



**HAL**  
open science

# La grêle en Tunisie : diagnostic et gestion d'un risque agricole émergent

Mohamed Mohsen Latrach

► **To cite this version:**

Mohamed Mohsen Latrach. La grêle en Tunisie : diagnostic et gestion d'un risque agricole émergent. Géographie. Université Paul Valéry - Montpellier III, 2013. Français. NNT : 2013MON30022 . tel-00941785

**HAL Id: tel-00941785**

**<https://theses.hal.science/tel-00941785>**

Submitted on 4 Feb 2014

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**UNIVERSITÉ PAUL - VALÉRY**  
MONTPELLIER III (DÉPARTEMENT DE GÉOGRAPHIE)  
*École Doctorale (60)*  
*Laboratoire GRED (Gouvernance, Risque, Environnement, Développement)*

**DOCTORAT EN GÉOGRAPHIE ET AMÉNAGEMENT DE L'ESPACE**  
Section CNU 23

# **LA GRÊLE EN TUNISIE : DIAGNOSTIC ET GESTION D'UN RISQUE AGRICOLE ÉMERGENT**



Soutenue par  
**LATRACH Mohamed Mohsen**

Sous la direction de  
**VINET Freddy**

Le 18 octobre 2013

**Membres du jury :**

- **BEN BOUBAKER Habib** (Maître de conférences-HDR) : Examineur
- **CARREGA Pierre** (Professeur des Universités) : Rapporteur
- **GAMMAR Amor Mokhtar** (Professeur des Universités) : Rapporteur
- **MIOSSEC Jean-Marie** (Professeur des Universités) : Examineur
- **VINET Freddy** (Professeur des Universités) : Directeur de thèse

**ANNEE UNIVERSITAIRE 2013/2014**







UNIVERSITÉ PAUL - VALÉRY  
MONTPELLIER III (DÉPARTEMENT DE GÉOGRAPHIE)

DOCTORAT EN GÉOGRAPHIE ET AMÉNAGEMENT DE L'ESPACE

**LA GRÊLE EN TUNISIE : DIAGNOSTIC ET  
GESTION D'UN RISQUE AGRICOLE  
ÉMERGENT**

**LATRACH Mohamed Mohsen**  
Université Manouba  
Faculté des Lettres, des Arts et des Humanités  
Manouba 2010  
[alatrach\\_mm@hotmail.fr](mailto:alatrach_mm@hotmail.fr)

**LATRACH Mohamed Mohsen** est titulaire d'un Diplôme d'Études Approfondies en géographie physique (spécialité climatologie) en 2003 à la Faculté des Sciences Humaines et Sociales de Tunis. Doctorant en géographie et aménagement de l'espace à l'Université Paul-Valéry Montpellier III et membre au laboratoire GRED (Gouvernance, Risque, Environnement, Développement) depuis 2008. Il est Assistant au département de géographie de l'Université Mannouba, Faculté des Lettres, des Arts et des Humanités depuis 2011.

## Résumé

En Tunisie, le caractère aléatoire du phénomène de la grêle, qui a comme corollaire son extrême variabilité, en fréquence d'apparition, en localisation et en intensité, a empêché un suivi permanent de ce type de précipitations. Le manque de périodes d'observation assez longues et les lacunes au niveau des données disponibles ont laissé cet aléa peu étudié donc peu connu. La trace de la grêle provoque de lourds dégâts agricoles chaque année et soulève des questions quant aux stratégies de gestion d'autant plus que les systèmes anti-grêle sont quasiment absents.

La présence des précipitations de grêle ou d'averse de grêle en Tunisie est commandée souvent par un rythme méditerranéen à l'instar des autres formes de précipitations telles que les pluies. Ce phénomène très localisé en Tunisie, concerne particulièrement le nord-ouest et le centre-ouest du pays, abritant les reliefs les plus élevés, demeurant ainsi le siège des trajectoires ouest/est, nord-ouest/sud-est et sud-ouest/nord-est des nuages de grêle. Les dégâts résultant de ce phénomène, qui touchent différents biens de valeur, menacent souvent le domaine d'agriculture qui est le secteur d'activités humaines le plus vital pratiquement en plein printemps et tout l'été ; certaines années, l'agriculteur voit ses récoltes totalement détruites par ce fléau. La région de Kasserine au Centre-ouest de la Tunisie est la région la plus vulnérable et ses vergers de pomme sont les plus touchés. Les pertes se classent le plus souvent très graves mais elles se trouvent d'autant plus prégnantes que les moyens anti-grêle et les systèmes d'assurance agricole contre ce fléau ne sont souvent pas utilisés par les agriculteurs.

Illustré de 162 figures, 39 tableaux et 112 photographies, la présente étude est un essai de caractériser le phénomène de la grêle en Tunisie durant la dernière trentaine d'années, depuis les facteurs naturels de ses manifestations jusqu'à sa gestion en passant par l'analyse des aléas, des vulnérabilités et des enjeux. Ainsi, une première partie, présente les manifestations des chutes de grêle en Tunisie à différents pas de temps ainsi que les trajectoires des nuages porteurs de grêle. La deuxième partie s'attache à étudier la vulnérabilité du secteur agricole face à cet aléa. Enfin, la troisième partie pose la question de la gestion du risque-grêle en Tunisie, à travers la présentation des stratégies d'intervention des différents acteurs.

## Abstract

In Tunisia, the random character of hail phenomenon, which has as corollary its extreme variability, in frequency, location and intensity, prevented a continued study of this kind of falls. The lack of long periods of observation and the gaps in the available data level explain the little interest that hail suggested among scientists. Hail falls cause heavy agricultural damage every year which raise different elements at risk especially crops while no efficient mean of protection is widely used.

The hail falls in Tunisia follow a Mediterranean rhythm as the other forms of precipitation such as rain. This phenomenon which seems very localized in Tunisia, concerns particularly the northwest and the west central regions of the country, with the highest reliefs of the country. The tracks of hail showers follow west/east, northwest/southeast and southwest/northeast directions. In addition, and despite the damages that result from the phenomena which may touch many valuable sectors, agriculture is the economic sector that more suffers from hail especially when hail falls in spring and in summer. Some years, farmers find their harvests totally destroyed by this plague. The region of Kasserine in the central western of Tunisia is the most vulnerable region and its apple orchards are the most touched. The losses are mostly classified more and more dangerous when anti-hail tools and agricultural insurance systems against this plague are not often used by farmers.

Illustrated with 162 figures, 39 tables and 112 photos, the present study is an attempt to characterize the hail phenomenon in Tunisia during the last thirty years, starting with the natural factors, going through an analysis of vulnerabilities and exposed assets and ending with disaster reduction strategies. So, the first part presents the characteristics of hail falls in Tunisia at different scales as well as the trajectories of hail generating clouds. The second part studies the vulnerability of the agricultural sector in front of this hazard focusing on orchards. The third part asks the question of prevention and protection measures in Tunisia, through the presentation of the strategies of intervention of different actors around question like the development of insurance and nets.

**Mots-clés :** grêle, vulnérabilité, agriculture, assurance, gestion du risque, Tunisie.

**Words-keys:** hail, vulnerability, agriculture, insurance, risk-management, Tunisia.

*À ma chère Tunisie...*

## *Remerciements*

*Ce travail de thèse conclut quatre ans de travail, je tiens en ces quelques lignes à exprimer ma reconnaissance envers tous ceux qui de près ou de loin y ont contribué. J'exprime en premier lieu ma gratitude à Monsieur Freddy VINET, professeur de l'enseignement supérieur à l'université Paul-Valéry, Faculté Montpellier 3, qui a dirigé ce travail de thèse. Malgré ses occupations professionnelles croissantes, il a toujours su se rendre disponible pour suivre mes travaux. Je tiens à rendre hommage à la pertinence de ses conseils, à sa capacité à élargir la réflexion ainsi qu'à ses qualités en matière de communication, d'orientations et en particulier de rédaction scientifique. A maintes reprises, il a su me faire profiter de ses compétences scientifiques et ses connaissances en matière de climatologie. Il a ainsi grandement contribué à ma formation grâce à ses encouragements pour participer dans les actes de colloques et de conférences. J'étais très heureux de faire mon pas recherche de thèse à ses côtés, mais aussi à me laisser un très bon souvenir de quatre ans de travail, qu'il soit ici chaleureusement remercié.*

*Mes remerciements s'adressent profondément aux les différents membres de jury, pour avoir accepté de lire et d'évaluer ce travail. Je remercie également Monsieur Jean-Marie MIOSSÉC, grand connaisseur de la Tunisie, pour ses conseils bibliographiques et pour sa participation à ce jury, Messieurs Pierre CARREGA et Amor Mokhtar GAMMAR pour avoir accepté de rapporter sur ce travail et Monsieur Habib BEN BOUBAKER pour avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Je tiens à remercier aussi ma professeure de climatologie en Tunisie Madame Latifa HENIA pour ses conseils et ses orientations avisés sur le phénomène de la grêle et sur le climat de la Tunisie en général. Je souhaite aussi remercier Monsieur Abdelkarim DAOUED pour son indéfectible soutien aussi bien sur le plan humain que scientifique.*

*J'assure ma reconnaissance à Monsieur Ahmed SNADLY, expert de la Caisse Tunisienne d'Assurances Mutuelles Agricoles, qui a participé à cette étude. Il m'a fait profiter de sa grande expérience en matière d'assurance-grêle. Il a consacré beaucoup de temps et d'attention à ce travail et avec lui j'ai pu bénéficier d'une parfaite connaissance sur terrain du phénomène de la grêle.*

*Ce travail a bien sûr été facilité par la bonne ambiance qui règne au Laboratoire GRED (Gouvernance, Risques, Environnement, Développement). Je remercie l'ensemble des membres, chercheurs et personnels pour leur accueil, leur convivialité et leur aide.*

*Je tiens également à remercier toutes les personnes et les responsables travaillant à l'Institut National de la Météorologie de Tunis, au Ministère de l'Agriculture avec ses différentes directions régionales, en particulier les Commissariats Régionaux pour le*

*Développement Agricole, au GI Fruits, aux compagnies d'assurances, CTAMA, COMAR, STAR, ASTREE, LLOYD, FTUSA et au service d'Archive tunisien, qui m'ont réservé un accueil amical et une bonne aide, contribuant ainsi à me laisser un très bon souvenir de ces quatre années.*

*Madame Monique GHERARDI et Monsieur Eric PIERSON ont assuré la correction de la langue de cette thèse. Je voudrais associer mes remerciements à leurs disponibilité et à leurs attention surtout leurs conseils en termes de rédaction.*

*Je voudrais enfin dire toute mon affection pour celles et ceux, ma famille, mes amis, qui de près ou de loin, m'ont accompagné et m'ont soutenu au cours de ces années. Je dédie ce travail à mes parents qui m'ont accordé soutien et confiance durant toute la durée de mes études, à ceux qui ont partagé les joies et satisfactions mais aussi les moments difficiles ou de doutes de ces six dernières années.*

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION GÉNÉRALE.....</b>	<b>13</b>
-----------------------------------	-----------

## **PREMIÈRE PARTIE : CARACTÉRISATION DE L'ALÉA GRÊLE EN TUNISIE**

Chapitre 1 : Données et méthodes pour l'étude du risque-grêle en Tunisie.....	21
Chapitre 2 : Distribution spatiale et variation saisonnière des chutes de grêle et leurs manifestations météorologiques en Tunisie.....	35
Chapitre 3 : La trace de la grêle au sol : Intensité et trajectoires des nuages de grêle.....	89

## **DEUXIÈME PARTIE : CHUTES DE GRÊLE ET AGRICULTURE EN TUNISIE : VULNÉRABILITÉ AGRICOLE ET DÉGÂTS DE GRÊLE**

Chapitre 4 : Vulnérabilité des cultures face à l'aléa grêle en Tunisie.....	127
Chapitre 5 : Les dégâts de la grêle et les taux de cotisation.....	173
Chapitre 6 : Les graves chutes de grêle des 02 et 10 mai 2002 : des événements révélateurs de la vulnérabilité de l'agriculture.....	231

## **TROISIÈME PARTIE : GESTION DU RISQUE-GRÊLE EN TUNISIE**

Chapitre 7 : Les acteurs et les méthodes de gestion du risque-grêle actuels en Tunisie.....	259
Chapitre 8 : L'assurance-grêle en Tunisie : un produit encore peu diffusé.....	285
Chapitre 9. Vers de nouveaux modes de gestion durable du risque-grêle : Filets paragrêle, assurance antigrêle active et diversification des cultures ou/et des revenus .....	301

<b>CONCLUSION GÉNÉRALE.....</b>	<b>347</b>
---------------------------------	------------

## **LEXIQUE DES SIGLES**

**AVFA** : Agence de la Vulgarisation et de la Formation Agricole.

**CNDA** : Commissariat National pour le Développement Agricole.

**COMAR** : Compagnie Méditerranéenne d'Assurances et de Réassurances.

**CRDA** : Commissariat Régional pour le Développement Agricole.

**CTAMA** : Caisse Tunisienne d'Assurances Mutuelles Agricoles.

**DGEDA** : Direction Générale des Etudes et du Développement Agricole.

**DGPA** : Direction Générale de la Production Agricole.

**DNPV** : Direction Nationale de la Production Végétale.

**FTUSA** : Fédération Tunisienne des Sociétés d'Assurances.

**GI FRIUTS** : Groupement Interprofessionnel des fruits.

**INM** : Institut National de la Météorologie.

**ONAGRI** : Observatoire National de l'Agriculture.

**OTC** : Office de la Topographie et du Cadastre.

**OTD** : Office des Terres Domaniales.

**SMVDA** : Société de Mise en Valeur et de Développement Agricole.

**STAR** : Société Tunisienne d'Assurances et de Réassurances.

**UTAP** : Union Tunisienne de l'Agriculture et de la Pêche.



## INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les études de climatologie en Tunisie au cours des dernières décennies s'orientent en majorité vers l'analyse des données thermiques et pluviométriques, étant donné la disponibilité des séries de mesures suffisamment longues et de fiabilité satisfaisante dans un grand nombre de stations du réseau. Les phénomènes climatiques dits accidentels, tels que la grêle, la neige ou la gelée, entre autres, sont encore peu connus, parce que peu étudiés, alors que leurs effets sur les activités humaines ne passent pas inaperçus.

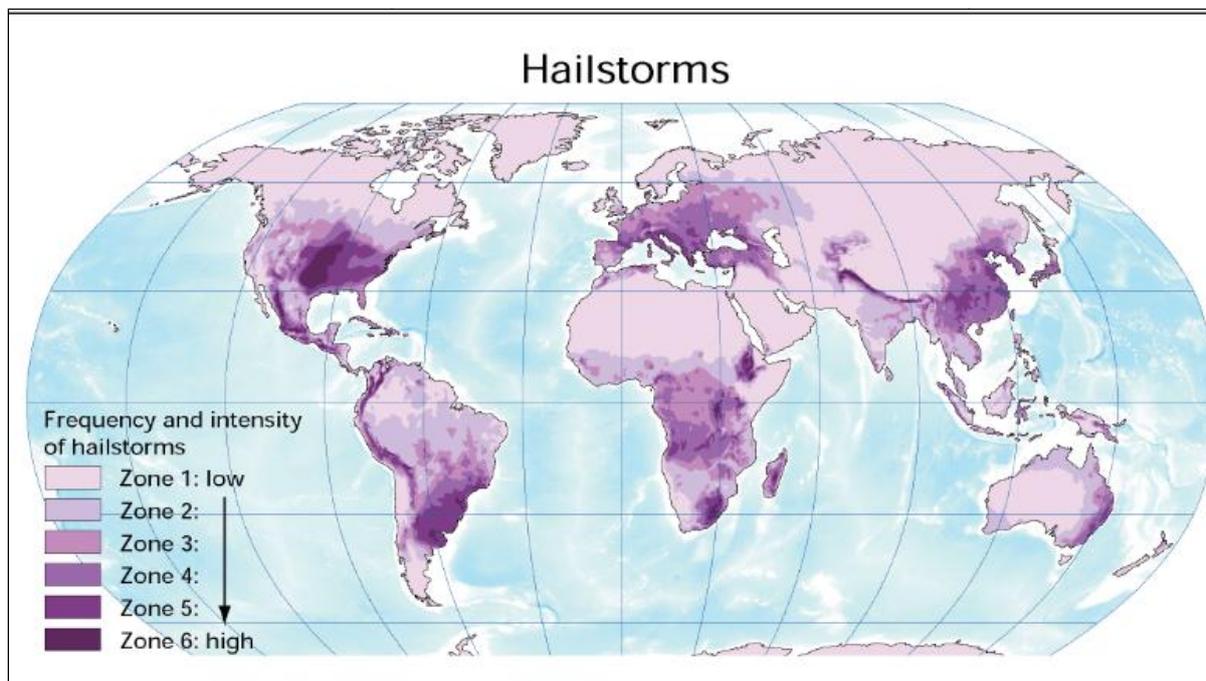
La grêle, un phénomène connu comme typiquement orageux et se caractérisant par une forte variabilité temporelle et spatiale, précipite presque partout dans le Monde, en particulier dans les zones tempérées soumises à de l'instabilité estivale et les zones de montagne équatoriales également soumises à une forte activité orageuse toute l'année. L'occurrence de nombreuses chutes de grêle en Amérique du Nord (les Etats-Unis : CHANGNON S.A., 1974 et 2006 / HARRY J. et al, 1984 et le Canada : BRIMELOW et al, 2002), en Europe Occidentale (l'Angleterre : WEBB J. et al, 2009, la France : VINET F., 2000, l'Espagne : TUDURI E. et al, 2003, l'Italie : GIAIOTT D. et al, 2003), la Suisse : DIETERLE J.C., 1971, la Grèce : SIOUTAS M., 2001 et la Finlande : TUOVINEN JP., 2008), en Asie du Sud et du Sud-Est (l'Inde : SURESH R., 2012 et en Chine : ZHANG C., 2008), en Amérique latine (l'Argentine : RAUL C. et al, 2006), en Australie (LAIL S., 1976 / HOUSTON WA., 1999 / LEIGH R. et al, 2001 / MCMASTER H., 2001 / SCHUSTER S., 2005), prouve s'il en était besoin que le phénomène grêle est étroitement lié à l'activité orageuse (figure 1). Malgré cette présence très remarquable, et pour le cas de la Tunisie, ce phénomène n'a pas bénéficié jusqu'à aujourd'hui de l'attention des chercheurs et demeure par conséquent peu connu<sup>1</sup>. D'où la nécessité de combler ce manque d'information.

Les dégâts causés par les chutes de grêle touchent différents biens, mais le domaine de l'agriculture semble le secteur le plus menacé ; certaines années, l'agriculteur voit ses récoltes totalement détruites par ce fléau. Tout été, de nombreuses chutes de grêle détruisent des milliers d'hectares de culture. En Tunisie, les deux journées des 02 et 10 mai 2002 restent dans la mémoire de nombreux agriculteurs du Centre-ouest de la Tunisie : 10 741 hectares ont été endommagés, 1730 agriculteurs ont été touchés, dont 1000 furent totalement sinistrés, et une estimation des dégâts de 15 millions DT. Le risque-grêle en agriculture s'aggrave

---

<sup>1</sup> Des rares travaux ont étudié le phénomène de la grêle en Tunisie : SAIDI H en 1976, SAOUI L en 1986 et MOUGOU R et al en 1992 (voir bibliographie).

d'autant plus que les moyens antigrêle restent encore confidentiels et que les systèmes d'assurance contre ce fléau ne sont souvent pas utilisés par l'agriculteur. Les dommages ont pris l'attention des médias et des responsables à l'échelle régionale et même nationale ce qui nous a sérieusement conduit à faire un diagnostic sur ce risque depuis ses manifestations naturelles jusqu'à sa gestion.



**Figure 1.** Répartition et intensité des orages de grêle sur la surface du globe (source : Munich-Ré).

L'année 2002, avec un total de 51 jours de grêle, ne fut pas une année spécialement grêlifère, comparé à des années 1984, 1986 et 1995 qui comptent chacune plus de 100 jours de grêle. Cependant, le contexte était différent ; au début des années 2000, la grêle est devenue une préoccupation majeure pour les assureurs agricoles et les agriculteurs (en particulier les arboriculteurs) confrontés aux chutes de grêle. Ceci a imposé de plus en plus une protection croissante des récoltes et des revenus des exploitations face au risque-grêle et aux risques climatiques en général.

Avec ce phénomène, il est difficile de savoir où et quand il grêle le plus tant les chutes de grêle semblent rares et aléatoires. Il est difficile aussi de quantifier un météore qui disparaît quelques minutes après sa chute. Cette situation a retardé la connaissance climatologique de la grêle qui progresse, en réalité, sous la pression de la demande sociale : c'est face aux destructions croissantes de récoltes et face aux questions des agriculteurs qui doivent intégrer ce risque à la gestion de leurs exploitations, que la demande d'information est de plus en plus grande.

