour définir les points sensibles de la zone :

- une catégorie qui concerne les risques de **feux subis**. C'est à dire que ces infrastructures sont dans une zone de passage d'un feu potentiel. L'équipement à mettre en place devra surtout assurer un rôle de protection.
- une seconde catégorie prend en compte les risques **d'éclosion**. C'est à dire que ces infrastructures **augmentent** le risque de départ de feu. Dans ce cas, il est nécessaire de privilégier le rôle de la prévention plutôt que celui de la protection. Par exemple, on peut envisager les jours où le risque est élevé, de maintenir mouillée une zone potentielle de départ de feu. Le matériel mis en place doit donc assurer cette fonction sans pour autant répondre aux besoins de la protection.

Il est tout à fait possible d'avoir des infrastructures classées dans les deux catégories.

- **les ressources en eau** : directement ou indirectement disponibles sur le site. Un inventaire des cours d'eau et de leurs caractéristiques (débit, débit d'étiage, période d'écoulement...) permet de déterminer les réserves disponibles. Quelques aménagements peuvent être nécessaire (détournement d'un cours d'eau, barrage, bassin...) pour assurer une capacité d'eau suffisante. En fonction de ces réserves, les matériels de DFCI seront plus ou moins adaptés.

3.2 Surveillance et déclenchement

L'un des points à définir dans l'étude préalable à la mise en place de toute installation est celui de la surveillance de la zone protégée. Elle devra notamment déterminer la nécessité d'une présence humaine en complément des moyens de surveillance traditionnels (vigies, systèmes vidéos). L'affectation d'un responsable sur le site permet ainsi, à tout moment, de déclencher l'alerte et le système de protection, mais aussi de corriger une erreur d'information (fausse alerte...). Cette personne peut aussi être chargée de veiller au bon fonctionnement du système en le déclenchant régulièrement, en signalant les fuites et en en assurant la maintenance.

Si l'étude envisage une surveillance automatisée pour pallier à l'absence de présence humaine (ou pour renforcer celle-ci), il sera possible de recourir à des émetteurs récepteurs capables de couvrir la zone à protéger (cf. chapitre III, paragraphe 3.1.3).

Le mode de déclenchement d'un site dépend essentiellement du mode de surveillance. Il peut être répertorié en trois catégories : automatique, manuelle et à distance (cf. chapitre III, paragraphe 3.1.4).

Surveillance et déclenchement sont deux paramètres qui peuvent influencer le choix d'un matériel en fonction des contraintes de mise en route. Par exemple, si un système de prévention doit être actionné systématiquement pendant les périodes à risque, il est conseillé d'opter pour un mode de déclenchement automatique. Dans le cas d'un risque induit élevé, il est intéressant de pouvoir déclencher manuellement le système dès que le départ de feu est repéré.

3.3 L'entretien

Ce paramètre est généralement peu pris en compte. Il est pourtant, notamment pour des matériels spécifiques, très important.

Les coûts inhérents à la maintenance des installations sont souvent élevés (environ 3 à 7 % par an du coût total de l'installation). Bien que généralement adaptés à la forêt, ces matériels sont soumis toute l'année aux conditions du milieu naturel (neige, vent, gel...).

L'entretien nécessaire à la pérennisation du système, ainsi que sa fréquence, dépend essentiellement du type de matériel mis en place : plus il est sophistiqué, plus le nombre d'intervention est important.

3.3.1 Les contraintes liées au site

La mise en place de matériel en forêt entraîne des complications et des surcoûts au niveau de l'entretien des matériels :

- l'accès au site implique la réalisation de pistes et chemins de desserte permettant le passage de matériels lourds (camions citernes de réapprovisionnement, nacelles permettant le travail en hauteur...).
- dans le cas de matériels spécifiques, leur positionnement en hauteur (cime des arbres, piquets ou mâts) nécessite l'utilisation d'équipements de protection entraînant une augmentation du coût de l'entretien (il faut plus de matériel et plus de temps pour effectuer la même tâche).

3.3.2 La préparation du matériel au changement de saison

Pour toutes les installations, deux séries d'entretien sont généralement indispensables :

- **la mise en route** avant la saison à risque. Elle permet de tester le matériel après hivernage et d'assurer la réparation ou le changement des pièces défectueuses. Toutes les parties de l'installation sont contrôlées et changées si nécessaire afin que le système soit totalement opérationnel en début de saison.
- **l'hivernage** lorsque la saison est terminée. Cette étape prépare le matériel à passer l'hiver et à ne pas fonctionner pendant une longue période (vidange de l'installation). Certains éléments fragiles sont protégés voire même retirés pour ne pas subir de détérioration.