Il semblait donc nécessaire de faire un bilan de connaissances concernant la grêle en Tunisie depuis les facteurs naturels de ses manifestations jusqu'à la gestion du risque en passant par l'analyse des aléas, des vulnérabilités et des enjeux. Trois grandes parties divisées en neuf chapitres constituent l'ossature de ce travail. Nous tenterons successivement de :

- Présenter les données utilisées (sources des données) et les méthodes établies (gestion des données) pour l'étude du phénomène de la grêle en Tunisie.
- Étudier la dynamique du phénomène de la grêle en Tunisie et détecter, à travers l'analyse de cartes synoptiques, les situations météorologiques types de sa manifestation.
- Étudier l'organisation spatiale de l'aléa grêle et les dimensions temporelles des chutes de grêle servant de base à définir la grêle dommageable à l'origine du risque-grêle.
- Cartographier les secteurs vulnérables. Ceci consiste à identifier et délimiter tous les éléments de l'occupation du sol (espaces et secteurs agricoles notamment) exposés ou à risques.
- Déterminer les dégâts ou la fréquence des sinistres grêle dans le domaine agricole à partir d'études de cas. Cet axe comprend une analyse des événements historiques qui donne lieu à des reconstitutions cartographiques des phénomènes.
- Faire l'inventaire des différentes dispositions directes et indirectes de lutte contre la grêle instituées par l'État ou par les organismes en question ou même par les agriculteurs concernés.
- Évaluer les enjeux du risque-grêle à partir des différentes données proposées en termes de gestion des risques. Ceci permet sans équivoque, et pour le domaine agricole, de répondre à quelques questions : Quelles sont les cultures accaparant la grande part d'intervention ? Quelle est la part des dommages indemnisés de tous les dégâts ? Quels sont les secteurs subissant le plus de sinistres ? La répartition des dommages se confond-t-elle avec l'organisation spatiale du phénomène en question ?
- Qualifier les aléas à partir de l'occurrence du phénomène. Ceci aide à l'estimation de la probabilité de survenance de cette calamité atmosphérique et éventuellement à adopter les modes convenables de gestion de ce risque.
- Voir dans quelle mesure on peut appliquer ces modes de gestion dans les plans d'aménagement agricole.

L'étude du risque-grêle comprend trois volets : l'aléa grêle, vulnérabilités et enjeux et enfin la gestion du risque. Dans l'étude de l'aléa grêle, on cherchera une représentation

spatialisée de la fréquence et de l'intensité de la grêle potentiellement dommageable. On s'intéressera à ses mécanismes et conditions de formation, sa saisonnalité : quels sont les mécanismes à l'origine ? Quelles sont les régions tunisiennes les plus touchées et pourquoi ? Quelles sont les périodes à grêle de l'année et quelles sont les explications ?

Après l'étude de l'aléa grêle, nous présenterons les différents aspects des vulnérabilités et des enjeux face à cet aléa, c'est-à-dire l'objet qui va subir le phénomène grêle. Dans notre étude, c'est le domaine de l'agriculture qui est pris en compte comme le bien le plus vulnérable aux chutes de grêle. Les enjeux et leur vulnérabilité sont mesurés *a posteriori* par les dommages socioéconomiques et les pertes financières causés par la grêle : quelles sont les cultures les plus exposées et les plus vulnérables à la grêle ? Quelles sont les dimensions des dégâts de grêle et combien coûtent-ils à l'agriculture tunisienne ?

Enfin, une troisième grande partie pose la question de la gestion du risque-grêle tant à l'échelle de l'exploitation qu'à l'échelle régionale et nationale. Des intervenants différents, en particulier l'agriculteur avec son agriculture, l'assureur, les pouvoirs publics, les organismes de prévention ainsi que le climat (les chutes de grêle), forment le système de gestion du risque-grêle. Cependant, des dommages exceptionnels causent parfois des crises au niveau de ce système de gestion de ce risque comme ce fut le cas des chutes de grêle des 2 et 10 mai 2002. Le moyen d'intervention le plus répandu en Tunisie est celui de l'assurance agricole, mais ces dernières années de nouveaux modes de gestion active, comme les filets paragrêle, tracent de nouvelles perspectives pour une lutte contre la grêle, surtout pour les cultures fragiles comme l'arboriculture : quels sont les modes de gestion en cours en Tunisie et quels en sont les limites ? Quels sont les critères de choix du mode de gestion ? Dans quelle mesure, l'agriculteur peut-il intégrer le risque-grêle dans la gestion de son exploitation ? Enfin, comment les différents intervenants pourraient-ils aboutir à un "système de gestion-grêle" qui préserve les intérêts de l'agriculture ?

## **PREMIERE PARTIE : CARACTÉRISATIONS DE L'ALÉA GRÊLE**



## **Introduction de la première partie**

Par rapport à d'autres formes de précipitations en particulier les pluies, le phénomène de la grêle n'intervient pas fréquemment. Chaque été, du mois de mai au mois de septembre, en moyenne 12,36 jours avec chute de grêle peuvent être observés en Tunisie. Etant donné son caractère, local, soudain et brutal, la grêle demeure peu connue et rarement étudiée. Cependant, les données accumulées sur de nombreuses années nous permettent aujourd'hui de mieux connaître la fréquence moyenne des chutes de grêle sur différentes échelles de temps.

L'intérêt de cette première partie va porter sur trois grands axes :

- Un premier axe présentera les données utilisées et les méthodes suivies pour l'étude du phénomène du risque-grêle en Tunisie.

- Dans un deuxième axe, nous définirons, la grêle potentiellement dommageable. Ensuite, nous présenterons les différents aspects de la répartition de la fréquence de ce phénomène dans le temps et dans l'espace, puis nous étudierons les mécanismes de formation des nuages porteurs de grêle. Enfin, nous analyserons les situations météorologiques-types engendrant la chute de ces précipitations le long de l'année en Tunisie.

- Le deuxième axe portera sur l'étude de la trace de la grêle au sol à travers l'intensité des chutes de grêle et les trajectoires des nuages porteurs de grêle.



## Chapitre 1- Données et méthodes pour l'étude du risque-grêle en Tunisie

La grêle est un phénomène climatique plutôt rare, où la masse de l'information est relativement moins abondante, comparé à des phénomènes bien mesurés et fort étudiés tels que les pluies ou les températures. L'étude d'un phénomène aussi ponctuel que la grêle nécessite le croisement de plusieurs sources de données afin de les valider entre elles. Ainsi outre les données climatologiques "classiques" qui comportent des limites nous tirerons des informations de données d'observation ou de sources économiques qui attestent de la présence de grêle sans que celle-ci ait été détectée par les réseaux d'observation climatologiques. C'est la multiplication et le recoupement des différentes sources qui permet de composer une climatologie de la grêle la plus proche de la réalité.

### 1. Les données

#### 1.1. Les données climatologiques disponibles

##### 1.1.1. Les données de l'Institut National de la Météorologie

Les données concernant d'abord le nombre de jours de grêle puis le nombre de jours d'orages en Tunisie, sont puisées dans les **Tableaux Climatologiques Mensuels (T.C.M.)**. Ces derniers permettent d'avoir un aperçu exhaustif des observations et un suivi permanent de ces deux phénomènes, même sur des pas de temps très courts. Les tableaux climatologiques mensuels sont élaborés par l'Institut National de la Météorologie (I.N.M). La collecte des données a été réalisée personnellement. Chaque station, des 41 stations retenues, possède un certain nombre de boîte d'archives (dès la date de sa création). Chacune de ces boîtes définit une année et chaque année est détaillée en 12 mois. Chaque mois donne des nombres totaux et des moyennes mensuels des phénomènes climatiques dans un tableau synthétique dans la première page (le TCM), avec des détails jour par jour dans la dernière page. La tâche de collecte de ces données a duré, seule, 9 mois et la prise des données a été effectuée manuellement avec une lecture minutieuse de chaque Tableau Climatologique Mensuel de chaque station pendant chaque année, et ce pour 41 stations et une période d'étude de 1976 jusqu'au 2005.

##### 1.1.2. Les données des images satellites

Toujours dans ce qui concerne les données climatologiques, nous avons dû dépouiller les données du site internet "<http://www.sat24.com>". Ce site offre des images satellites visibles et

infrarouges (METEOSAT) permettant de reconstituer les trajets des nuages en Europe et l'Afrique ainsi que d'autres données concernant la pression atmosphérique, les précipitations, les températures et la foudre avec des options pour faire un zoom sur les continents ou les pays. Le "<http://www.sat24.com/history.aspx>" est un lien qui offre une archive d'images satellites à l'échelle journalière et même horaire depuis l'an 2008.

## ***1.2. Les données socio-économiques***

Outre les données climatologiques, nous avons multiplié les recherches pour accéder à des sources d'informations complémentaires. Elles ont été acquises auprès d'organismes qui s'intéressent au risque-grêle notamment dans son rapport avec l'agriculture, à savoir, les commissariats régionaux pour le développement agricoles avec leurs différents arrondissements, le Ministère de l'Agriculture avec ses différentes directions générales et les compagnies d'assurance et de réassurance agricoles.

### ***1.2.1. Les Commissariats Régionaux pour le Développement Agricole (CRDA)***

La collecte des données notamment celles qui concernent les dégâts de grêle a nécessité des visites des commissariats régionaux pour le développement agricole de 16 gouvernorats de la Tunisie, en l'occurrence, Gafsa, Gabes, Mednine, Sfax, Sidi Bouzid, Kairouan, Sousse, Zaghouan, Nabeul, Tunis, Bizerte, Béjà, Jendouba, Siliana, Elkef et Kasserine. Dans chaque CRDA, on trouve plusieurs arrondissements spécialistes en différents domaines d'agriculture. Celui qui nous intéresse est celui de la production végétale, nous y avons trouvé des informations sur les dégâts de grêle, en particulier à travers les rapports préparés par les responsables (de la direction des arbres fruitiers par exemple) ou les déclarations des sinistres envoyées par les agriculteurs sinistrés.

### ***1.2.2. Ministère de l'Agriculture***

Le Ministère de l'Agriculture avec quelques directions générales qui en font parties et son Observatoire National d'Agriculture (ONAGRI) ont été contactés. Des données sur la fréquence moyenne du phénomène de la grêle par gouvernorat en Tunisie entre 1997 et 2001 et sur les taux des dégâts en arboriculture ont été récupérées à la Direction Générale des Etudes et de Développement Agricole. La Direction Générale de la Production Agricole nous a permis d'avoir une bonne information sur les superficies et la productions des principales cultures en Tunisie. L'ONAGRI, de son côté nous a offert quelques ouvrages très intéressants, notamment celui de **SAIDI H.** (La grêle en Tunisie) publié en 1976 qui nous a beaucoup aidé

dans l'analyse et l'interprétation de la météorologie de la grêle en Tunisie. L'Agence de la vulgarisation et de la formation agricoles a été aussi à notre disposition à travers des livrets-guides sur la pratique des différentes cultures en Tunisie et leurs réactions quant au risque-grêle.

### *1.2.3. Les compagnies d'assurance et de réassurance*

Les compagnies d'assurance (sièges principaux ou agences locales) ont été parmi les principales cibles à contacter. Cinq sociétés d'assurance et de réassurance ont été visitées, à savoir, la Caisse Tunisienne d'Assurance Mutuelle Agricole (CTAMA), la Société Tunisienne d'Assurances et de Réassurances (STAR), la Compagnie Méditerranéenne d'Assurances et Réassurances (COMAR), l'ASTREE Assurance et l'LLOYD Tunisien. Les données offertes ne concernent que les conditions générales de l'assurance-grêle présentées dans des petits livrets ou dans des petits fascicules. Il n'y avait que la CTAMA qui nous a permis d'avoir quelques informations concernant les dégâts de grêle en agriculture et les indemnités durant quelques années. En outre, d'autres données sur les taux de cotisations des cultures ont été disponibles dans l'agence de la CTAMA à Kasserine.

### *1.2.4. D'autres organismes*

D'autres organismes ont aussi été des arrêts pour la recherche de données concernant les aspects socio-économiques du risque-grêle en Tunisie, à savoir :

- La Fédération Tunisienne des Sociétés d'Assurances (FTUSA) : les données sont enregistrées dans ses rapports annuels du secteur de l'assurance en Tunisie.
- Le Groupe Interprofessionnel des Fruits (GI Fruits) : les données portent des informations sur le secteur arboricole en Tunisie.
- L'Office des Terres Domaniales de Kasserine (OTD) : les données ont concernées les cultures des arbres fruitiers dans le secteur agricole de l'Oued Darb.
- L'Office de la Topographie et du Cadastre de Tunis (OTC) : le recours à des cartes topographiques est indispensable pour repérer la situation de chaque station par rapport à la topographie locale et régionale qui l'encadre.

## **1.3. Les observations de terrains**

Pour recueillir des informations de natures différentes et pour assurer au mieux l'observation, la mesure ainsi que la gestion de ce phénomène, nous avons réalisé des travaux

de terrains (des enquêtes, des entretiens et des témoignages) dans des régions et au près des personnes où il en existe de l'information.

### 1.3.1. Enquêtes

Les enquêtes ont été réalisées auprès des agriculteurs dans la région des Hautes steppes tunisiennes (gouvernorat de Kasserine) qui pratiquent l'arboriculture notamment les cultures des pommiers. Au total 80 questionnaires ont été remplis. Elles ont été réalisées dans trois secteurs agricoles, à savoir, Sbiba, Foussana et Oued Darb. Les questions posées aux agriculteurs portent sur trois grands volets <sup>1</sup>:

- Le phénomène de la grêle et la grêle dommageable : les questions ont été portées sur la fréquence saisonnière, mensuelle et horaire des chutes de grêle, sur les descriptions et les directions des nuages de grêle, ainsi que sur les dimensions des grêlons
- l'arboriculture et les cultures de pommiers : Les questions posées ont concerné les types et les choix des cultures pratiquées.
- les dommages de la grêle et les moyens de protection : les questions ont intéressé les risques naturels qui menacent les cultures et le place du risque-grêle entre eux, outre, les différents modes de gestion adoptées par les agriculteurs pour lutter contre ce risque.

### 1.3.2. Entretien et expertise avec un expert d'assurance

Dans ce niveau, nous avons l'occasion de réaliser une sortie d'expertise avec un expert d'assurance. Trois grandes tâches ont été réalisées : outre une longue discussion avec l'agriculteur sinistré, le repérage du terrain avec l'expert d'assurance a permis de me familiariser avec l'identification et la quantification des dégâts sur trois parcelles sinistrées (deux sur la route Sbeïtla-Sbiba et une dans le secteur agricole de l'Oued Darb). L'évaluation des taux de perte sur les parcelles a été effectuée avec l'expert.

### 1.3.3. Témoignages de la population

Ces témoignages consistent en des descriptions locales des personnes intéressées (l'agriculteur surtout) par le phénomène de la grêle. On trouve d'abord la distinction au niveau des appellations entre " [t r ] qui désigne " les particules de grésil " avec des diamètres moins de 5 mm, et " [ r ] qui désigne " les gros grêlons " de plus de 5 mm de diamètre.

---

<sup>1</sup> Voir l'annexe.

Une description présentée par un agriculteur de la région de Foussana à Kasserine du nuage de grêle d'été utilise le mot " مَرْر " [mb rr ] pour dire "une forme en colonnes" , avec une couleur de base comme " مدلهم " [md lh m], ce qui indique "une couleur grise très sombre". La même description ajoute qu'avant la chute de grêle il souffle un " زفيف بارد " [zff b r d] qui peuvent être interprétés comme "les coups de vents froids" causés par le flux descendant à l'avant de l'amas nuageux.

Les descriptions ont étalé la direction des nuages porteurs de grêle et la majorité des agriculteurs de Foussana utilisent un mot local " ظهرا " [ h hr ], qui vient du mot arabe " الظهر " [ h hr], et désigne en français le mot " dos " . Pour ces agriculteurs, le mot indique une direction du Nord-ouest et il est l'opposé du mot arabe local " ابل " [ u bl ] qui est la direction de la Mecque, latitudinalement, vers le Sud-est pour l'ensemble de la Tunisie. Ces deux mots locaux sont utilisés aussi par les agriculteurs de Sbiba, où on sépare entre les parcelles de pommiers " ابلت اول " [ u bl t l ou d], c'est-à-dire " au sud de l'Oued Sbiba " exposées généralement aux trajectoires de grêle provenant du Sud-ouest et d'Ouest, de celles " ابلت اول ظهرا " [ h hr t l ou d], pour parler du " nord de l'Oued Sbiba " très sujette aux trajectoires du Nord-ouest.

#### 1.3.4. Les dégâts sur les cultures

En Tunisie, les grêlimètres sont, malheureusement, absents et semblent jusqu'à présent inconnus. Par ailleurs, on a coutume d'étudier l'intensité des chutes de grêle à partir de leur trace sur les récoltes. Ces récoltes naissent, grandissent, se reproduisent et dégènèrent au cours de chaque cycle végétatif. Sous nos latitudes, ces récoltes ne peuvent s'étendre que du printemps à l'automne. Chaque grêlon, quelle que soit sa taille ou sa vitesse de chute, laisse une empreinte de sa rencontre avec la plante : feuille déchirée ou lacérée, tige pliée ou coupée, pédoncule coupé ou meurtri, grain fondu (raisin), écrasé ou tombé...etc.

## 2. Fiabilité des données météorologiques

### 2.1. Types de données

Les données météorologiques concernant la grêle sont diversement notées dans les T.C.M des stations retenues. Le plus souvent, le nombre de jours de grêle, ainsi d'ailleurs que celui d'autres phénomènes météorologiques, sont indiqués dans de petits tableaux synthétiques dans les premières pages. Dans d'autres cas, ces phénomènes météorologiques sont simplement signalés avec des symboles conventionnels (tableau 1) ; il suffit ainsi de

compter le nombre de fois où un signe relatif à un phénomène est représenté pour en déterminer le nombre de jours.

Ailleurs, et très rarement, on ne relève aucun indice concernant le nombre de jours des phénomènes en question, hormis des phrases courtes présentant brièvement la situation météorologique prédominante dans tel ou tel mois ; Par exemple, à Makther, en avril 1994 l'observation indique « pluie + chute de grêle ». Ce même type de données a été utilisé dans la même station pour le phénomène orageux, et ce en octobre 1994, octobre 1996 et en avril 1997 où on lit simplement « pluie + vent + orage ». Dans une autre situation, notamment à la station de Hammamet, on trouve un autre type de données où le nombre de jours de grêle et celui d'orages tout particulièrement, sont indiqués en langue arabe. En effet, en septembre 1997, on enregistre 8 jours de ( + : [ra d + barq]orage+ éclair) et le 26 novembre de la même année un jour de ( : Grésil). Un dernier type de données météorologiques figure dans les tableaux climatologiques mensuels de Mjez el Bèb le document d'octobre 1988 et ceux des mois de mars, mai, juin, juillet, septembre, octobre et novembre 1993 sont barrés et classés « inexploitables ». Ailleurs, certains documents sont classés « douteux », comme dans le tableau climatologique du mois du novembre 1980 de la station de Sousse.

Phénomènes météorologiques	Symboles conventionnels
Orage	
Eclair	
Grêle	
Grésil	
Averse de grêle	
Averse de pluie	

Tableau 1 : Signes conventionnels de quelques phénomènes Météorologiques.

## 2.2. Les lacunes

Les lacunes au niveau des données météorologiques sont nombreuses. Pour y remédier, nous avons choisi un grand nombre de stations où les observations s'échelonnent autant que possible sur la période d'étude (30 ans).

80% des stations présentent des séries de données complètes soit égales de la période retenue (tableau 2). 14,50% des stations ont des périodes très proches avec seulement

quelques lacunes entre 1 et 4 ans. Les deux stations qui restent (celles de Ghzala Mateur au Nord-est et de Sbiba au Centre-ouest) présentent des lacunes de 6 à 8 ans (tableau 3). Pour combler ces lacunes, on a dû utiliser la méthode statistique des "*moyennes*" qui paraît plus fiable. Elle consiste simplement à diviser le total de jours ou de chutes de grêle de chaque station sur le nombre d'années disponible ; on aboutit donc au "*nombre moyen de jours ou de chutes de grêle / an*".

N°	Stations	Périodes d'observations
1	Séjnène	1976→2005
2	Tabarka	1976→2005
3	Ain Drahem	1976→1998 ; 2000→2005
4	Béja	1976→2005
5	Bni Mtir	1979→2005
6	El Féija	1976→2005
7	Jendouba	1976→2005
8	Téboursouk	1976→2005
9	Bizerte	1976→2005
10	Tinja	1976→2005
11	Ghar El Melh	1976→2005
12	Ghzala Mateur	1976→1999
13	T.Carthage	1976→2005
14	Mjez El Beb	1976→2005
15	El Haouaria	1976→2005
16	Kélibia	1976→2005
17	Korba	1976→2005
18	Hammamet	1976→2005
19	Nabeul	1981→2005
20	Siliana	1976→2005
21	Makther	1976→2005
22	Thala	1976→2005
23	Sbiba	1971→1992

(la suite du tableau est dans la page suivante)

N°	Stations	Périodes d'observations
24	Sbeïtla	1976→2005
25	Kasserine	1976→2005
26	Sidi Bouzid	1978→2005
27	Enfidha	1976→2005
28	Sousse	1976→2005
29	Oueslatia	1976→2005
30	Kairouan	1976→2005
31	Monastir	1976→2005
32	Mahdia	1976→2005
33	Sfax	1976→2005
34	Gabes	1976→2005
35	Jerba	1976→2005
36	Zarzis	1976→2005
37	Médenine	1977→2005
38	Ben Guerdene	1976→2005
39	Gafsa	1976→2005
40	Tozeur	1976→2005
41	Nefta	1976→1999 ; 2001→2005

Tableau 2 : périodes d'observation des stations retenues.

Séries de données	Nombre de stations	Pourcentage (%)
30 ans	33	80,50
25 à 29 ans	06	14,50
20 à 24 ans	02	05,00
<b>Total</b>	41	100.00

Tableau 3 : Représentativité des données météorologiques.

### 2.3. Les erreurs

Ces erreurs peuvent être classées, après vérification, en trois catégories :

- Des erreurs d'enregistrement :

Ce type d'erreur est dévoilé par des contradictions entre ce qui est noté par l'observateur et ce qui figure dans les documents de référence. A Médenine par exemple, et d'après ces documents, il ne semble pas qu'il y eut des phénomènes d'orage ou de grêle en octobre 1984, or après vérification, on a enregistré un jour de grêle le 19/10/1984 et 8 jours d'orages les 9, 13, 15, 18, 19, 24, 29 et 31/10/1984. Un autre exemple, celui de la station de Thala, où 4 jours d'orages les 14, 16, 22, 27 mars 1984 ne sont pas mentionnés. Toujours à Thala, en avril 1979, les chutes de grêle qui ont eu lieu le 15 et le 20 de ce mois ne sont pas enregistrées.

- Des erreurs de calcul :

Ces erreurs expriment une certaine inattention au niveau du calcul du nombre de jours des phénomènes en question. À Ain Drahem par exemple, en mars 1976, ce qui est indiqué c'est zéro jours de grêle et 2 jours d'orages, or on a compté, après vérification, 2 jours de grêle le 9 et le 26/03/1976 ainsi que 4 jours d'orages les 9<sup>ème</sup>, 14<sup>ème</sup>, 16<sup>ème</sup> et 17<sup>ème</sup> jours. À la station d'Enfidha, en juin 1981, il y eut réellement 7 jours d'orages, les 19, 20, 22, 23, 24, 25 et 27/06/1981 au lieu des 6 jours indiqués ; enfin, 5 jours d'orages ont été notés à la station de Hammamet en octobre 1982, alors que ce phénomène ne s'est manifesté que les 21 et 22 de ce mois.

- Des erreurs suite à des confusions :

Ce dernier type d'erreur exprime des confusions dans la transcription symbolique des phénomènes météorologiques. À la station de Thala par exemple, en avril 2000, il y eut un seul jour d'orage et simplement des éclairs le dixième jour de ce mois, mais l'observateur a confondu entre le symbole de l'orage (⚡) et celui de l'éclair (⚡) et a noté 2 jours d'orages. À Jerba, aucune chute de grêle ou d'averse de grêle n'a été observée en octobre 1986, or l'observateur a noté un jour de grêle et semble avoir confondu entre le symbole de l'averse de grêle (⚡) et celui de l'averse de pluie (⚡).

### 3. Méthodologie

#### 3.1. Chute de grêle et jour de grêle ?

Dans les Tableaux Climatologiques Mensuels publiés par l'Institut National de la Météorologie on a coutume d'utiliser le vocable "jour de grêle" comme unité de quantification du phénomène de la grêle. Or ce vocable pose un problème de confusion avec celui de "chute de grêle". Si on prend à titre d'exemple un mois d'une année quelconque dans notre période d'étude de 1976 et 2005, la quantification ne donne pas les mêmes résultats (figure 2). Dans la figure 2 on compte 6 jours avec grêle (les 1, 3, 5, 14, 22 et 31 août), en revanche, il y a réellement un total de 12 chutes de grêle / station.

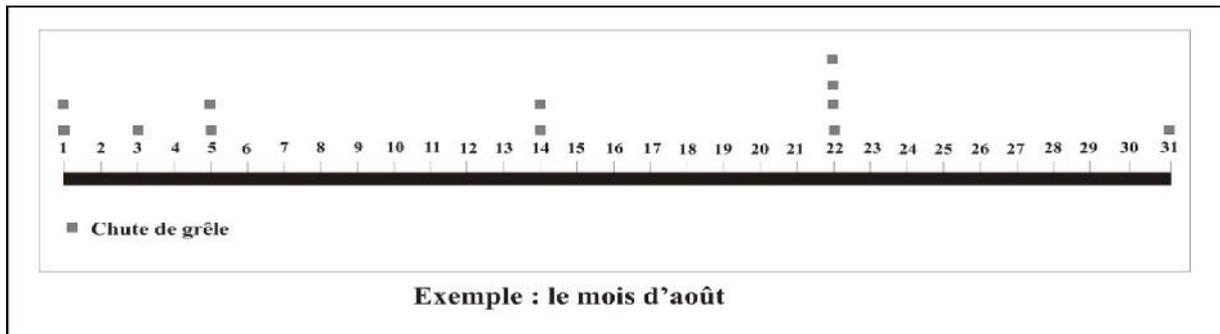


Figure 2. Exemple de la différence entre jour de grêle et chute de grêle à l'échelle temporelle.

Le même problème de confusion se pose à l'échelle spatiale (figure 3). Les 02 et 10 mai 2002, on calcule pratiquement 2 jours de grêle dans le gouvernorat de Kasserine. Or, la carte des lieux des chutes de grêle pendant ces deux jours montre réellement 5 lieux où il y a eu des chutes de grêle (Foussana, Thala, El Ayoun, Sbiba et Sbeitla).

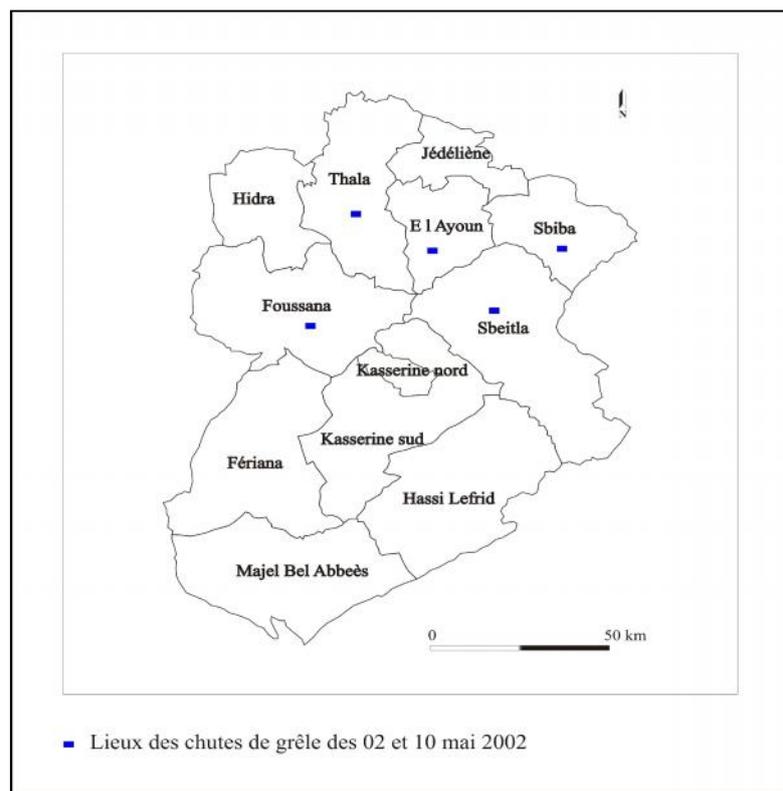


Figure 3. Exemple de la différence entre jour avec grêle et chute de grêle à l'échelle spatiale.

Ainsi nous utiliserons le terme de « chute de grêle » pour désigner une observation de grêle dans une station météorologique ou sur une parcelle. Le « jour avec grêle » désigne une journée (24heures) pendant laquelle on a observé au moins une chute de grêle dans une station. Ainsi il peut y avoir plusieurs chutes de grêle le même jour. A l'échelle stationnelle, le

nombre de jours avec grêle et le nombre de chutes de grêle sont en général confondus : il est très rare en effet que deux chutes de grêle aient lieu le même jour sur une station.

### 3.2. Période d'étude

La période retenue pour l'étude du phénomène de la grêle en Tunisie, concerne la période (1976- 2005). Elle plus longue que celle retenue dans la contribution de SAIDI H. (1976) pour l'étude de ce même phénomène météorologique. Les données de cette période récente, sont plus efficaces, plus accessibles et contiennent moins de lacunes, car elles bénéficient des enregistrements d'un réseau de stations plus dense qu'auparavant et équipées d'outils de mesure automatiques.

L'année considérée dans cette étude est l'année agricole, du mois de septembre jusqu'au mois d'août. Elle exprime mieux le rythme méditerranéen des phénomènes météorologiques qui affectent le territoire tunisien, dont ceux de la grêle et des orages.

### 3.3. Le réseau des stations

L'étude de la grêle en Tunisie au cours des trois dernières décennies exploite les observations dans **41** stations, dont environ la moitié correspondent à des stations synoptiques (tableau 4).

Type de station	Effectif	Pourcentage (%)
Synoptique	18	43.40
Climatologique	14	34.10
Agro-météorologique	07	17.5
Pluviométrique	02	05.00
<b>TOTAL</b>	41	100.00

**Tableau 4 : Types de stations retenues**

Bien qu'elles soient bien réparties dans les différentes régions de la Tunisie, et sont donc sensées représenter les réalités climatiques régionales (figure 4), ces stations reflètent d'abord leurs conditions locales propres, celles que déterminent leurs sites (tableau 5).

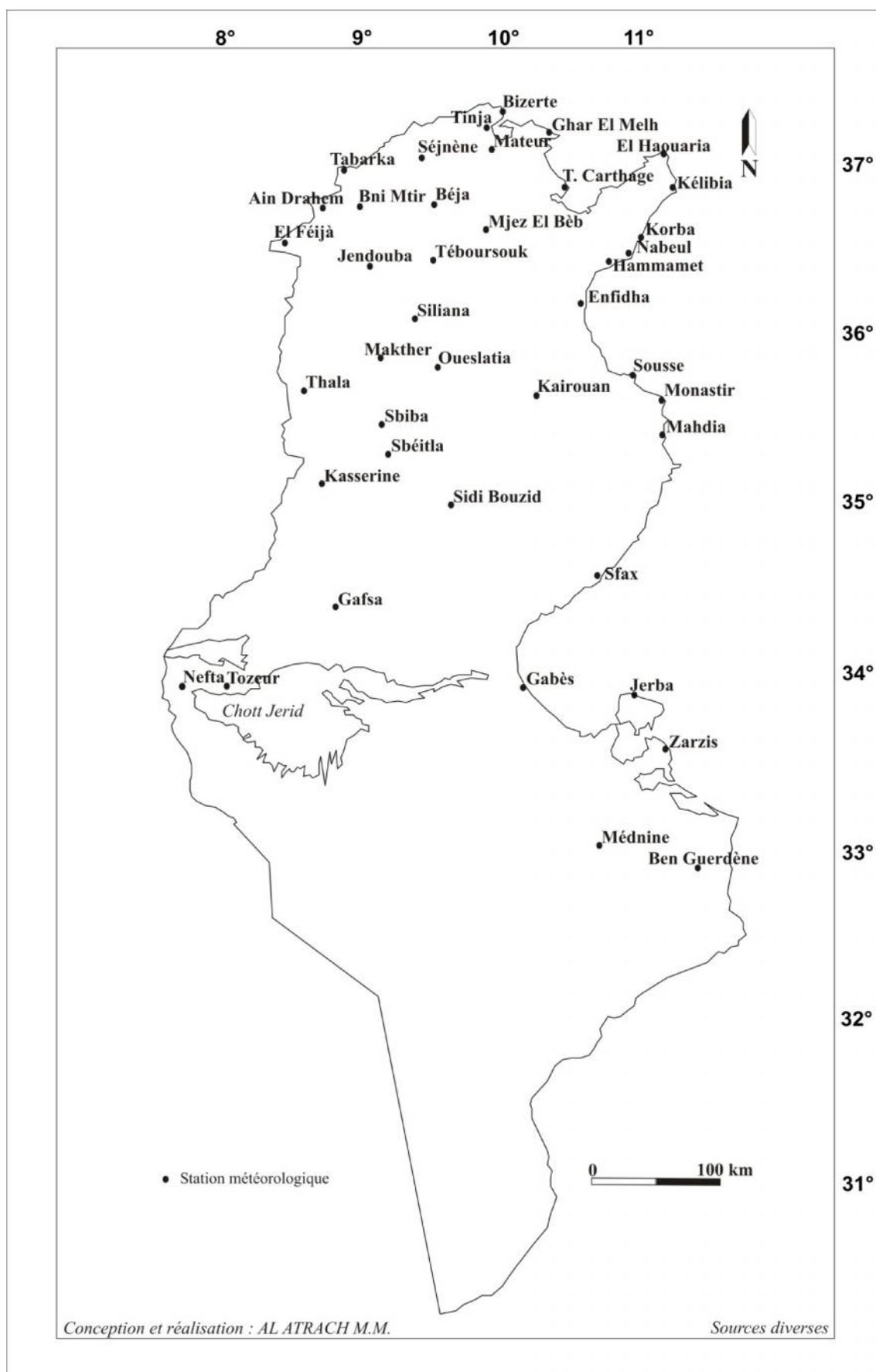


Figure 4. Réseau des stations retenues.

Régions	Stations		Coordonnées géographiques			Situation topographique	Année de création
	N°	Nom	Latitude (N)	Longitude (E)	Altitude (m)		
NORD OUEST	1	Sejnène	37°03'	09°14'	145	Plateau	1969
	2	Tabarka	36°57'	08°45'	3	Littorale	1974
	3	Ain Drahem	36°47'	08°43'	739	Jbel	1950
	4	Béja	36° 44'	09° 11'	234	Versant	...
	5	B'ni Mtir	36°45'	08°48'	128	Vallée	1950
	6	El Féijà	36°30'	08°19'	700	Jbel	1950
	7	Jendouba	36°29'	08°48'	143	Vallée	1943
	8	Téboursouk	36°27'	09°15'	410	Versant	1950
NORD EST	9	Bizerte	37°15'	09°48'	5	Littorale	1951
	10	Tinja	37°10'	09°45'	8	Littorale	1963
	11	Ghar El Melh	37°10'	10°11'	10	Littorale	1950
	12	Mateur	37°03'	09°37'	20	Plaine	1969
	13	T. Carthage	36°50'	10°14'	3	Littorale	1943
	14	Mjez El Bèb	36°38'	09°36'	54	Vallée	1966
CAP BON	15	El Haouaria	37°03'	11°03'	40	Plaine	1967
	16	Kélibia	36°51'	10°05'	4	Littorale	1968
	17	Korba	36°32'	10°50'	8	Littorale	...
	18	Nabeul	36°27'	10°44'	10	Littorale	1981
	19	Hammamet	36°24'	10°37'	5	Littorale	1950
CENTRE EST	20	Enfidha	36°08'	10°23'	27	Littorale	1963
	21	Oueslatia	35°51'	09°35'	460	Piedmont	1961
	22	Sousse	35°49'	10°40'	6	Littorale	1971
	23	Kairouan	35°40'	10°06'	60	Plaine	1937
	24	Monastir	35°40'	10°45'	2	Littorale	1968
	25	Mahdia	35°30'	11°04'	2	Littorale	1970
CENTRE OUEST	26	Siliana	36°04'	09°21'	700	Vallée	1968
	27	Makther	35°51'	09°13'	483	Piedmont	1950
	28	Thala	35°36'	08°39'	1020	Plateau	1976
	30	Sbiba	35°32'	09°05'	640	Piedmont	1983
	29	Sbeitla	35°14'	09°08'	661	Plaine	1963
	31	Kasserine	35°10'	08°50'	665	Plaine	1950
	32	Sidi Bouzid	35°03'	09°30'	354	Plaine	1977

(la suite du tableau est dans la page suivante)

Régions	Stations		Coordonnées géographiques			Situation topographique	Année de création
	N°	Nom	Latitude (N)	Longitude (E)	Altitude (m)		
SUD EST	33	Sfax	34°43'	10°41'	21	Plaine	1944
	34	Gabès	33°53'	10°06'	4	Littorale	1937
	35	Jerba	33°52'	10°46'	3	Insulaire	1961
	36	Zarzis	33°30'	11°07'	11	Littorale	1966
	37	Mednine	33°20'	10°29'	116	Plaine	1950
	38	Ben Guerdène	33°08'	11°13'	12	Plaine	1950
SUD OUEST	39	Gafsa	34°25'	08°49'	313	Plaine	1937
	40	Tozeur	33°55'	08°10'	87	Plaine	1966
	41	Nefta	33°52'	07°53'	22	Plaine	1970

Tableau 5 : Nomenclature des stations.

### Conclusion

Le nombre d'études du phénomène de la grêle en Tunisie est faible et ne s'intéresse qu'aux aspects météorologiques et climatiques en particulier celle proposée par SAIDI H. en 1976 puis celle de SAOUI L. en 1986. Généralement, ces données seules, si elles permettent de décrire le phénomène dans ses comportements physiques, elles semblent inaptées à rendre compte de toutes les dimensions du phénomène en particulier ses impacts socio-économiques.

Les enregistrements climatologiques n'offrent que des données "classiques" qui ne concernent que l'occurrence de la grêle par station en telle date. D'autres types de données sur la trace de la grêle au sol par exemple (les diamètres des grêlons, l'intensité...etc.) sont introuvables, pour cause de "confidentialité" (compagnies d'assurance), ou faute de moyens de mesures adaptés tels que les grêlimètres.

Afin de présenter une étude générale sur la grêle en Tunisie, et outre les données climatologiques, il importe d'approcher ce phénomène par des données d'ordre socio-économiques et des témoignages vernaculaires. L'analyse des données sera réalisée à travers une approche résolument géographique en utilisant toutes les méthodes de la statistique descriptive qui nous permettraient de décrire de manière appropriée et précise les différents aspects de ce type de phénomènes météorologiques.

## Chapitre 2. Distribution spatiale et variation saisonnière des chutes de grêle et leurs manifestations météorologiques en Tunisie

### 1. Définition de l'aléa grêle

D'après la définition proposée par l'Organisation Mondiale de la Météorologie, la grêle est : « *une précipitation de particules de glace (grêlons), soit transparentes soit opaques, dont le diamètre varie très généralement entre 5 et 50 millimètres, qui tombent d'un nuage soit séparées soit agglomérées en blocs irréguliers* »<sup>2</sup>. D'après cette définition, les précipitations de grêle d'au moins de 5 millimètres de diamètre paraissent aisément identifiables par rapport aux autres formes comme la neige beaucoup plus légère et beaucoup moins dense.

Cette définition n'évoque pas directement le type de nuage grêligène. Cependant, étant donné des grêlons de plus de 5 millimètres de diamètre, on peut le qualifier comme un nuage d'important développement vertical et de forte intensité. Ce dernier ne s'applique que pour un nuage de type orageux désigné souvent par le vocable « **Cumulonimbus** »<sup>3</sup>.

Par ailleurs, des précipitations de glace compacte de moins de 5 millimètres de diamètre peuvent être observées. Elles sont désignées souvent par le vocable « **Grésil** » ; c'est : « *une précipitation de particules de glace translucides, qui tombent d'un nuage. Ces particules sont toujours sphériques et présentent parfois des pointes coniques* »<sup>4</sup>. Associées le plus souvent à des **cumulonimbus**, les particules de **grésil** peuvent être engendrées parfois par des nuages à développement vertical mais pas obligatoirement de type orageux<sup>5</sup>, comme le **cumulus congestus** (photo 1). Elles apparaissent à une altitude où un grand nombre de gouttelettes d'eau sont à l'état de surfusion. « *Dans le cas du TCU (Cumulus Congestus), le sommet du nuage est entre -10 °C et -20 °C, assez pour provoquer des précipitations mais pas assez froid pour qu'un potentiel électrique se forme à l'intérieur du nuage. Ainsi, on peut avoir des averses de pluie ou de neige, selon la saison, et même des averses de grésil mais pas de foudre* »<sup>6</sup> et « *Dans certains cas, un cumulus congestus peut ainsi être à l'origine de rafales*

<sup>2</sup> Voir « *Vocabulaire Météorologique générale* », 1992.

<sup>3</sup> Voir « *Vocabulaire Météorologique générale* », 1992.

<sup>4</sup> Voir « *Vocabulaire Météorologique générale* », 1992.

<sup>5</sup> D'après la définition de l'OMM, le nuage orageux se caractérise par : « *des décharges brusques d'électricité atmosphérique se manifestant par une lueur brève et intense (éclair) et par un roulement sourd (tonnerre)* » ; Voir « *Vocabulaire Météorologique générale* », 1992.

<sup>6</sup> « *Courant descendant* » [archive], Comprendre la météo, Météo-France. Consulté le 2010-06-03.

descendantes à l'instar des cumulonimbus, bien que généralement moins intenses»<sup>7</sup>. MétéoFrance souligne que « la grêle est toujours définie comme étant liée à la présence d'un cumulonimbus. En réalité, les limites ne sont pas aussi tranchées et la production de grêlons peut se réaliser bien avant que le stade de cumulonimbus soit atteint. La prudence est donc de mise face à un cumulus congestus (TCU) ou un altocumulus castellanus bien développé verticalement »<sup>8</sup>.



Photo 1. Un Cumulus Congestus (cliché : AL ATRACH M.M.).

En Tunisie, entre 1976 et 2005, la part des chutes des particules de grésil des chutes de grêle atteint 482 cas, soit environ 25% du total enregistré en terme de jours de grêle. Elles s'observent notamment au Nord du pays comme c'était le cas de la station de Bni Mtir du 1<sup>er</sup> au 8 février 1995<sup>9</sup>, et tombent fréquemment de la fin de l'automne (mois de novembre) au début du printemps (mois de mars) ; c'est la période la plus fraîche et la plus humide de l'année (tableau 6).

<sup>7</sup> « Courant descendant » [archive], Comprendre la météo, Météo-France. Consulté le 2010-06-03.

<sup>8</sup> [www.meteo.fr/temps/dontom/antilles/pack-public/.../fiche\\_grêle.pdf](http://www.meteo.fr/temps/dontom/antilles/pack-public/.../fiche_grêle.pdf).

<sup>9</sup> D'après les Tableaux Climatologiques Mensuels de la station de Bni Mtir publiés par l'Institut National de la Météorologie.

Nombre total de chutes de grésil	Nombre de chutes de grésil du mois de novembre au mois de mars	Rapport (%)
482	422	87,55

Tableau 6. Les chutes des particules de grésil en Tunisie entre 1976 et 2005 (Source : INM).

La distinction *a priori* entre grêle et grésil au seuil des 5 millimètres n'a guère d'importance dans la définition de **la grêle dommageable à l'origine du risque-grêle**. C'est à partir du moment où elle entre dans les préoccupations de l'homme, et de l'agriculteur en particulier, que la grêle est potentiellement dommageable. En effet, un grêlon très dur, très dense et de moins de 5 millimètres de diamètre pourra provoquer des dégâts alors qu'un grêlon plus dense et plus grand ne pourra avoir aucune conséquence. Mais ce sont les périodes de déroulement de ce type de précipitations au cours de l'année ainsi que la répartition géographique des activités humaines et leurs durées d'exposition aux chutes de grêle qui en déterminent, sans équivoque, les dommages potentiels. Dans le domaine agricole par exemple, les chutes de grêle du début de l'année (hiver) ne représentent généralement aucun risque puisque la végétation est encore en dormance ; par contre le véritable risque-grêle réside bien vers la fin de cette année agricole (été) surtout lorsqu'on se rapproche des périodes des récoltes. En outre, plus la récolte reste sur pied longtemps en été, plus elle risque d'être endommagée.