3.3.3 La sûreté de fonctionnement

C'est un outil utilisé dans l'industrie pour représenter la fiabilité d'un matériel d'un point de vue macroscopique et qui permet de savoir si le système remplit ou non sa fonction. L'état des différents éléments à l'intérieur du système n'est pas pris en compte.

La notion de **point critique** d'un système doit aussi être intégrée lors du choix d'un matériel. Un point critique peut être défini comme un élément ou une étape indispensable au bon fonctionnement de l'ensemble du système. Si cet élément est défaillant, le système ne marche plus. Il faudra donc vérifier, sur le long terme, la fiabilité de tous les éléments considérés comme "point critique".

Par exemple, le poste de commande d'un système automatisé qui gère le déclenchement des asperseurs et leurs modes de fonctionnement, est un point critique du système. Si ce poste tombe en panne, l'ensemble du système cesse de fonctionner.

Dans le cadre de la DFCl, les matériels spécifiques fabriqués ne rentrent pas dans une logique de développement industriel. La sûreté de fonctionnement et les points critiques ne sont pas optimisés. C'est une logique d'adaptation au milieu qui est suivie et la plupart de ces matériels sont encore dans une phase de maturation en constante évolution.

3.3.4 Les contrats d'entretien

L'entretien doit être effectué par des gens formés à travailler sur ce type de matériels. Pour faciliter la maintenance, il est nécessaire de penser à la rédaction d'un contrat d'entretien, voire de le négocier lors du choix de l'installation. Cela permet d'assurer la maintenance des installations avec du personnel qualifié et garantit un accès rapide aux pièces détachées.

3.4 Le coût total d'investissement

La protection d'un site contre les incendies par un matériel hydraulique spécifique est une opération coûteuse. Il faut à la fois équiper la zone à protéger avec le matériel choisi, mais surtout mettre en place toute l'infrastructure hydraulique qui en assurera l'alimentation.

C'est généralement ce coût très élevé qui dissuade certains financeurs d'intervenir dans le volet hydraulique de la DFCI. Les décideurs devront donc orienter leur choix vers le matériel qui répond le mieux aux besoins en fonction des crédits qui peuvent leur être alloués. Il n'est donc pas forcément envisageable de financer l'ensemble de l'installation d'un seul coup. Dans ce cas, les travaux à effectuer seront répartis par tranche afin d'étaler les investissements sur une plus grande période.

Pour exemple, il est possible d'envisager la construction du réseau hydraulique avec une seule pompe électrique. La pompe thermique de secours sera financée l'année suivante. Au niveau des matériels de protection, on donnera la priorité aux zones les plus exposées et on couvrira l'ensemble du site l'année suivante....

Pour rentabiliser certaines parties de l'installation mise en place, telles que les infrastructures hydrauliques, il est conseillé, si possible, de mettre en place des utilisations connexes de celles-ci : irrigation de cultures ou de coupures stratégiques, point d'eau cynégétique, sylvopastoralisme....

3.5 Le coût de fonctionnement

L'installation d'un matériel hydraulique nécessite une certaine quantité d'eau, d'énergie..., qu'il faudra financer à chaque saison. Le budget prévisionnel de chaque installation doit prendre en compte le coût de fonctionnement. Chaque matériel a un coût de fonctionnement qui lui est propre.

L'étude préalable déterminera ce coût de fonctionnement et essaiera, dans la mesure du possible, de le minimiser en envisageant :

- l'utilisation d'eau brute plutôt que celle de l'eau potable,
- le raccordement à des réseaux hydrauliques existants,
- la consommation d'électricité pendant les heures creuses (mise en route d'une station de pompage pendant la nuit si possible),
- l'utilisation de matériel dont les pièces détachées sont facilement disponibles sur le marché (obtention rapide, coût raisonnable...)

4- Vers un choix raisonné

Lors des différentes étapes indispensables à la mise en place de matériels hydrauliques pour la DFCI, il est très important de garder en vue les objectifs fixés et de bien définir les besoins auxquels devra répondre l'installation.

Toute la cohérence du projet dépend de l'étude préalable qui doit absolument être menée avec le plus grand soin par les services compétents, sans oublier l'importance d'un dialogue et d'une concertation avec l'ensemble des acteurs concernés. Cette étude doit également être intégrée dans une logique de stratégie globale pour la DFCI (cf. chapitre II).