## 2. A l'échelle annuelle, la grêle est très présente au Nord et au Centre

A l'échelle de toute la Tunisie, le cumul total de jours de grêle durant la période allant de 1976 à 2005 atteint 1957<sup>10</sup> jours avec chutes de grêle, soit un nombre annuel moyen de 65,23 (tableau 7).

Saisons	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Année
Nombre de jours avec chutes de grêle	307	965	543	142	1957
Part en (%)	15,69	49,31	27,75	7,25	100,00

Tableau 7. Répartition saisonnière de chutes de grêle/station en Tunisie entre 1976 et 2005 (Source : INM).

<sup>10</sup> Sauf pour la station de Sbiba, suite aux lacunes des enregistrements, on a utilisé les données de la période allant de 1971 à 1992.

La lecture de la carte de la variation spatiale du nombre annuel moyen de jours de grêle en Tunisie entre 1976 et 2005 (figure 5), montre que la distribution du phénomène varie en fonction de la latitude ainsi que de la longitude. D'abord, et selon la latitude, la fréquence annuelle moyenne de la grêle diminue du Nord vers le Sud passant progressivement de 8 jours de grêle et plus dans les hauts reliefs du Nord du pays à peine à 1 jour voire moins dans le Sud.

Selon la longitude, la grêle se caractérise par une diminution d'Ouest en Est de sa fréquence moyenne annuelle, notamment au nord et au centre du pays. Ainsi, pour la partie septentrionale, les effectifs annuels moyens de jours de grêle diminuent rapidement de la région du nord-ouest (plus de 8 jours) à la région du nord-est (1 jour et moins). Au centre du pays, la fréquence moyenne du phénomène passe assez rapidement d'environ 3 jours de grêle à l'Ouest à presque un jour à l'Est.

D'une manière générale, la figure 5 permet de faire une distinction entre un noyau principal où la grêle acquiert sa fréquence annuelle moyenne maximale avec d'autres foyers grêlifères de moindre importance et très localisés. Le noyau principal de fréquence annuelle moyenne maximale caractérise notamment la région du nord-ouest du pays. Les effectifs atteignent dans cette région les maxima annuels moyens de jours de grêle de toute la Tunisie : 8,91 jours à Bni Mtir, 8,76 jours à Ain Drahem et 6,25 jours à Sejnène. La station de Tabarka, bien qu'elle soit très proche de celle d'Ain Drahem (quelques dizaines de kilomètres), n'enregistre qu'une moyenne de 3,13 jours<sup>11</sup>. Cette différence s'explique par sa situation sur la côte (3 mètres d'altitude), tandis qu'Ain Drahem s'élève à 739 mètres au dessus du niveau de la mer. Sur la partie Nord-est, la grêle accuse une nette recrudescence aux extrémités à Ghar el Melh et à El Haouaria du golfe de Tunis. Dans ces deux secteurs, la fréquence annuelle moyenne du phénomène augmente légèrement pour atteindre des valeurs proches de 3,3 jours de grêle. En Tunisie centrale, la fréquence annuelle moyenne de la grêle présente une distribution sous forme de petits noyaux grêlifères. Ces derniers concernent les deux stations de Kasserine à l'Ouest et de Sousse à l'Est, dont les effectifs sont respectivement de 2,57 et 1,40 jours avec chute grêle.

---

<sup>11</sup> Les chiffres annuels moyens de jours de grêle de la station de Tabarka d'une part, et de celle d'Ain Drahem d'autre part sont analogues à ceux calculés dans d'autres études réalisées sur la grêle en Tunisie. Dans l'étude proposée par MOUGOU R. et al... en 1992 on y lit respectivement des valeurs de 3.02 et 5.17 jours. Un écart plus large respectivement de 2.30 et 6.40 jours est observé dans l'étude de SAIDI H. en 1976.

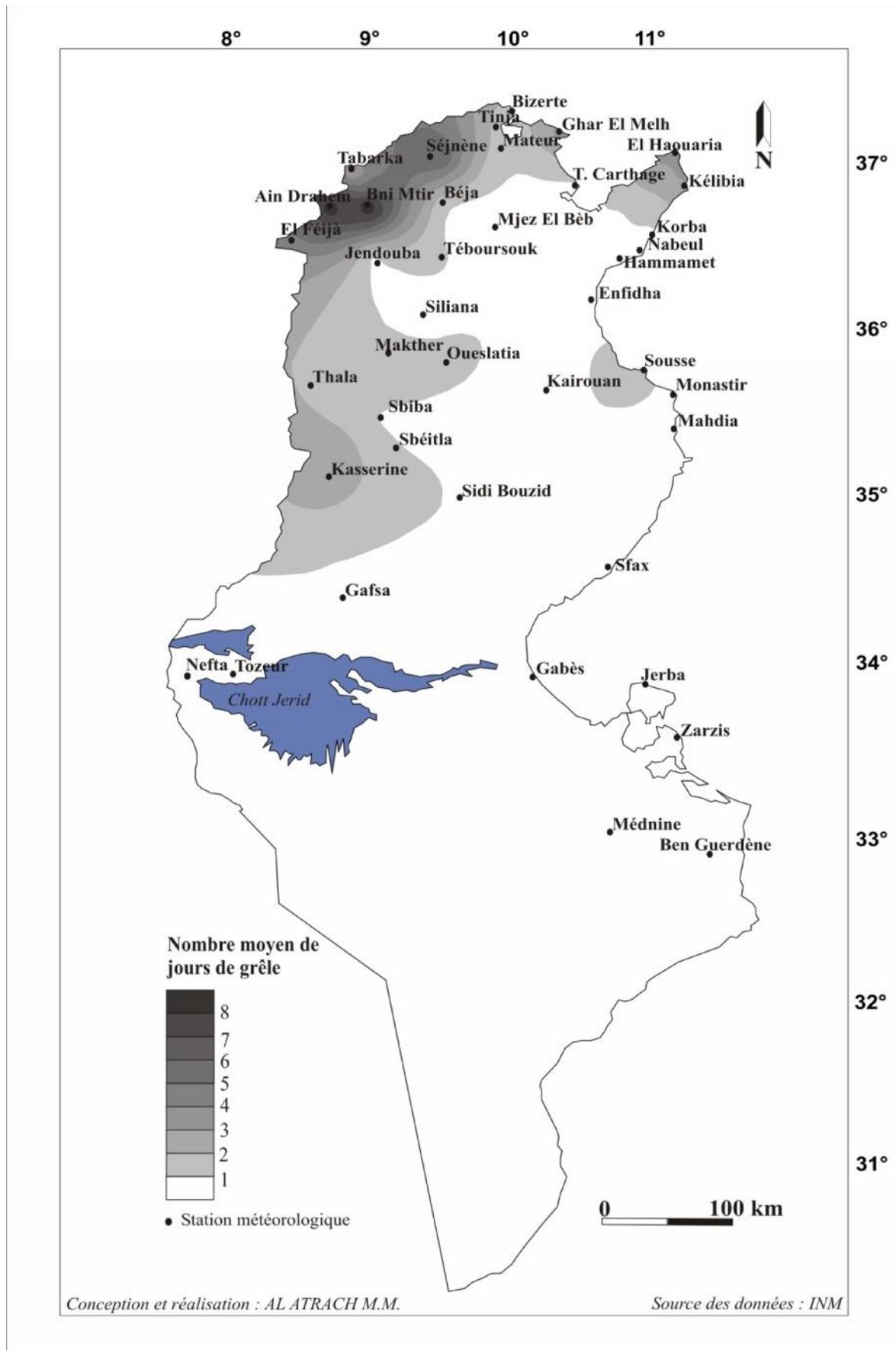


Figure 5. Répartition du nombre annuel moyen de chutes de grêle en Tunisie entre 1976 et 2005.

### 3. A l'échelle saisonnière, la grêle est avant tout un phénomène hivernal et printanier

A l'échelle des quatre saisons, le régime de distribution de jours de grêle pour l'ensemble de la Tunisie est de type « HPAE » (2314) ; figure 6.

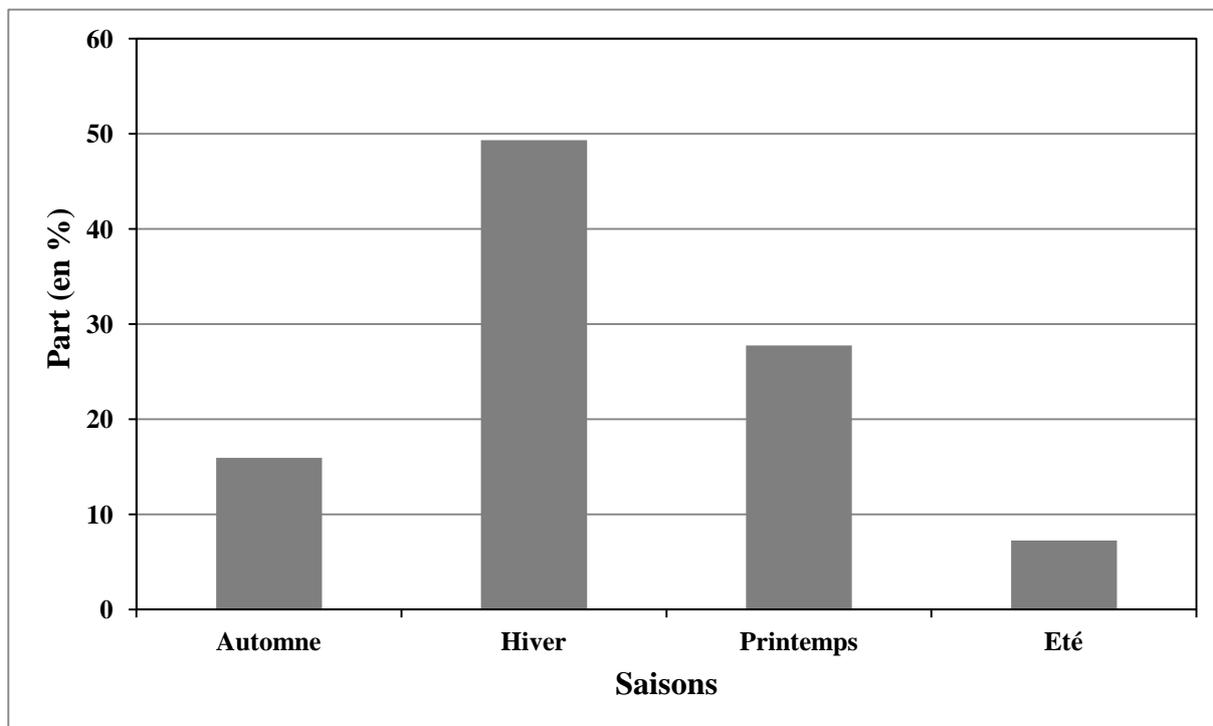


Figure 6. Régime saisonnier moyen du nombre de jours de grêle en Tunisie entre 1976 et 2005.

Ce type de régime révèle un maximum hivernal de 965 jours avec chutes de grêle (soit environ 50% du total de jours de grêle observé en Tunisie durant notre période d'étude ; Tableau 7). Ce dernier dépasse nettement la part en jours de grêle de la saison printanière qui atteint 543 jours (56,27% du maximum hivernal). La contribution saisonnière des chutes de grêle poursuit sa baisse en automne (307 chutes) et notamment en été puisqu'on enregistre à peine 142 chutes, soit une part de 7,25% seulement.

### 4. Grêle d'hiver et grêle d'été

On désigne par grêle d'hiver, les chutes de grêle de la période la plus humide de l'année, c'est-à-dire du mois d'octobre au mois de mars. La grêle d'été tombe sur le reste de l'année du moins d'avril au mois du septembre (figure 7).

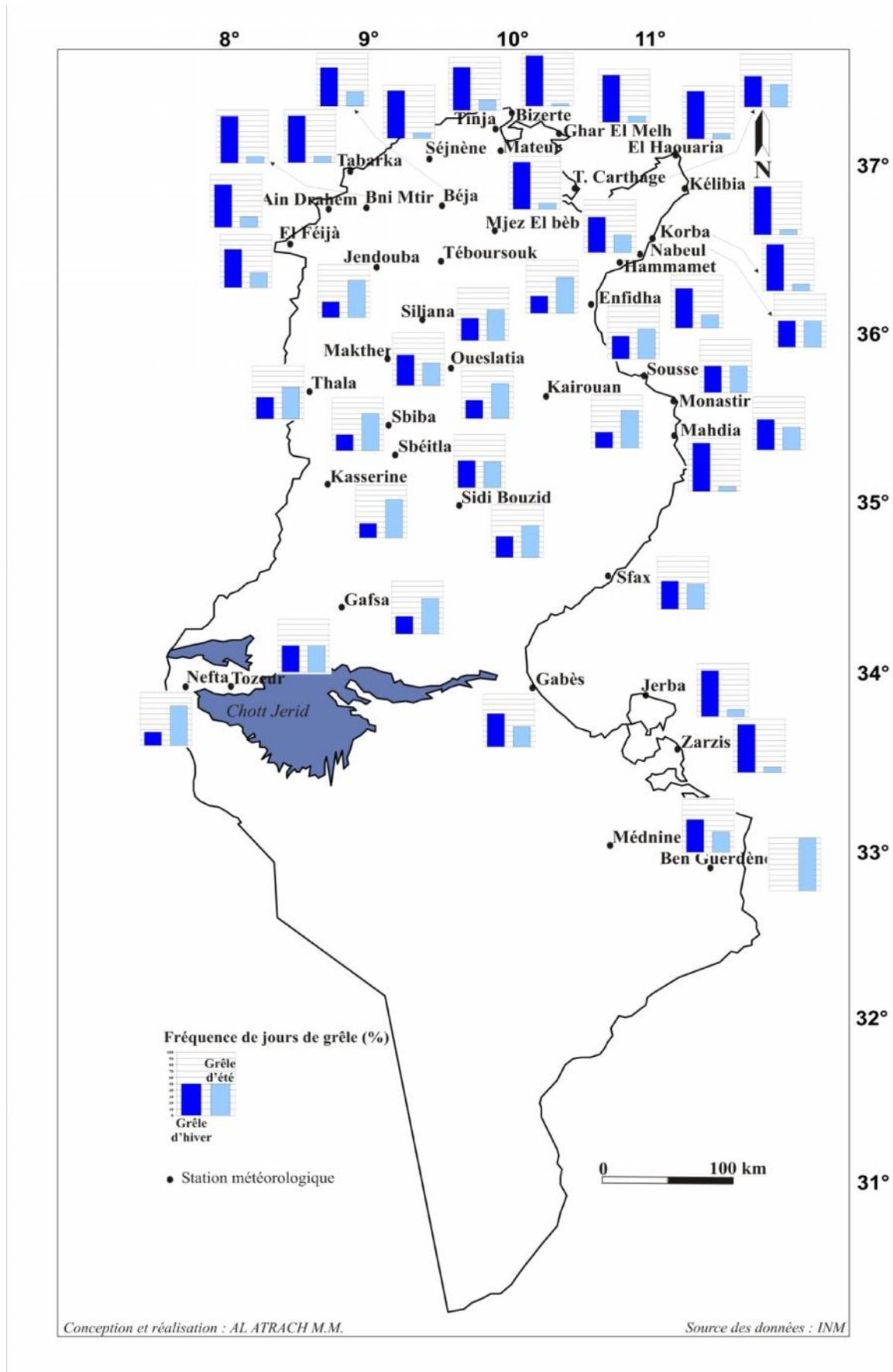


Figure 7. Grêle d'hiver et grêle d'été en Tunisie entre 1976 et 2005.

#### 4.1. Répartition de la fréquence de la grêle d'hiver

La répartition de la fréquence des chutes de grêle d'hiver (figure 8) montre que la quasi-totalité des régions côtières de la Tunisie bénéficient de 70 à 90% de ces chutes. Ainsi, on enregistre les maxima de grêle d'hiver dans le Nord du pays (Bizerte, Sejnène, Tabarka, Ghar El Melh et Bni Mtir), dans la région du Cap bon (El Haouaria), dans la région du Sahel au Centre-est (Mahdia), et dans les extrêmes sud-est (Zarzis). A partir de ces maxima, et excepté la légère recrudescence de la fréquence de la grêle d'hiver au niveau des deux stations de Makhter (57,6%) et de Sbeïtla (51,22%), les valeurs diminuent nettement vers l'intérieur du pays notamment dans la région des Hautes Steppes au Centre-ouest. Dans cette région on enregistre des pourcentages inférieurs à 30% (Kasserine).

Des contributions menées à l'étude technique du phénomène de la grêle en Tunisie, comme celle proposée par SAIDI Hassen en 1976<sup>12</sup>, montrent qu'au cours de cette période de l'année ce sont plutôt les particules de grésil de moins de 5 millimètres de diamètres (photos 2 et 2 bis) qui tombent le plus fréquemment (voir chapitre 3).



**Photo 2 et 2 bis (à droite). Chute des particules de grésil du 06/04/2013 à El Äla (Source : page officiel sur facebook du "Radio El Ala. Kairouan").**

D'une manière générale, les chutes des particules de grésil au cours de cette période de l'année sont influencées par une circulation atmosphérique générale qui affecte tout le territoire tunisien à l'instar des autres types de précipitation en l'occurrence les pluies. C'est ainsi que les nuages de grêle, essentiellement de type frontal, parcourent pendant cette période plusieurs régions : les chutes des particules de grésil se voient le plus souvent généralisées. Le 28/02/1982 on a enregistré des chutes de grêle dans les extrêmes nord-est du pays et toute la région du Cap Bon<sup>13</sup>.

<sup>12</sup> SAIDI Hassen (1976) : « La grêle en Tunisie », Institut National de la Météorologie, Tunis, 116 pages.

<sup>13</sup> D'après les Tableaux Climatologiques Mensuels publiés par l'Institut National de la Météorologie.

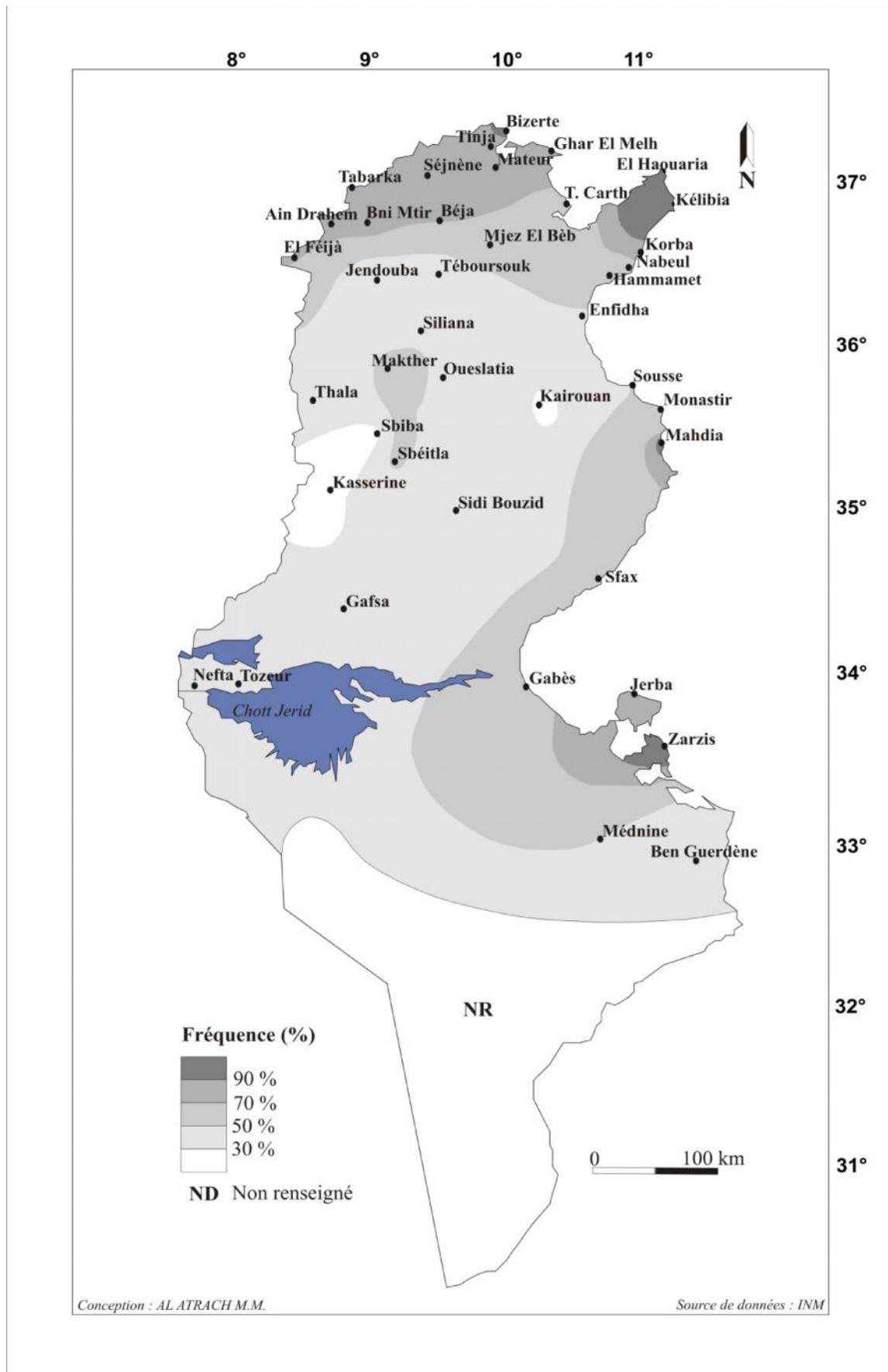


Figure 8. Répartition de la fréquence de la grêle d'hiver du total annuel en Tunisie entre 1976 et 2005.

#### 4.2. Répartition de la fréquence de la grêle d'été

Durant cette période de l'année, et par rapport à la grêle d'hiver, on observe le cas totalement inverse tant au niveau des maxima de la fréquence de la grêle d'été qu'au niveau du gradient de la diminution de cette fréquence dans le territoire tunisien (figure 9). En effet, les régions les plus continentales et les plus élevées du pays accusent les maxima de fréquence en été, et tout particulièrement la région des Hautes Steppes tunisiennes au Centre-ouest où sa part en chutes de grêle est supérieure à 70% (Kasserine et Sbiba). A partir de ce maximum, la fréquence de la grêle d'été chute nettement et de façon radiale en direction des côtes du pays.

Ailleurs, Les pourcentages de chutes de grêle tombant en été ne dépassent pas les 11% comme au Nord du pays (Sejnène, Tabarka et Bni Mtir), aux extrêmes nord-est (El Haouaria), dans la région du Sahel (Mahdia) et dans les extrêmes sud-est (Zarzis). Par ailleurs, des petits foyers d'augmentation relative de la fréquence de grêle d'été s'observent très localement au niveau des deux stations de Jendouba dans le Nord-ouest et de Kairouan au Centre-est avec des valeurs supérieures à 70 %.

En comparaison avec les particules de grésil d'hiver, ce sont les grêlons de plus de 15 millimètres de diamètres (photos 3 et 4) qui tombent le plus au cours de cette saison (voir chapitre 3). Ceci représente un risque majeur pour la pratique de certains types de cultures, notamment celui des arbres fruitiers, qui demeureront en pleine période de maturation au cours de cette saison.



**Photo 3. Grêle du 24/08/2008 à Foussana (Cliché : la CTAMA).**



**Photo 4. Grêlons de plus de 25 mm de diamètre du 06/04/2013 à Fériana (source : page officiel sur facebook du "Fériana la rose")**

D'une manière générale, les chutes de grêle pendant cette période de l'année sont dans leurs quasi-totalités très locales. C'est ainsi que les régions les plus continentales et donc les

plus chaudes du pays semblent le siège de ces chutes de grêle. Les dégâts observés sur les différents types de culture, tant à l'échelle régionale qu'à l'échelle des parcelles, font apparaître le caractère localisé de ces chutes de grêle d'été. Les pommiers de Sbiba au Centre-ouest ont largement souffert de l'effet de la chute de grêle du 10/05/2002<sup>14</sup>.

---

<sup>14</sup> *D'après les Tableaux Climatologiques Mensuels publiés par l'Institut National de la Météorologie.*

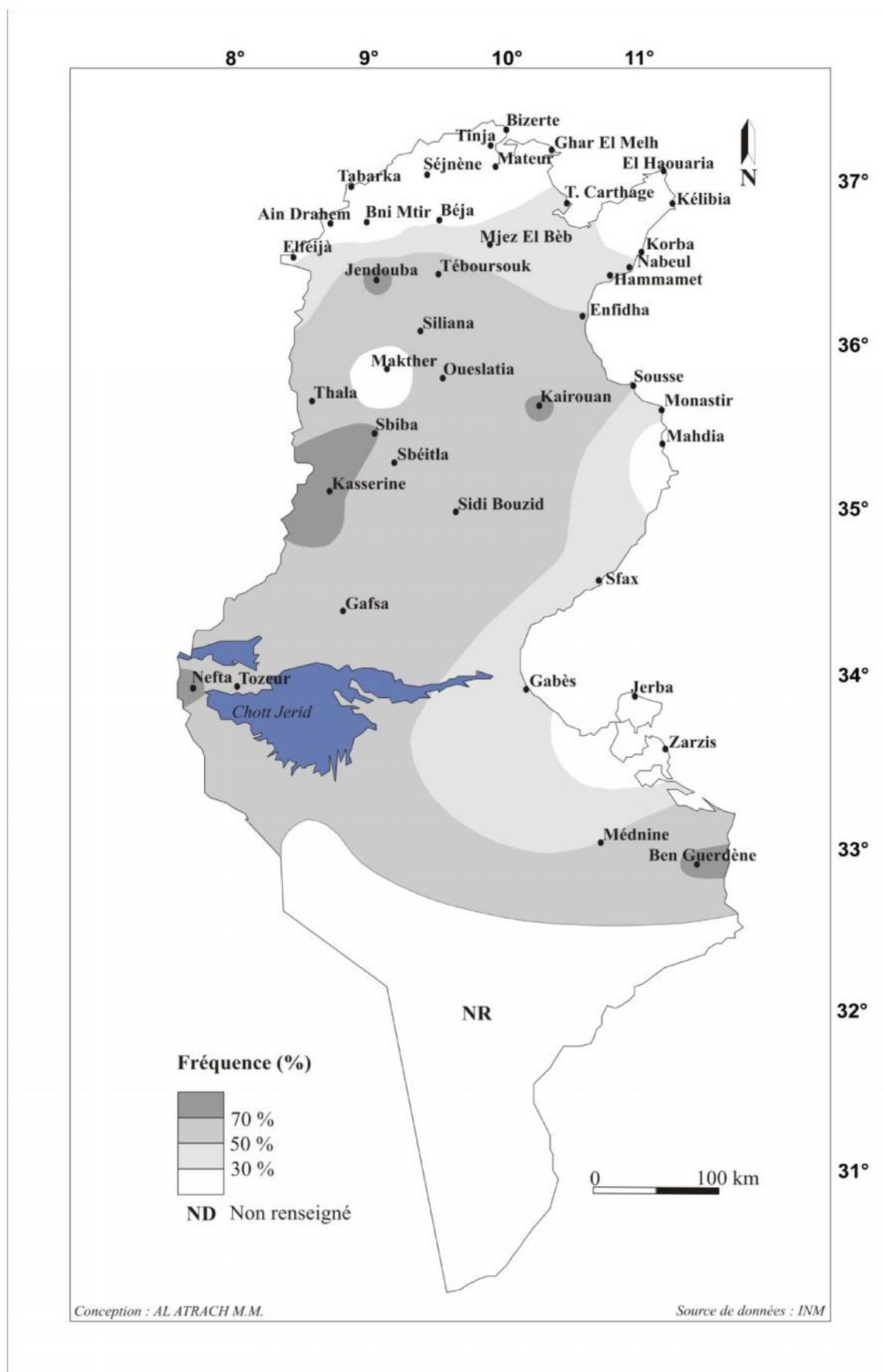


Figure 9. Répartition de la fréquence de la grêle d'été du total annuel en Tunisie entre 1976 et 2005.

## **5. La grêle dommageable tombe d'avril à septembre**

Il paraît difficile de déterminer une date précise à partir de laquelle une chute de grêle peut être dommageable. Cela dépend du type de culture pratiquée, ainsi que de sa répartition géographique et son exposition aux périodes grêlifères. Par ailleurs, on peut estimer la période des chutes de grêle dommageable en Tunisie à partir des dates limites de souscription et de cessation de l'assurance-grêle pour les principales cultures pratiquées (tableau 8).

La grêle s'avère profondément dommageable quand on se rapproche de plus en plus de la saison des récoltes. C'est en réalité au cours des mois de mai, juin, juillet et août (la saison d'été) que la végétation, en plein stade de production, souffre le plus des chutes de grêle. Néanmoins, pour le reste des cultures d'oliviers et d'agrumes, les chutes de grêle semblent potentiellement dommageables pendant la fin de l'été (les deux mois de juillet et d'août) et les deux saisons d'automne et d'hiver. C'est la période au cours de laquelle ces deux types de cultures atteignent leur maturation (fructification) et s'approchent de leur période de récolte. On constate donc que quelle que soit la saison, l'effet des chutes de grêle ne passe pas inaperçu.

## **6. Pendant la saison à risque (avril-septembre)**

### ***6.1. Précocité des chutes de grêle dommageables dans la région du Haut Tell***

Au début de la saison à risque ("printemps"), la fréquence saisonnière moyenne de jours de grêle chute par rapport à celle de l'hiver, soit une contribution d'environ 28% du nombre annuel de tout le pays. Cette diminution s'observe partout dans les stations du nord bien qu'elles atteignent encore les maxima moyens de toute la Tunisie. On l'observe dans la région du nord-ouest notamment dans les deux stations de Bni Mtir et d'Ain Drahem avec des valeurs en moyenne inférieures à 3 jours avec chutes de grêle (figure 10).

Par ailleurs, la quasi-totalité des stations du reste du réseau, et tout particulièrement celles de la région du Haut Tell, accusent une nette hausse de chutes de grêle (de presque le triple par rapport à l'hiver) comme à Jendouba, TébourSouk, Siliana, Makther, et Thala (tableau 9).

		Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Céréaliculture	Blé dur					←	→						
	Blé tendre					←	→						
	orge					←	→						
Agrumes		→							←				
Arbres fruitiers	Pommiers				←					→			
	Poiriers				←					→			
	Pêchers				←					→			
	Abricotiers				←					→			
	Cerisiers				←					→			
	Pruniers			←						→			
	Amandiers			←						→			
Vignes	Vignes de table						←				→		
	Vignes de cuve						←				→		
Oliviers		→							←				
Melons et Pastèques						←			→				

Tableau 8. Dates limites de souscription et de cessation de l'assurance-grêle des principales cultures en Tunisie (Source : la CTAMA et la COMAR).

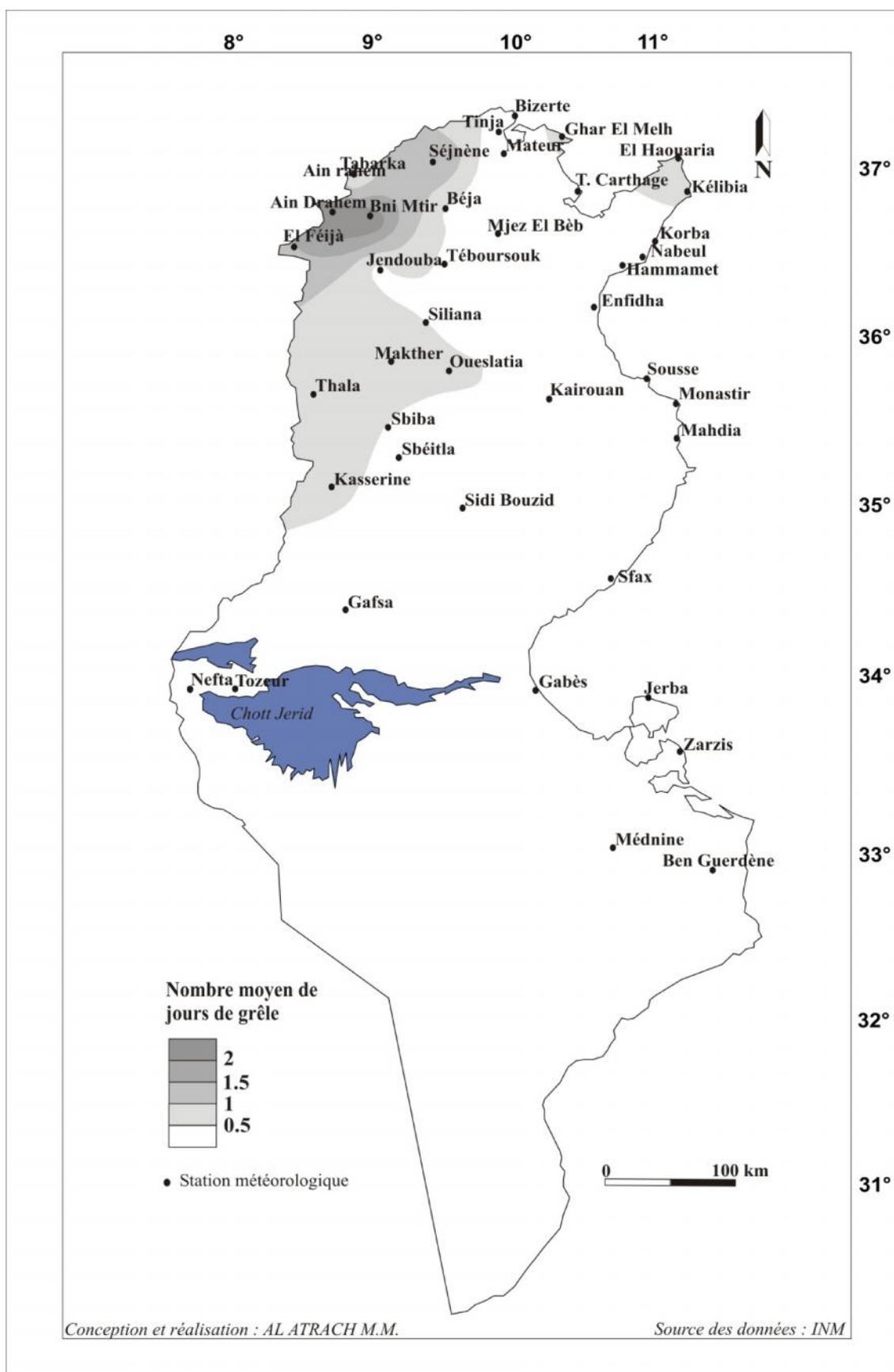


Figure 10. Répartition du nombre printanier moyen de chutes de grêle en Tunisie entre 1976 et 2005.

Stations	Grêle d'hiver (décembre, janvier et février)	Grêle du Printemps (mars, avril et mai)	Total annuel	Part du Printemps du total annuel (%)	Type du régime saisonnier
Jendouba	4	13	27	48,15	PEHA
Téboursouk	5	14	34	41,18	PEAH
Siliana	5	6	19	31,60	EPHA
Makther	5	15	26	57,70	PHAE
Thala	8	27	54	50,00	PEHA
Haut Tell	27	75	160	46,87	PEHA

Tableau 9. Grêle de la saison du printemps dans la région du Haut Tell entre 1976 et 2005 (Source : INM).

A l'échelle de toute la région du Haut Tell, le régime saisonnier est de type « PEHA ». Ce dernier montre un maximum printanier en terme de grêle de 75 chutes, soit presque la moitié du total annuel (46,87%). Ce maximum printanier est suivi par le maximum estival assez important pour les stations de Jendouba, Tébourouk et Thala. Cependant, sur les 75 chutes de grêle enregistrées au printemps dans le Haut Tell, plus d'1/3 (36%) sont observés dans la seule station de Thala, ce qui correspond au total de chutes de grêle enregistrés dans toute la région en hiver. En outre, la grêle est présente chaque printemps à Thala avec une probabilité de survenance de presque une fois par an (0,90).

### **6.2. Au cœur de la saison à risque (juin, juillet et août), les chutes de grêle sont plus marquées dans la région des Hautes Steppes**

En juin, juillet et août, la grêle se fait nettement plus rare qu'aux autres saisons. La part du total annuel est à peine 7,25%<sup>15</sup>, soit 14,15% seulement du maximum hivernal. La distribution du nombre estival moyen de jours de grêle en Tunisie (figure 11) permet de distinguer un seul noyau principal dans la région des Hautes Steppes tunisiennes au Centre-ouest, beaucoup moins important que celui observé en hiver et au printemps dans la région du nord-ouest. Le rythme de la répartition de la fréquence estivale de la grêle suit généralement celui de la répartition de la pluviométrie pendant cette saison (figure 12). En effet, les maxima des pluies

<sup>15</sup> Voir Tableau 7.

s'observent toujours dans les régions montagneuses et continentales de la Tunisie avec des moyennes de plus de 70 mm chaque été. Dans les stations de la région des Hautes Steppes<sup>16</sup> on a compté, pendant les mois du juin, juillet et août, un total de 63 chutes de grêle entre 1997 et 2005 (tableau 10).

Région	Nombre de chutes de grêle d'été	Nombre Annuel moyen de la région	Nombre Annuel moyen par station
Hautes Steppes	63	2,10	0,42

Tableau 10. Grêle de la saison d'été dans la région des Hautes Steppes tunisiennes entre 1976 et 2005 (Source : INM).

Parmi les 63 averses de grêle enregistrées en été dans cette région, la seule station de Kasserine accapare 31 averses (tableau 11). Dans ce tableau on remarque que la grêle est, en moyenne, présente chaque été dans la station de Kasserine. Ce maximum estival moyen se manifeste juste après une légère précocité printanière du phénomène, saison du deuxième maximum saisonnier de grêle.

	Automne (17 chutes)		Hiver (11 chutes)		Printemps (18 chutes)		Eté (31 chutes)		Année (77 chutes)	
	Nombre moyen	Probabilité de survenance	Nombre moyen	Probabilité de survenance	Nombre moyen	Probabilité de survenance	Nombre moyen	Probabilité de survenance	Nombre Moyen	Probabilité de survenance
Kasserine	0,57	1 fois / 2 ans	0,37	1 fois / 3 ans	0,60	1 fois / 2 ans	1,03	1 fois / an	2,57	5 fois / 2 ans

Tableau 11. Les chutes de grêle dans la station de Kasserine entre 1976 et 2005 (Source : INM).

A la station de Kasserine, on ne dispose jusqu'à présent pas de meilleurs enregistrements des chutes de grêle malgré la sensibilité de la région à ce risque. Sauf les enregistrements concernant les jours de grêle, cette station comme l'Institut National de la Météorologie en général, n'offrent pas d'autres types de données telles que les mesures de la taille et de l'intensité des grêlons. En outre le responsable de la station n'est pas aussi un arboriculteur pour qu'il puisse connaître les différents aspects du risque-grêle dans le domaine agricole.

<sup>16</sup> Les stations de Oueslatia, Sbiba, Sbeitla, Kasserine, Sidi Bouzid et Gafsa.

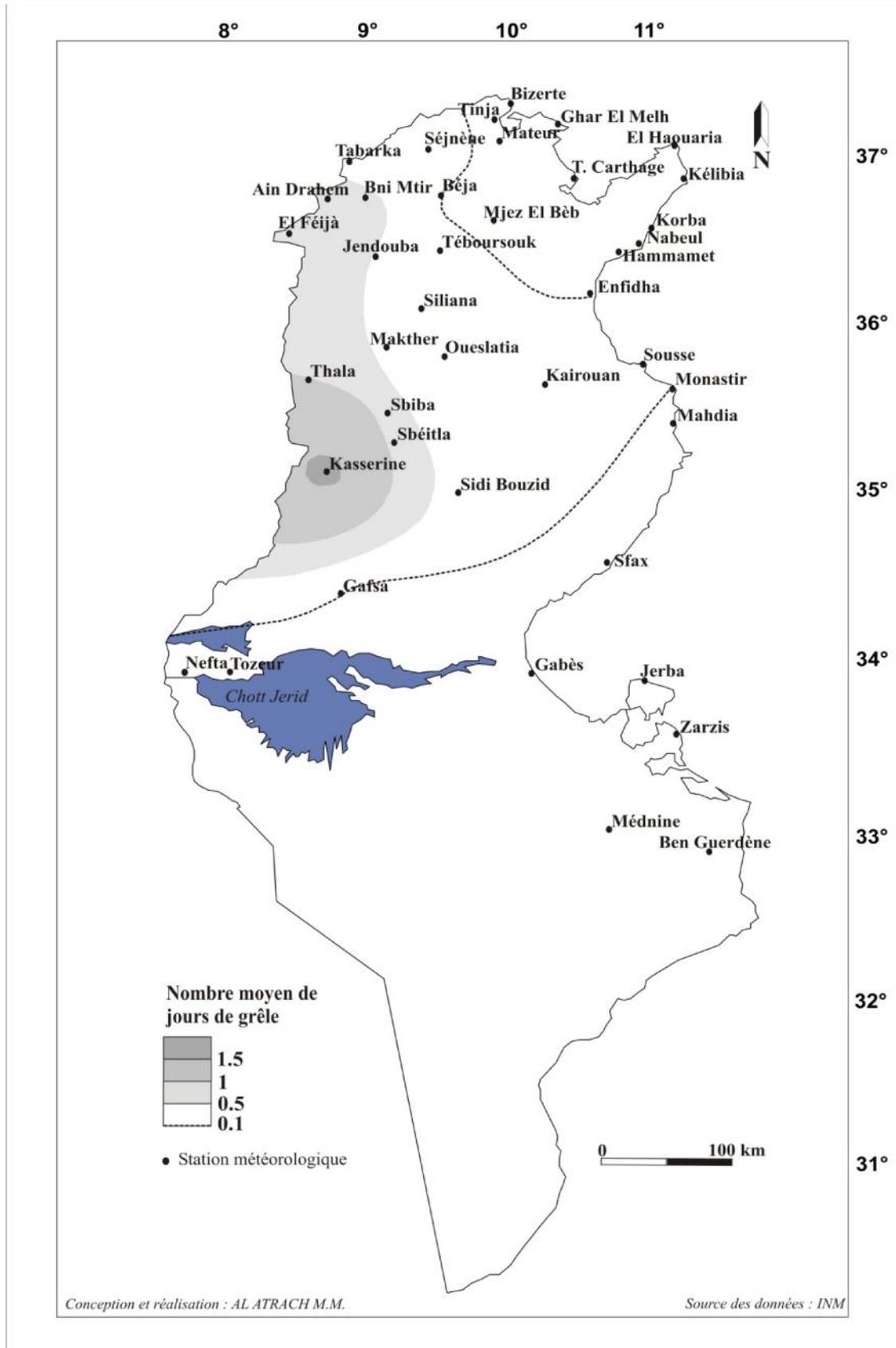


Figure 11. Répartition du nombre estival moyen de chutes de grêle en Tunisie entre 1976 et 2005.