A la suite de cette première étape, l'étude doit déterminer le ou les matériels qui répondent le mieux aux contraintes du site et aux besoins exprimés. Tous les points étudiés dans les paragraphes précédents sont à prendre en compte. Ils permettent de mieux caractériser les matériels correspondant aux besoins et de s'assurer de la pérennisation de l'installation.

On peut considérer que toutes caractéristiques et fonctions supplémentaires d'un matériel qui ne répondent pas à un besoin exprimé est une perte d'argent. Les matériels les plus sophistiqués et/ou les plus récents ne sont pas forcément les plus adaptés. Ils sont souvent plus chers à l'achat et à l'entretien, et plus fragiles.

Conclusion Générale

Cette étude présente un inventaire quasi exhaustif des équipements hydrauliques aujourd'hui utilisés en France dans le cadre de la Défense des Forêts Contre l'Incendie.

Si les équipements de stockage, le transport et l'alimentation sous pression sont des sujets maîtrisés, le manque de retours d'expérience concernant les matériels spécifiques (brumisation, aspersion, systèmes mobiles de lutte), ne permet pas de tirer des conclusions sur leur efficacité réelle vis à vis du feu.

Pour le même motif et en l'absence de tests scientifiques réalisés par un organisme de recherche spécialisé, il n'a pas été possible de se livrer à une comparaison objective entre ces différents matériels visant à déterminer leurs aptitudes à ralentir voire arrêter un incendie de forêt.

Cette carence appelle plusieurs remarques :

- il apparaît aujourd'hui indispensable de procéder à une caractérisation des performances de ce type de matériel. Des programmes de recherche en ce sens sont donc à initier dans les plus brefs délais. Dans cette optique, des propositions pour la caractérisation et la mesure de l'efficacité des différents systèmes de prévention et de lutte sont présentées en annexe du présent rapport par le Cemagref, l'IUT Hygiène et sécurité Environnement et le CEREN, membres du comité de pilotage de cette étude.
- l'efficacité de ces matériels pouvant fortement varier en fonction des conditions de site (topographie, végétation, aérologie...), il sera donc également nécessaire de procéder à des expérimentations soit en modèle réduit, soit par modélisation des phénomènes une fois la caractérisation des phénomènes physiques en jeu et de la distribution de l'eau effectuée.
- enfin, il conviendra d'accorder une attention particulière aux retours d'expérience dans le cas où un incendie viendrait à toucher un massif équipé d'un dispositif de ce type.

Au vu du montant des investissements lié à la mise en place de ce type de matériel, il s'agira donc pour les décideurs de bien apprécier l'opportunité d'installer un équipement spécifique de protection dans les espaces naturels dont ils ont la charge. Les chapitres de ce rapport traitant de l'aide à la décision devraient leur permettre de mieux identifier la nature et le type d'équipement approprié aux conditions de sites et au contexte institutionnel, humain et financier en présence (insertion dans une stratégie globale, concertation des acteurs concernés, dépenses liées aux coûts d'entretien et de fonctionnement...).

Compte tenu de l'accroissement de la surface boisée et de l'augmentation démographique qu'elle connaît, la région méditerranéenne restera sans nul doute encore longtemps sensible aux incendies de forêt (la moyenne 73/97 est de 9114 ha/an). Si l'eau reste le principal moyen d'extinction d'un feu, sa mise à disposition (équipements de stockage, réseaux sous pression...) et ses modes d'utilisation (matériels spécifiques) constituent encore, malgré des avancées technologiques récentes, une charge financière importante pour la collectivité.

Celle-ci devra toutefois être comparée avec l'estimation des pertes considérables liées aux incendies de forêts en région Provence Alpes Côte d'Azur (pertes forestières, matérielles et humaines) estimées à environ 7,5 millions d'Euros/an^{††}).

^{††} Source : Orientations Régionales Forestières – Ministère de l'Agriculture et de la Pêche.

ANNEXES

- Annexe 1 : Fiches techniques et tableaux récapitulatifs des différents équipements hydrauliques
- Annexe 2 : Questionnaire et réponses des constructeurs sur les coûts d'installation et d'entretien de matériels spécifiques en fonction de différentes configurations d'installation
- Annexe 3 : Propositions de compléments d'études pour la caractérisation et la mesure de l'efficacité des différents systèmes de prévention et de lutte (Cemagref, IUT Hygiène et sécurité Environnement, CEREN)
- Annexe 4 : Liste des organismes invités à participer au comité de pilotage
- Annexe 5 : Comptes-rendus des comités de pilotage des 19 juillet 2001 et 26 septembre 2001
- Annexe 6 : Glossaire
- Annexe 7 : Sélection bibliographique