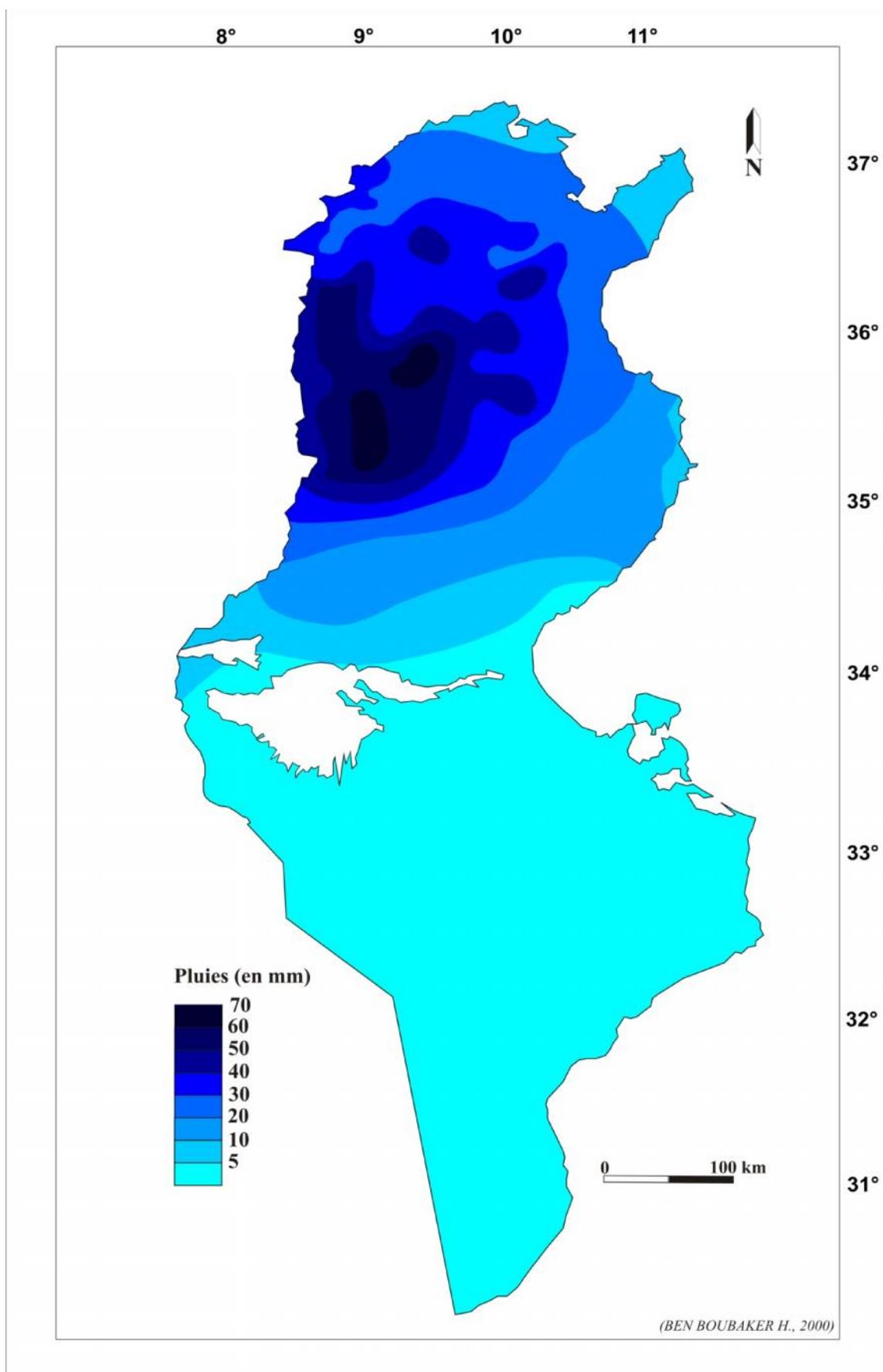


Figure 12. Répartition de la pluviométrie moyenne de l'été en Tunisie (1935-1994).

## 7. Les nuages grêlifères

La formation de la grêle est associée souvent à un nuage orageux. Ce type de nuage révèle généralement cinq stades de croissance. Après la phase des *cumulus humilis* (photo 5), un orage unicellulaire simple est constitué de *cumulus mediocris* (photo 6) qui fusionnent entre eux. Ils se transforment ensuite en cumulus bourgeonnants (ou *cumulus congestus* ; photo 7) avec début de précipitations en leur sein. Lorsque des cristaux de glace se forment au sommet du nuage, ces *congestus* deviennent par définition des *cumulonimbus calvus* (photo 8). Apparaissent alors les premiers phénomènes électriques qui caractérisent les orages. Au stade mature, une enclume se forme au sommet du nuage qui prend alors le nom de *cumulonimbus capillatus* (photo 9). Cette enclume est provoquée par l'étalement du nuage suite à l'inversion de température à la tropopause, et à la présence de vents forts à cette altitude. Cependant, le cœur de précipitations dans le nuage, qui se trouve à une grande altitude, commence à être trop pesant pour que le courant ascendant puisse le soutenir. La pluie mêlée de petits grêlons commence alors à redescendre vers le sol.

En effet, cette précipitation descend dans le courant ascendant et s'évapore partiellement en refroidissant l'air qui l'entoure. Ce dernier devient par conséquent plus froid que l'environnement, et par poussée négative d'Archimède, s'accélère vers le sol. Graduellement le courant descendant s'intensifie et supplante le courant ascendant. Après la pluie, l'orage unicellulaire se dissipe rapidement, créant une zone plus fraîche autour de lui. Le processus de formation de la grêle fait intervenir toutes les manifestations des orages, à savoir, les manifestations thermodynamiques (les processus de fusion, d'évaporation, de fonte, de condensation et de congélation), Les manifestations microphysiques (les différents changements d'état que subissent les hydrométéores au cours de leur évolution) et les manifestations cinématiques (l'organisation et l'intensité des différents courants).

### 7.1. La formation de la grêle en altitude

Au sein d'un nuage orageux, les particules de glace prennent une structure géométrique qui dépend énormément des conditions environnantes. En effet, en fonction des conditions de température et d'humidité, ces particules de glace se comportent différemment (figure 13).



*Photo 5. Cumulus Humilis (cliché : AL ATRACH M.M.).*



*Photo 6. Cumulus Mediocris (cliché : AL ATRACH M.M.).*



*Photo 7. Cumulus Congestus (cliché : AL ATRACH M.M.).*



*Photo 8. Cumulonimbus Calvus (cliché : AL ATRACH M.M.).*



*Photo 9. Cumulonimbus capillatus (cliché : AL ATRACH M.M.).*

Entre la saturation par rapport à la glace et celle par rapport à l'eau, les molécules de glace présentent naturellement une forme hexagonale (6 facettes). La croissance de ces particules de glace est souvent conditionnée par la température. En effet ;

- entre l'isotherme 0°C et celui de -4°C apparaissent des plaques minces.
- A partir de -4°C et jusqu'à l'isotherme -10°C dominent des colonnes creuses avec quelques aiguilles.
- entre les deux isothermes -10°C et -22°C se matérialise le développement le plus important. Au niveau de cette fourchette thermique se trouvent des colonnes creuses beaucoup plus larges ainsi que des cristaux dendritiques.
- Au-delà de l'isotherme -22°C et avec un processus de refroidissement de plus en plus rapide, s'organisent des cristaux en pyramides désignés par le vocable « ogives ».

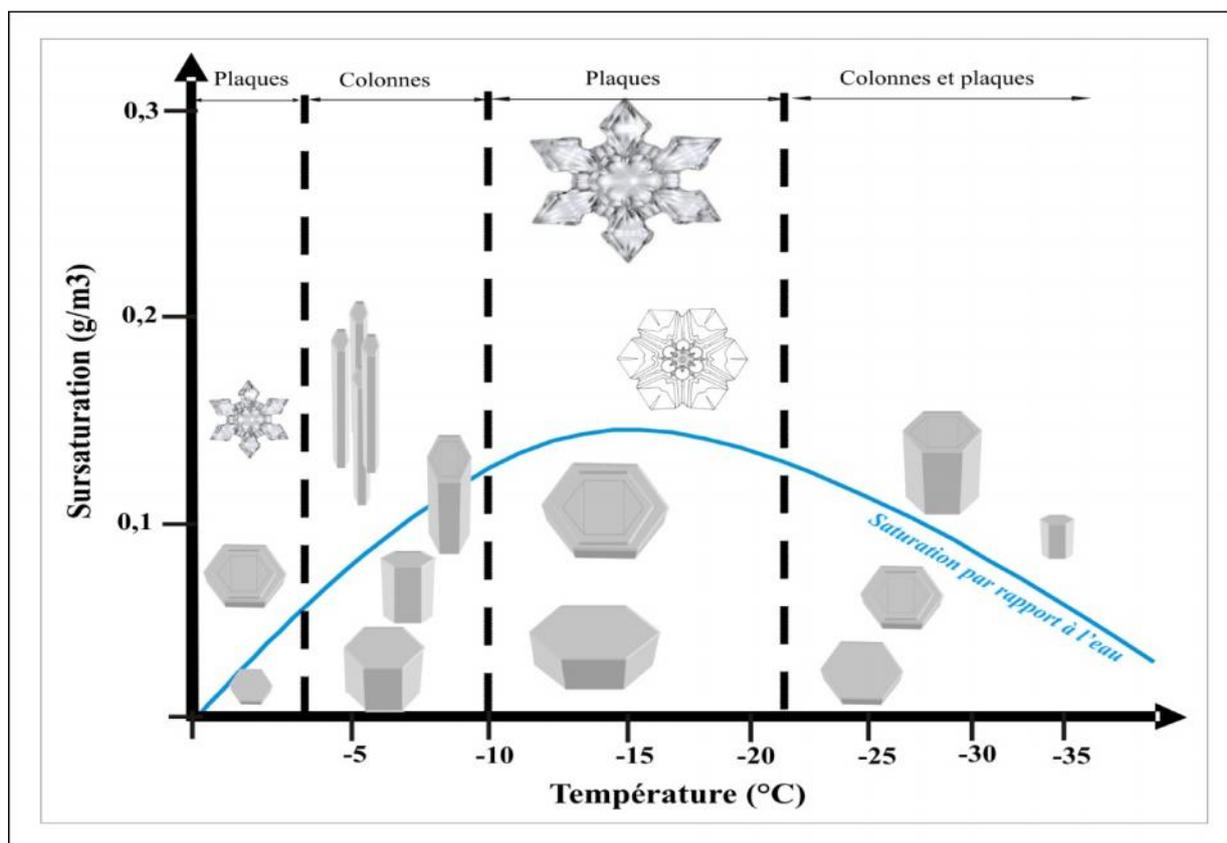


Figure 13. Structure des hydrométéores dans un nuage orageux (Source : GOURDEAU J. 2004).

Ce qui nous intéresse, c'est le point où la saturation en eau est atteinte. A ce niveau, un grand nombre de gouttelettes d'eau se congèle par un mode de transformation connu sous le vocable « givrage ». Des cristaux givrés se mettent ainsi en place. Ensuite, et en fonction de l'importance du contenu en eau, des particules de grésil et des grêlons plus ou moins volumineux prennent la relève.

## 7.2. Processus microphysiques

A l'intérieur d'un orage les hydrométéores présentent généralement deux états, à savoir :

- l'état liquide : les gouttelettes de nuages en suspension et les gouttes de pluies.
- l'état solide : les cristaux, les flocons de neige, le grésil et les grêlons.

De nombreuses relations existent entre ces différentes formes et peuvent conduire à la formation soit de précipitations liquides (pluie), soit de précipitations solides (neige, grésil, grêlons...etc.). Le passage vers l'état solide se fait par plusieurs modes de croissance :

- soit par dépôt, lorsque la vapeur d'eau se condense directement en phase de glace sur le noyau de congélation.
- soit par congélation interne, lorsque la solidification s'effectue à partir d'un noyau au sein de la particule liquide.
- soit par contact entre un hydrométéore et un noyau de congélation libre.

Le grand nombre d'interactions ainsi que leur complexité, entre les différentes formes d'hydrométéores, constitue un problème majeur pour donner une explication simple du mécanisme de formation de la grêle. Par ailleurs, ROUX F. en 1991 propose un modèle de formation en sept différentes étapes (figure 14). La succession de ces étapes fait intervenir toutes les manifestations des orages (cinématiques, thermodynamiques et microphysiques).

Quelle que soit la cause, réchauffement par la base ou bien soulèvement par un front ou un relief, l'ascendance thermique conduit d'abord à la formation du nuage convectif de 8 à 10 kilomètres d'altitude (a). Au-dessus de l'isotherme 0°C, il se développe un embryon de glace qui se forme au détriment des gouttelettes en surfusion dominant la partie centrale du nuage (b). Les gouttelettes d'eau s'évaporent au profit d'un cristal majeur : c'est le mécanisme de *transfert* (c). Dans la zone envahie par l'énergie cinématique de la chute du cristal, les gouttelettes commencent à se collecter : c'est le mécanisme de *coalescence* (d).

En fonction de la présence d'un flux ascendant dominant, le maintien du cristal subit deux tendances majeures.

- soit le processus de formation des grêlons est entravé par une ascendance nulle. A ce niveau le cristal majeur tombe, puis il fond en traversant l'isotherme 0°C pour donner finalement de la pluie (e).

- soit ce cristal gagne davantage de l'altitude par le biais d'un flux ascendant très important. Il continue ainsi à grossir par le mécanisme de *coalescence* (f).

Atteignant enfin un poids suffisant, le grêlon lourd tombe, franchit l'isotherme 0°C et atteint la surface du sol sans se fondre (g).

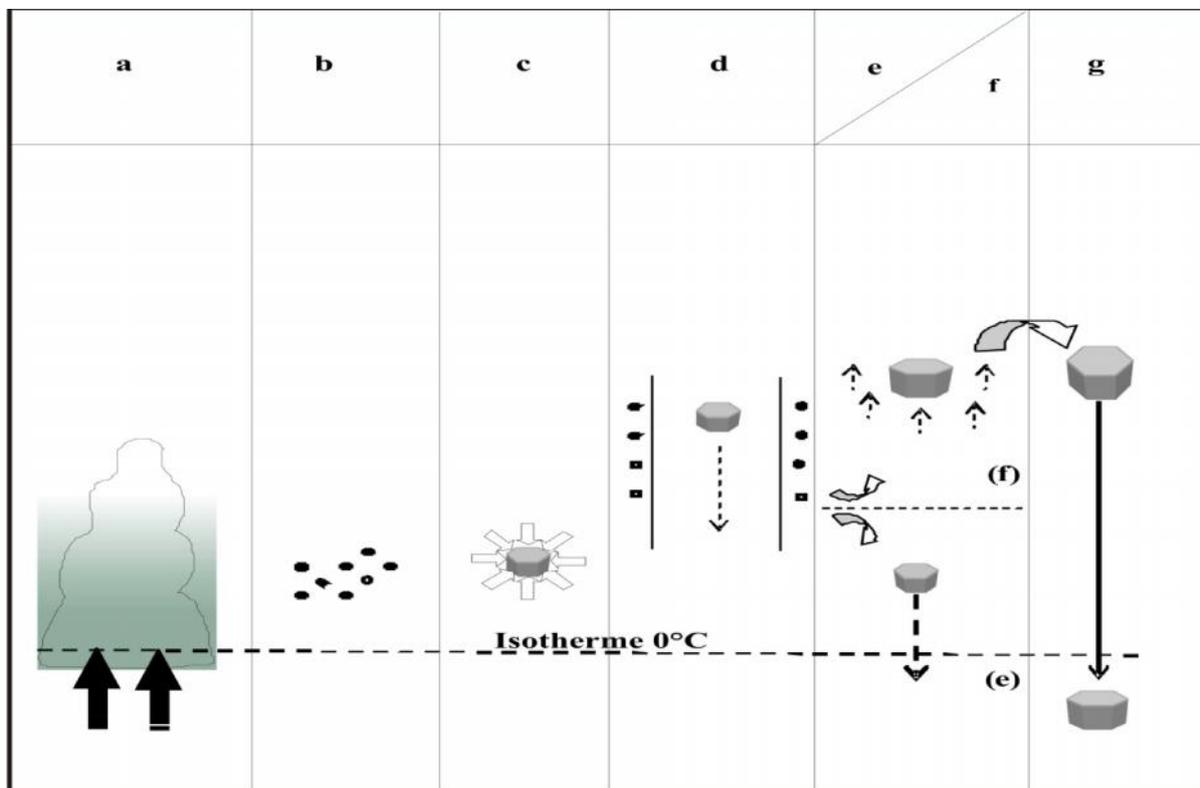


Figure 14. Processus microphysiques de formation de la grêle (Source : ROUX F. 1991).

### 7.3. Production de la grêle

S'agissant d'un orage multicellulaire ou d'une supercellule, la situation type de la production de la grêle est l'injection d'*embryon de glace* dans la partie centrale de la zone du flux ascendant. Au cours des dernières décennies, les campagnes d'observation, dont celle de N.H.R.E (National Hail Research Experiment) aux Etats-Unis en 1972, ont permis de décrire les processus de formation de la grêle pour chacune des deux types d'orage.

#### 7.3.1. Parcours d'un grêlon dans un nuage orageux

Au-dessous d'un *Cumulonimbus*, il y a toujours un fort courant ascendant d'air chaud. L'air en altitude se refroidit et redescend de chaque côté. Le flux ascendant entraîne les petites gouttelettes en suspension dans ce nuage, il les remonte jusqu'à une altitude où celles-ci

gèlent : c'est l'*embryon* des grêlons. A son sommet, le vent est assez fort, les petits grêlons redescendent, s'amalgament avec d'autres gouttes d'eau, puis pris de nouveau dans le chemin du flux ascendant, ils remontent à une haute altitude : ainsi ils gèlent et s'agrandissent à chaque fois davantage. Peu à peu, les grêlons deviennent tellement gros et lourds que le flux ascendant sous le nuage ne peut plus les supporter (CHANGNON S.A., 2002). Ils tombent alors jusqu'au sol (figure 15).

Si l'on prend un grêlon et qu'on le coupe transversalement en deux, pour chaque cycle de formation, on verra une strie tout à fait semblable à une coupe d'un tronc d'arbre (CHANGNON S.A., 2002) ; figure 16.

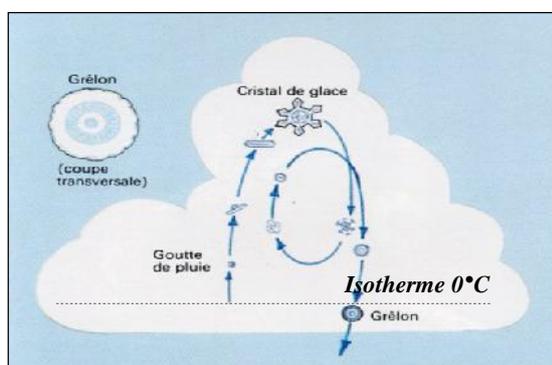


Figure 15. Parcours d'un grêlon au sein d'un nuage (source : Les Feuilles d'atmosphère, 2010).



Figure 16. Coupe transversale d'un grêlon (Source : www.Wikipédia.htm).

### 7.3.2. Cas des orages multicellulaires

La formation des embryons de glace à l'intérieur d'un orage multicellulaire privilégie les nouveaux éléments convectifs qui régénèrent l'avant de l'ensemble nuageux principal (figure 17). Au sein de la zone du flux ascendant, entre 6 à 8 kilomètres d'altitude et à températures allant de  $-15^{\circ}\text{C}$  à  $-20^{\circ}\text{C}$ , ces embryons s'organisent sous plusieurs formes (agrégats, grésil...etc.). Lorsque la force et la direction des vents augmentent avec l'altitude de façon linéaire, le courant ascendant de convection n'est plus à la même position que le courant descendant avec la précipitation. Ceci produit un front de rafale qui s'éloigne en forme d'arc à partir du cœur de précipitations et repousse la zone d'ascension. Un surplomb de précipitation se forme donc généralement dans le quadrant sud-ouest de la cellule mère dans l'hémisphère nord, alors que les vents dominants de surface viennent de cette direction. Comme le front de rafale se dissocie avec le temps de la cellule initiale en formant des cellules filles, le nuage multicellulaire forme donc une ligne d'orages à différents stades de développement.

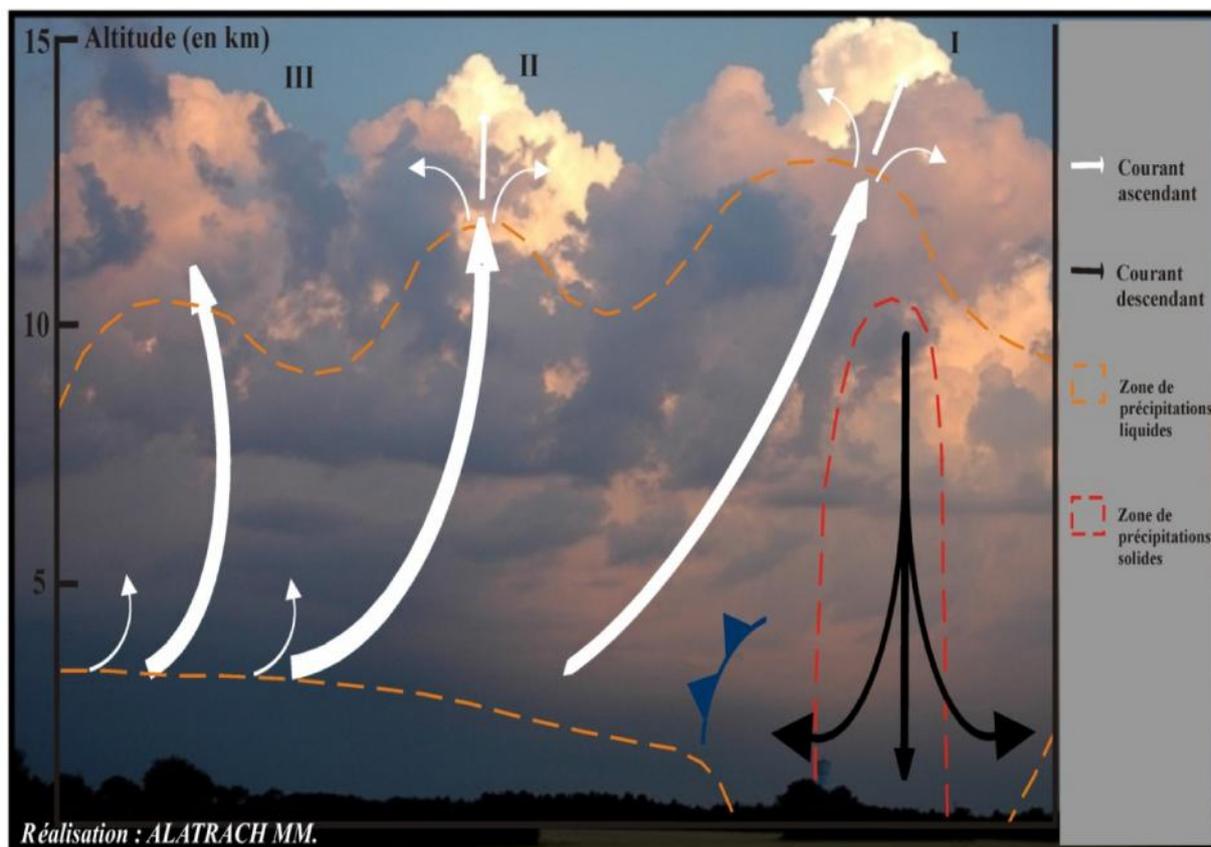


Figure 17. Dynamique de la grêle dans un orage multicellulaire (source : BROWING K. et FOOT G. 1976).

Durant la phase de maturité, les grêlons se développent rapidement par un mécanisme de croissance bien connu sous le nom d'« *accrétion* » pendant lequel les hydrométéores captent, au cours de leur chute, les plus petites particules. Ce mécanisme de transformation se met en fonction au détriment de la quantité d'eau préservée dans les anciennes cellules. Atteignant un poids significatif, ces grêlons sont entraînés dans un flux descendant. La production des embryons dans les nouvelles cellules, leur passage jusqu'au stade de grêlons ainsi que leur chute, durent environ 30 minutes. La structure radar de ce type d'orage est caractérisée par des surplombs sur la partie sud-ouest d'une ligne de forts échos. Il apparaît que ces surplombs avancent dans cette direction pendant que la ligne se déplace de fait de 30 à 70 % de la vitesse des vents dans la couche où se produisent les orages. Durant l'évolution de ce type d'orages, les laps de temps entre la formation des embryons puis celle des grêlons, et le temps exécuté de la phase de *Cumulus congestus* (le nouveau élément convectif à l'avant du grand amas nuageux) jusqu'à la phase du *Cumulonimbus calvus* (lorsque la nouvelle cellule atteint sa maturité et devient la cellule principale), se traduisent par de courts épisodes grêlifères successifs et bien distincts.

### 7.3.3. Cas des orages supercellulaires

La production des grêlons dans les supercellules passe généralement par trois étapes, à savoir :

- d'abord, les particules croissent à l'état solide, soit par la congélation des gouttes de pluie, soit par l'agrégation des cristaux, ou encore par la coalescence des gouttelettes.
- il s'effectue, ensuite, un transfert d'une grande partie de ces particules vers une zone dite « rideau » juste à l'avant de l'orage. Elles continuent ainsi à se développer mais lentement à cause de la moindre teneur en eau.
- atteignant enfin des diamètres importants (quelques millimètres), ces embryons de glace chutent en dehors du rideau. Ils passent de nouveau dans le chemin des courants descendants où ils grossissent rapidement par coalescence.

Dans l'autre côté, loin de la zone de croissance, les petites particules de faible poids sont transférées vers l'*enclume*. Elles ne peuvent pas produire de grêlon de taille importante. La chute de grêle s'effectue juste derrière le flux descendant (figure 18).

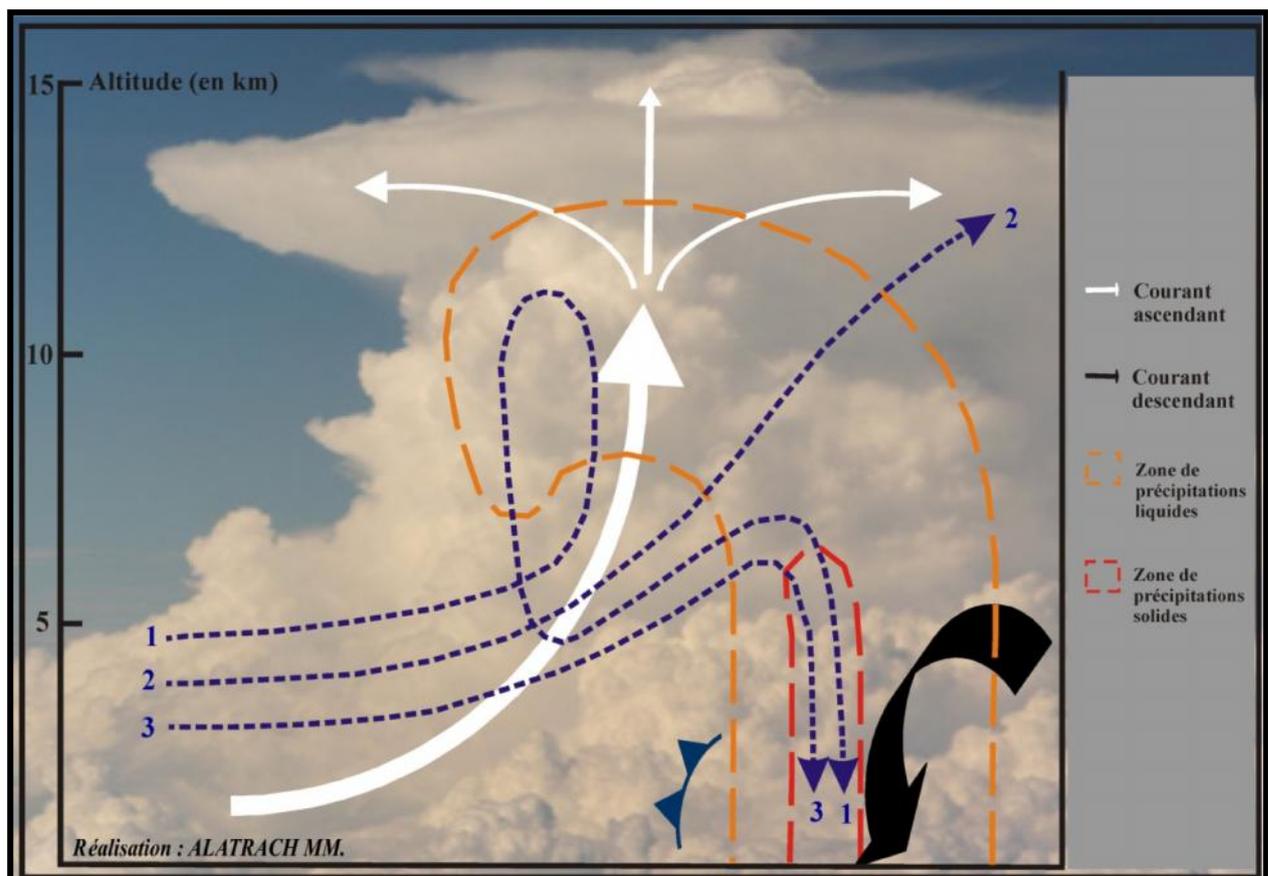


Figure 18. Dynamique de la grêle dans un orage supercellulaire (source : BROWING K. et FOOT G. 1976).

Lorsque le cisaillement des vents tourne avec l'altitude, on peut arriver à une situation où il y a un renforcement du mouvement vertical sous le courant ascendant, et une synchronisation entre le front de rafales descendantes et le courant ascendant. De plus, si l'énergie potentielle convective disponible monte au-dessus de 1 500 J/kg, le courant ascendant permettra une très large extension verticale (jusqu'à plus de 15 km). Ceci donne des cellules orageuses indépendantes en équilibre stable entre l'entrée et la sortie des courants qui leur permettent de vivre très longtemps. Elles peuvent produire de la grosse grêle, des vents destructeurs et des pluies torrentielles. De plus, si un cisaillement horizontal du vent en surface est transformé en tourbillon vertical par le courant ascendant, ces supercellules peuvent produire des tornades si la rotation est accentuée par le courant descendant.

De point de vue radar, voici en vert la signature typique d'une supercellule (figures 19 et 20). Elle a une forme d'aile de papillon (ER). Il s'agit ici d'un moteur-droit, l'orage se déplace donc du SO vers le NE, la zone la plus violente étant le coin SO. La ligne d'alimentation (LA) délimite la zone où l'air chaud monte en altitude, et est attiré vers le centre de la supercellule, au niveau de la colonne d'air ascendant principale de l'orage. La limite de l'enclume (LE) délimite l'extension verticale maximale de l'orage. L'enclume est parfois rétrogressive, avec une supercellule. Le pseudo-front froid (P-FF), délimite la zone d'air froid descendant arrière de l'air chaud instable qui s'engouffe dans l'orage. Un P-FF peut être matérialisé par la ligne d'alimentation de l'orage. Le courant descendant de flanc arrière (RFD) est un air froid subsident sortant vers le sol à l'arrière de la supercellule. Il s'agit généralement d'un air sec (voir fente claire). La présence de précipitation sur une signature radar peut indiquer la présence d'un crochet (ou pendant). Le pseudo-front chaud (P-FC), délimite la zone d'air froid descendant avant de l'air chaud instable s'engouffrant dans l'orage. Un P-FC peut être matérialisé par une ligne de rafale (avec arcs) ou une bande d'afflux. Le courant descendant de flanc avant (FFD) est un air froid subsident sortant vers le sol à l'avant de la supercellule. Il s'y produit d'intenses précipitations. Un FFD est généralement plus fort qu'un RFD, car le FFD désigne le courant descendant principal.

L'efficacité du mécanisme de la production des grêlons dans les supercellules est relativement faible compte tenu de la stabilité interne (ROUX F. 1991). Cette efficacité relative bien qu'elle n'offre qu'un nombre limité de grêlons par unité de surface, elle favorise néanmoins le développement de blocs de glace compacte, parfois de plusieurs centimètres de diamètre. Durant l'évolution de ce type d'orage, le passage *embryon-grêlon* s'effectue dans

une même cellule. La chute des grêlons se caractérise donc par un seul épisode grêlifère relativement long et stationnaire au même endroit.

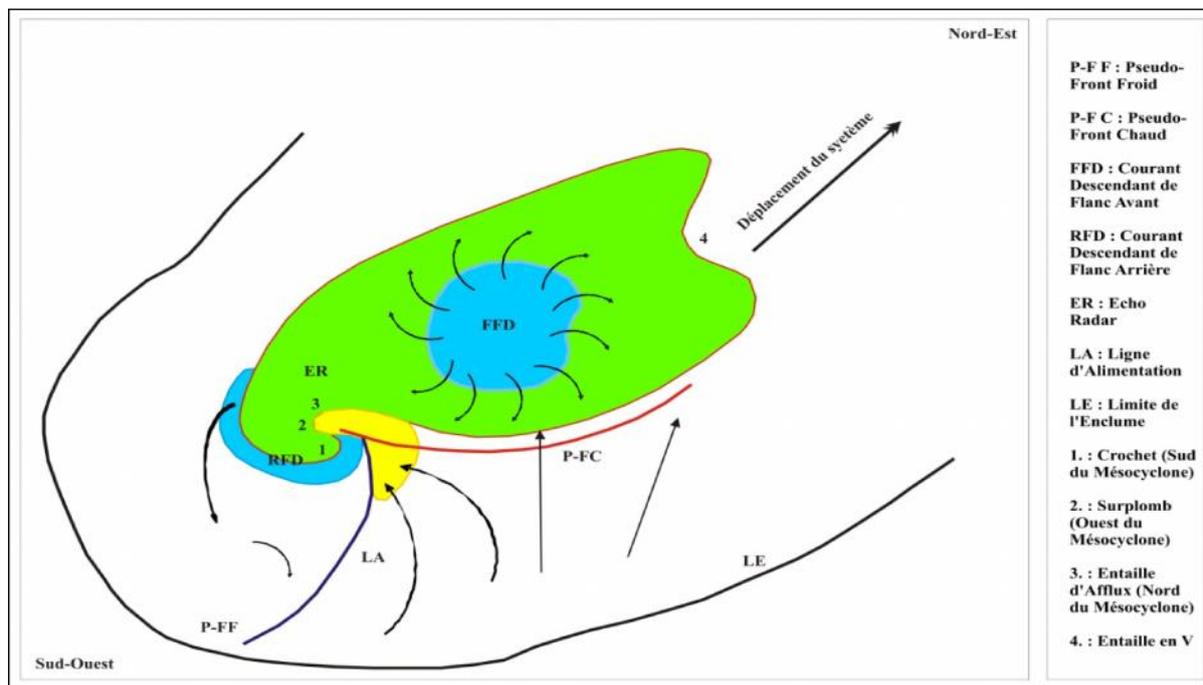


Figure 19. Coupe horizontale d'une supercellule (Source : DUTHEIL P., 2009).

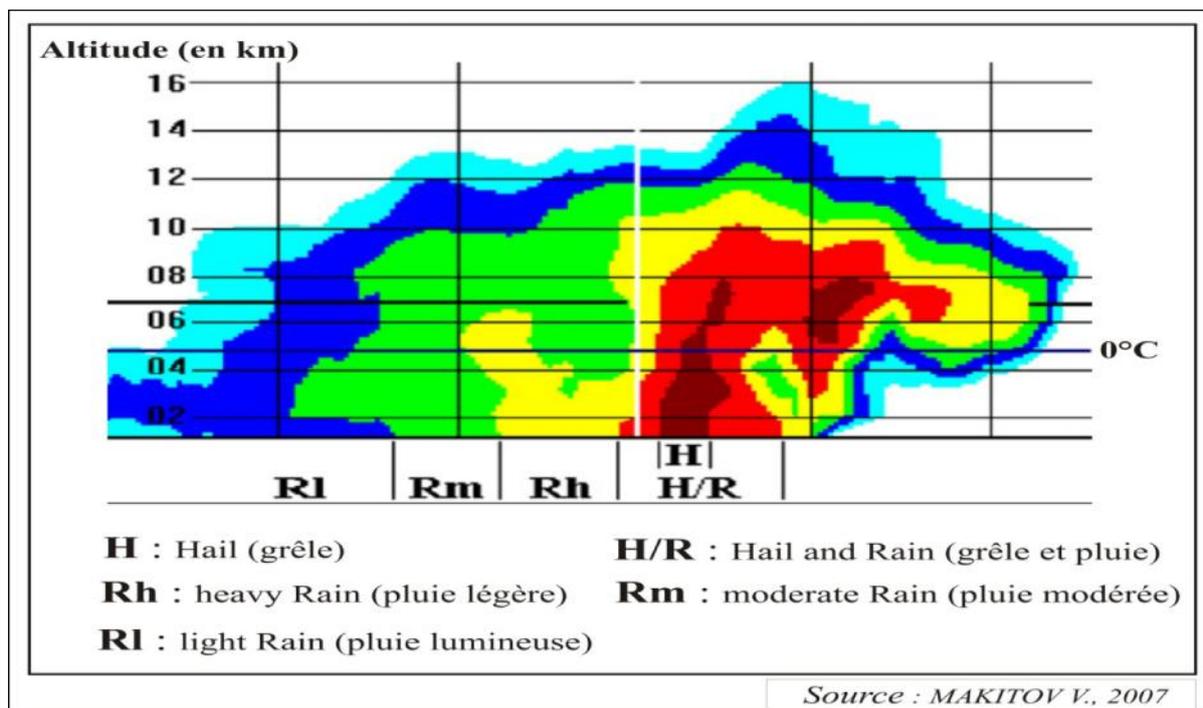


Figure 20. Coupe verticale d'une supercellule et principales zones des précipitations.

#### 7.4. Les situations météorologiques à l'origine de la grêle en Tunisie

Les cartes météorologiques employées à l'étude de la météorologie des chutes de grêle en Tunisie sont la carte en surface et la carte 500 hectopascals. D'une manière générale, il est

connu que c'est entre 300 et 700 *hectopascals* qu'on trouve de la grêle dans 86% des cas des orages à grêle, et la surface isobarique 500 *hectopascals* avec son altitude standard de 5556 mètres constitue ainsi une altitude intermédiaire convenable. Dans sa contribution à l'étude du phénomène de la grêle en Tunisie, publiée en 1976, SAIDI H. a choisi de partager la Tunisie en régions selon leurs fréquences moyennes des jours de grêle et de délimiter les saisons par le changement des conditions météorologiques similaires au cours de l'année. Les régions groupent principalement les stations suivantes (figure 21):

- région 1 (l'extrême Nord-ouest) : Ain Drahem, Tabarka, Bni Mtir et Sejnène.
- région 2 (la vallée de la Medjerda) : El Féija, Jendouba, Tébourouk, Béja, Mjez El Beb, Tunis-Carthage.
- région 3 (l'extrême Nord-est) : Bizerte, Tinja, Mateur, Ghar El Melh et El Haouaria.
- région 4 (le Haut Tell et les Hautes Steppes) : Kasserine, Thala, Sbiba, Sbeitla, Makther et Siliana.
- région 5 (les Basses steppes) : Oueslatia et Kairouan.
- région 6 (le Sahel) : Enfidha, Sousse, Monastir et Mahdia.
- région 7 (le Cap Bon) : Hammamet, Nabeul, Korba et Kélibia.
- région 8 (le Sud-ouest) : Gafsa, Nefta et Tozeur.
- région 9 (la région de Sfax) : Sidi Bouzid et Sfax.
- région 10 (le Sud-est) : Gabès, Jerba, Zarzis, Médnine et Ben Guerdène.

De même, et d'après le même auteur, il ressort de l'examen des cartes en surface qu'il existe une correspondance entre le lieu des centres des dépressions en surface et les régions grêlifères. Ces lieux sont délimités géographiquement et par saison, et ils sont indiqués par des zones numérotées de 1 à 8 (figure 22) :

- zone 1 : la dépression en surface est centrée sur la mer de Ligurie.
- zone 2 : la dépression en surface est centrée sur la mer Tyrrhénienne et la mer Ionienne.
- zone 3 : la dépression en surface est centrée entre Sardaigne et le Nord-est de l'Algérie.
- zone 4 : la dépression en surface est centrée sur la zone entre la Tunisie et Sicile.
- zone 5 : la dépression en surface est centrée sur les frontières sud-ouest avec l'Algérie.
- zone 6 : la dépression en surface est centrée sur le Sud de la Tunisie et le golfe de Gabès.
- zone 7 : la dépression en surface est centrée sur l'île de Malte.
- zone 8 : la dépression en surface est centrée sur les frontières algéro-libyennes.

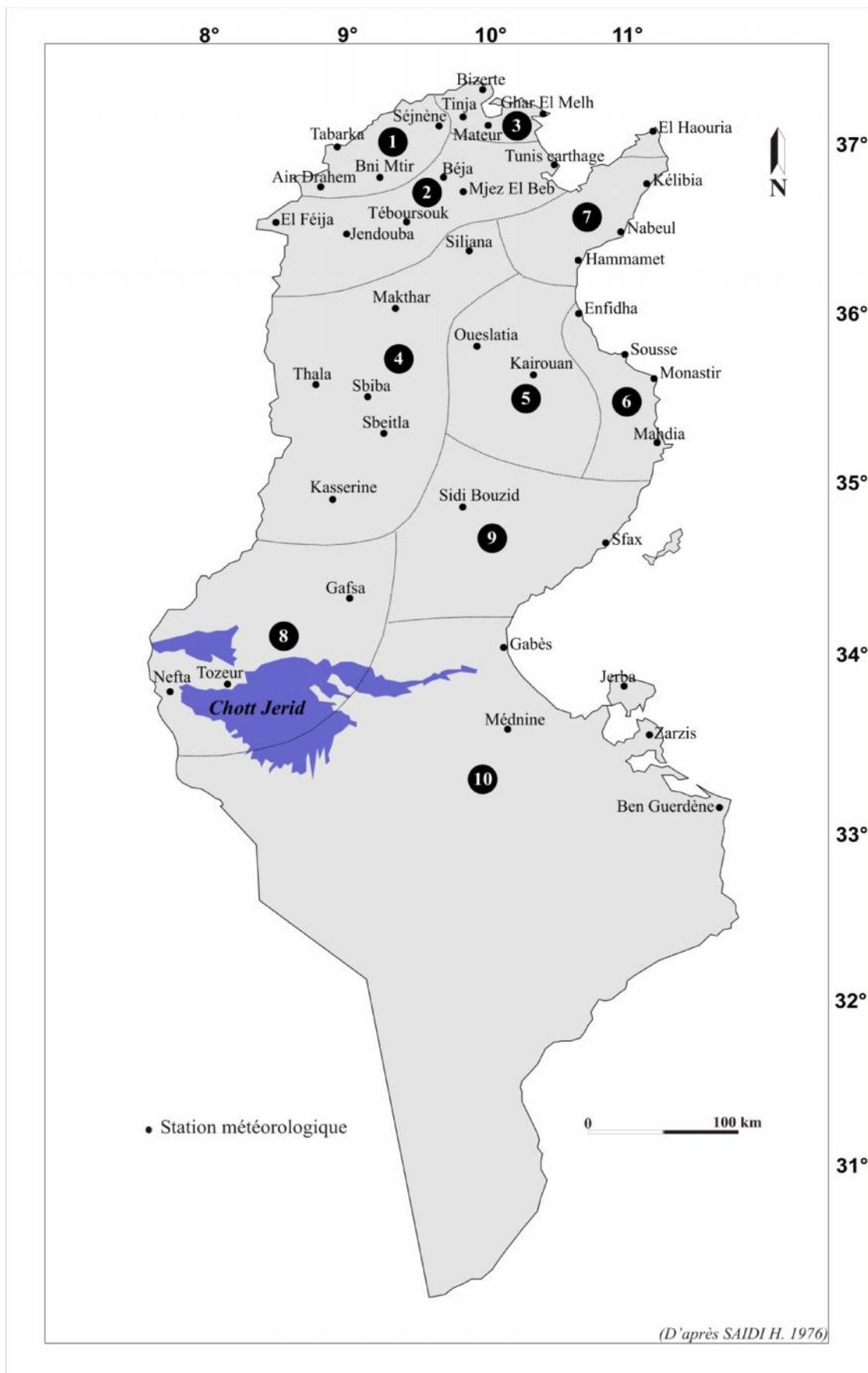


Figure 21. Limite des régions grêlifères en Tunisie.

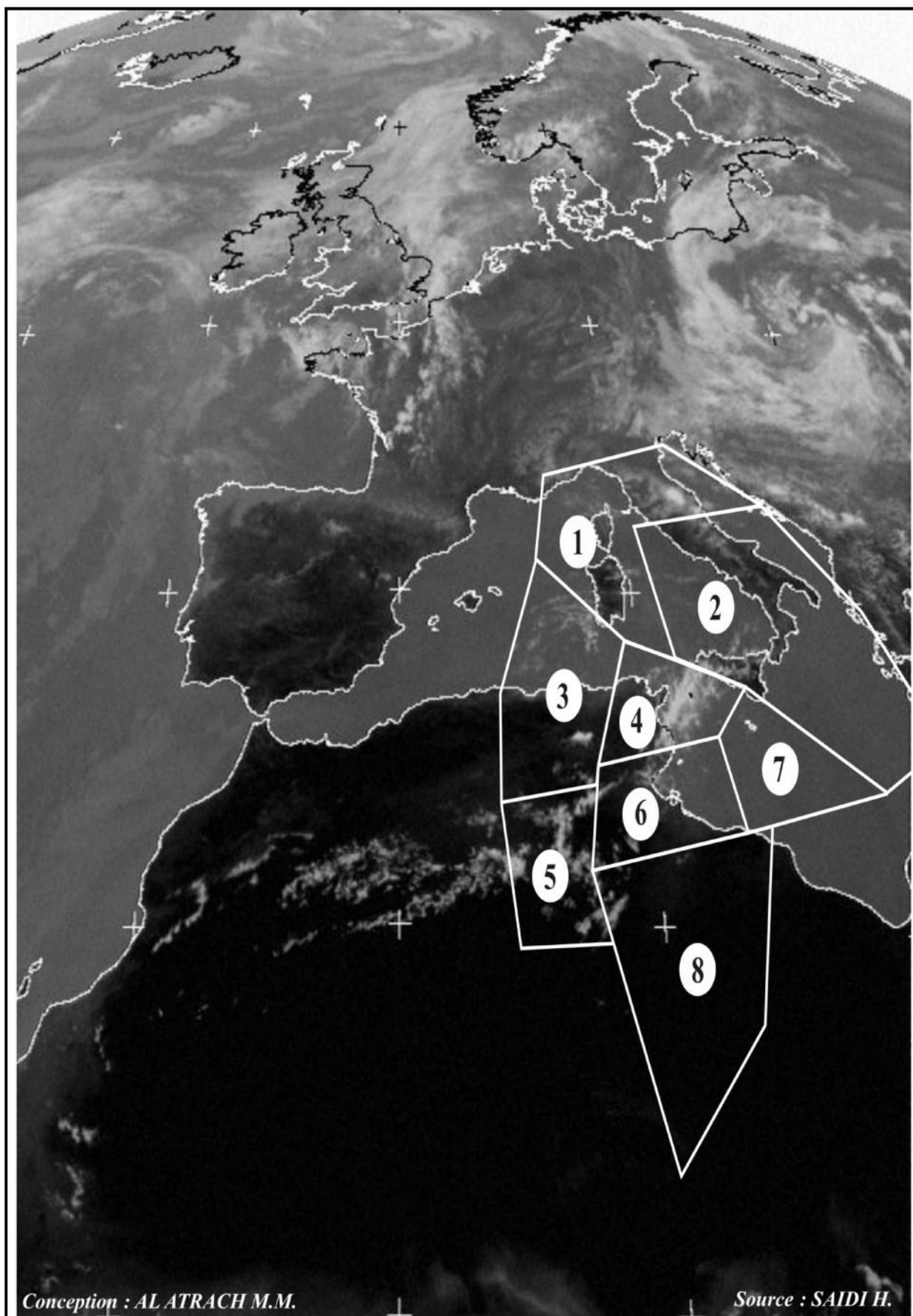


Figure 22. Limites des zones des lieux des dépressions en surface.

On peut distinguer deux types de situation à l'origine de la grêle : frontologique et convective. Les situations à caractère frontologique sont les plus fréquentes. Les cellules orageuses potentiellement grêlifères se forment et se déplacent en général à l'avant d'un front froid descendu par l'Espagne ou la méditerranée occidentale et associé à un *cut-off* en altitude. En situation convective, les cellules se forment par thermoconvection locale sans forçage dynamique. Ce type de situation est plus fréquent en été.

#### 7.4.1. La saison mai-septembre : domination des situations à caractère convectif

Les nuages grêligènes à caractère convectifs en Tunisie caractérisent le plus souvent la période allant du mois du mai au mois du septembre<sup>17</sup>. On sait que durant ces cinq mois, il grêle moins sur l'ensemble de la Tunisie (371 jours avec chutes de grêle d'un total de 1957 jours entre 1976 et 2005) et que c'est au cours du mois de juillet qu'on enregistre le minimum de chutes de grêle pour cette saison et pour toute l'année avec seulement 43 jours (figure 23).

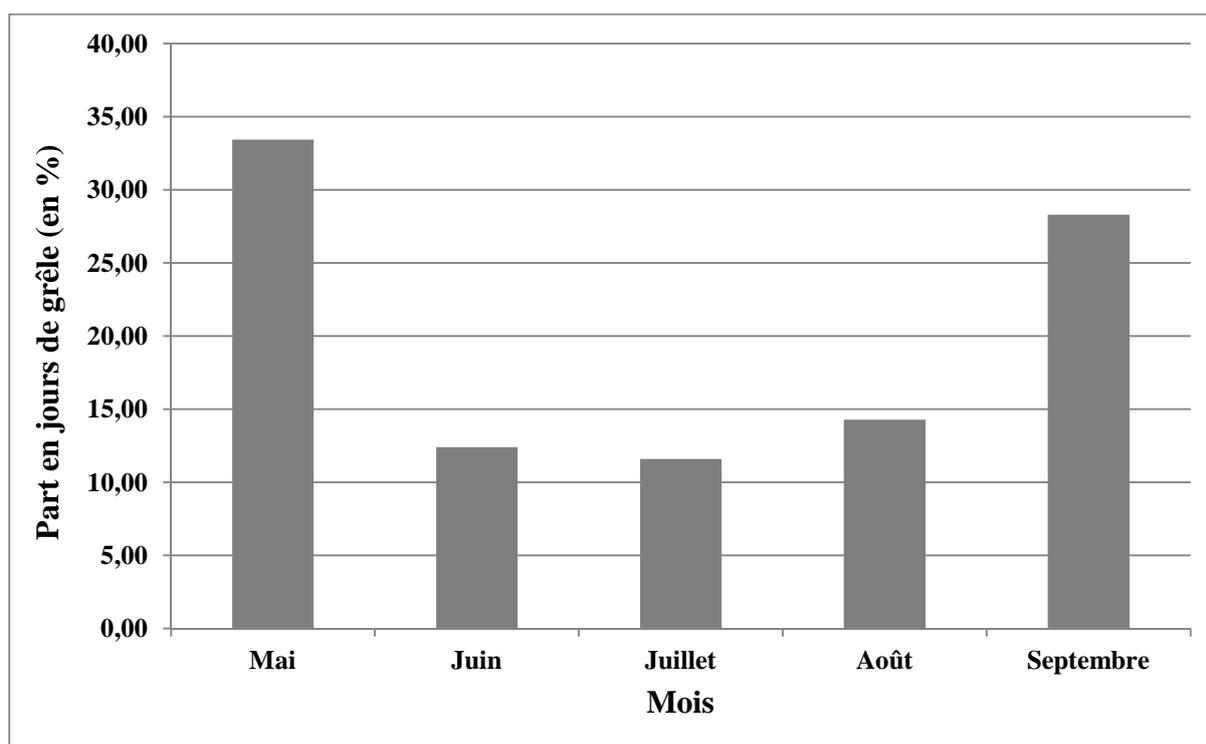


Figure 23. Part des mois d'été en jours de grêle entre 1976 et 2005 (source : INM).

Par ordre d'importance, se sont les régions 4 (le Haut Tell et les Hautes Steppes), 2 (la vallée de la Medjerda), 3 (l'extrême Nord-est), 5 (les Basses Steppes) et 8 (le Sud-ouest) qui sont concernées par ce type de chute de grêle. Les conditions météorologiques propices aux

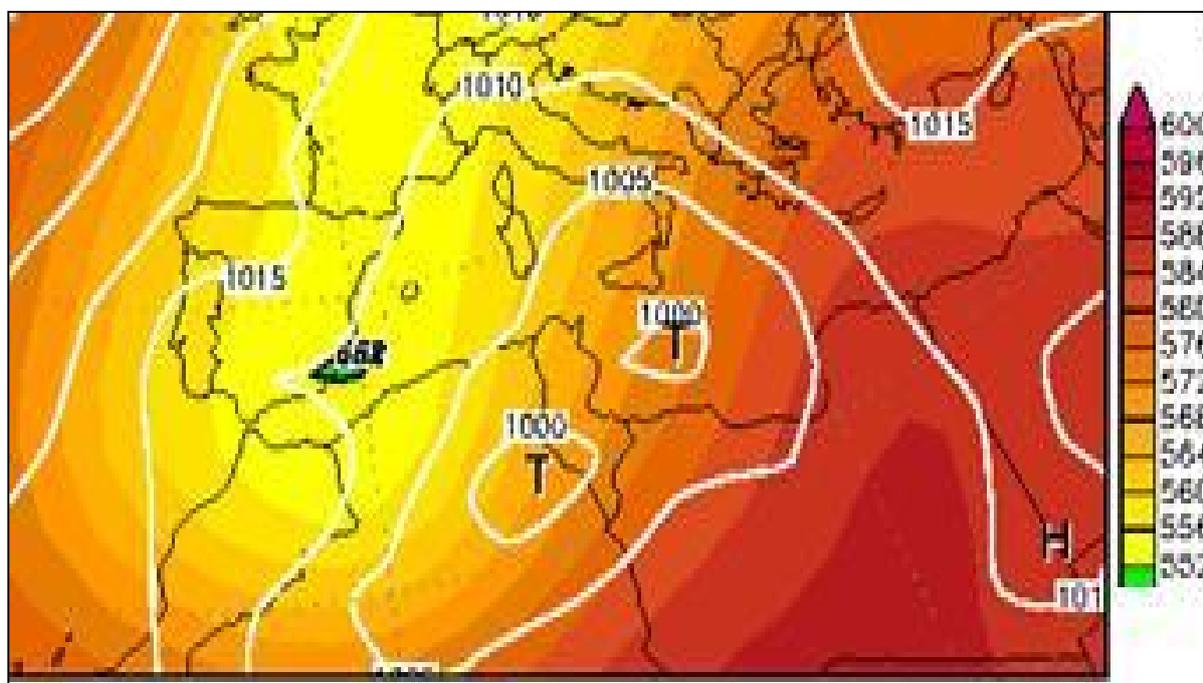
<sup>17</sup> SAIDI Hassen, 1976.

chutes de grêle durant cette période montrent de pareilles situations très fréquentes et se présentent sur l'Afrique du Nord, l'Europe et la Méditerranée Occidentale. Il se dégage ainsi ;

- en surface, une vaste zone dépressionnaire saharienne ne dépassant pas 1015 hectopascals couvre toute l'Afrique du Nord, prolongée par une autre vaste zone dépressionnaire couvrant toute l'Europe et la Méditerranée Occidentales.

Ces deux vastes zones dépassent rarement 1015 hectopascals en pression et comportent souvent des noyaux dépressionnaires fragmentés avec des valeurs au centre inférieures à 1010 hectopascals du mai à juin, inférieures à 1015 hectopascals de juillet à septembre et le plus souvent égales à 1005 hectopascals et même à 1000 hectopascals. Elles sont quelquefois rattachées à une dépression creuse de moins de 995 hectopascals centrée sur l'Europe Occidentale, siège des zones de marais barométriques.

- En altitude, un profond talweg s'étend du Nord de l'Europe Occidentale jusqu'en Afrique du Nord, où une vaste zone dépressionnaire couvre ces régions avec un noyau ayant une valeur au centre inférieure ou égale à 5640 mètres géopotentiels du mois du mai au mois de juin, et inférieures ou égales à 5680 mètres géopotentiels de juillet à septembre. Ce champ dépressionnaire est centré sur l'une des régions suivantes : l'Espagne, le golfe de Gascogne, la France ou la Méditerranée Occidentale (figure 24 : situation météorologique du 03/05/1998).



Pour mieux décrire et comprendre ces conditions météorologiques propices aux chutes de grêle durant cette période, on a étudié, par les images satellites infrarouges (les figures a, b, c, d, e, f, g et h) le cas de la chute de grêle du mercredi 08/06/2011 enregistrée à Kairouan (les basses steppes : région n° 5 de la figure 21).

A 6h00 UTC, une vaste zone dépressionnaire saharienne ne dépassant pas 1015 hectopascals couvre toute l'Afrique du Nord, prolongée par une autre vaste zone dépressionnaire couvrant toute l'Europe et la Méditerranée Occidentales (figure 25). Un flux sud-ouest / nord-est qui envahit le Centre et le Sud de la Tunisie.

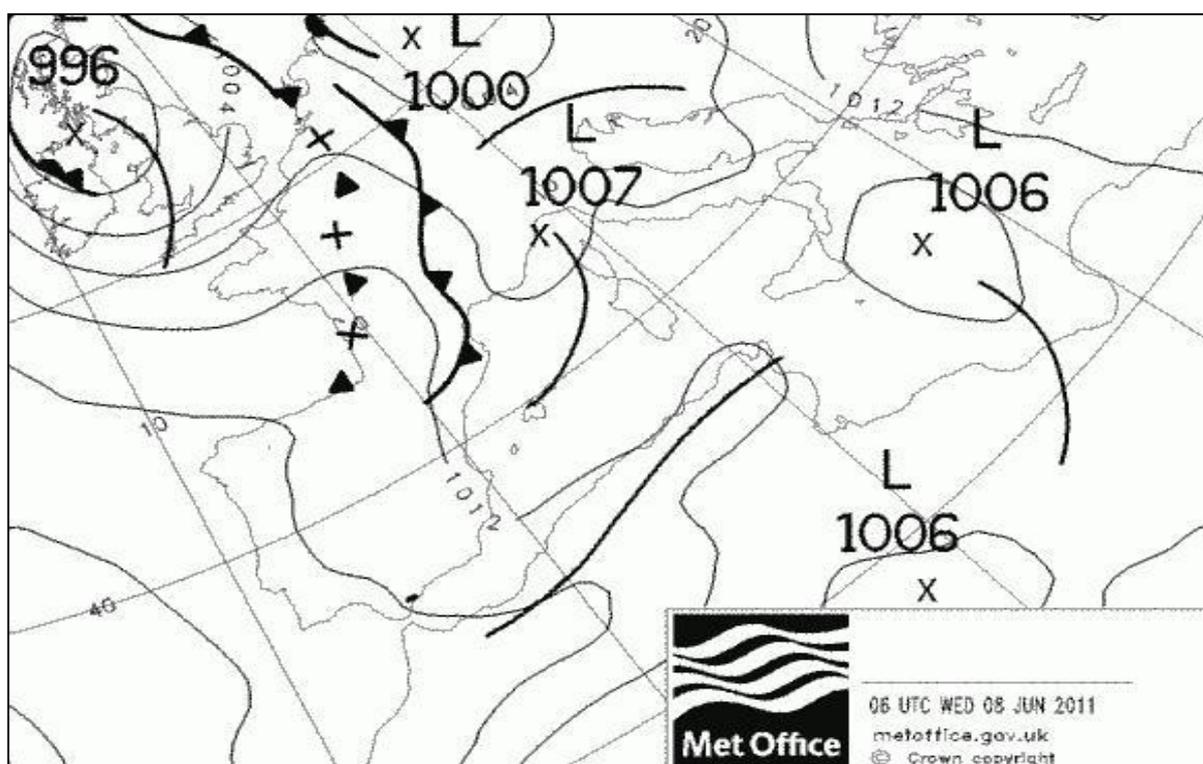
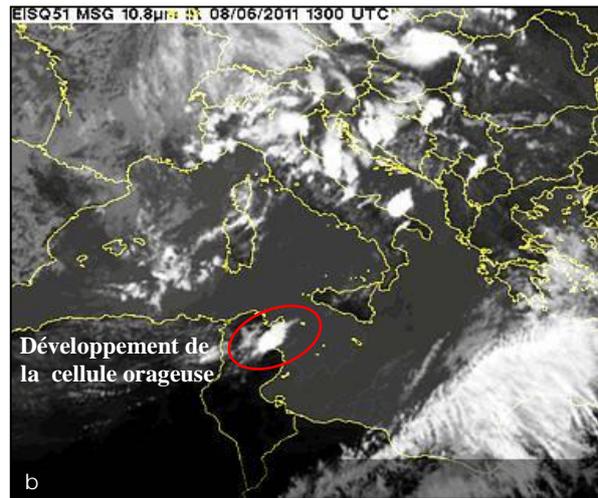
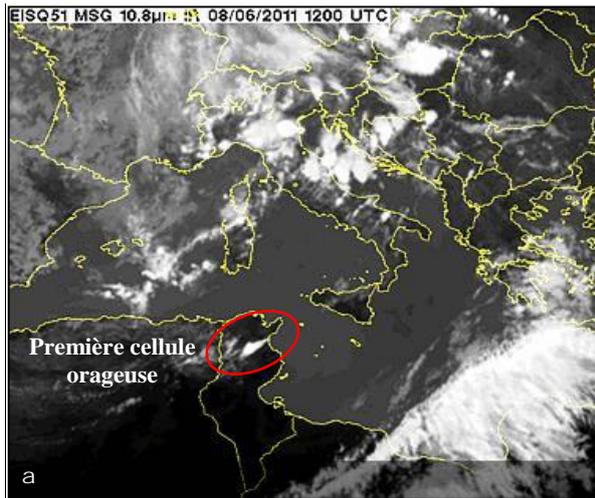
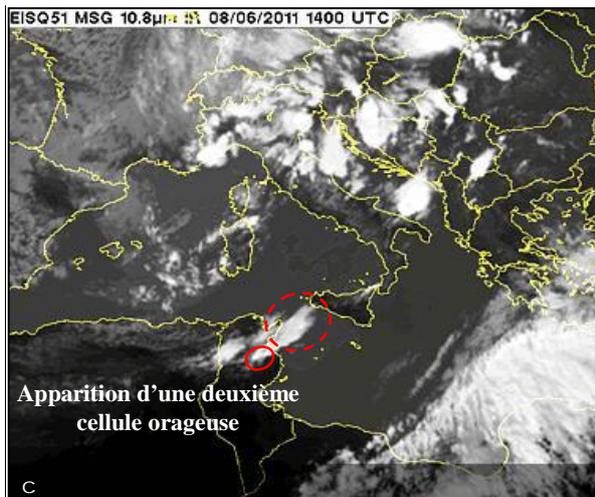


Figure 25. Situation atmosphérique au sol du 08/06/2011 (Source : [www.metoffice.gov.uk](http://www.metoffice.gov.uk)).

Vers 12h00 UTC, une première cellule orageuse naît dans la région des Basses Steppes (a) et devient bien développée à 13h00 (b).

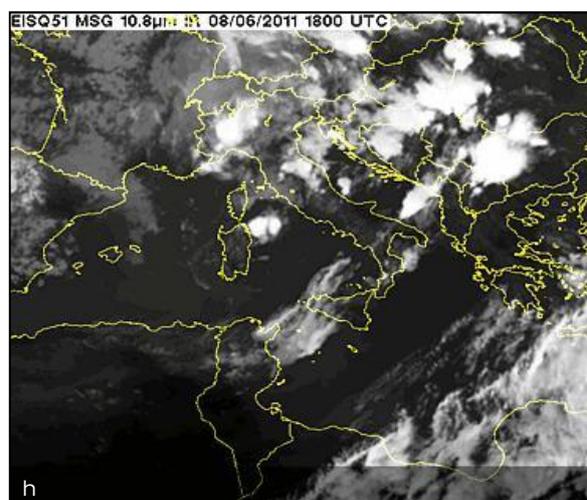
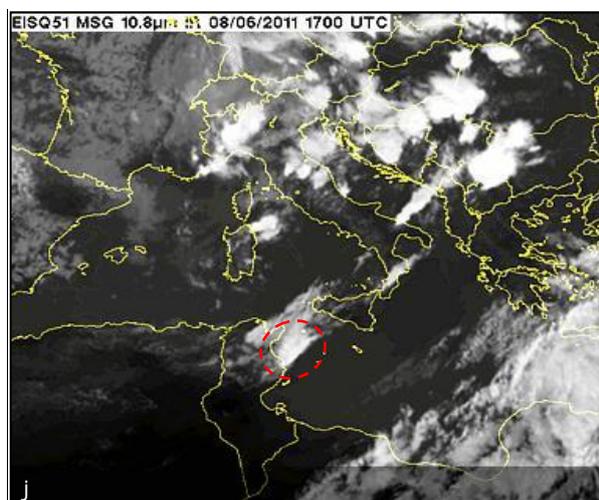


A 14h00 UTC, deux nouvelles cellules apparaissent (la deuxième génération de cellules orageuses) et détiennent leur maturité vers 16h00 UTC couvrant ainsi toute la région kairouanaise (c, d, e et f). C'est à cette heure exactement où la grêle a commencé à tomber (photos 10 et 10 bis). A partir de 17h00 UTC, les cellules orageuses commencent à se dissiper vers le Nord-est, dans le même sens du déplacement du vent en altitude (g et h).





**Photo 10 et 10 bis (à droite). Chute de grêle du 08/06/2011 à Kairouan (Source : journal de « La Presse » du 10 juin 2011).**



Sur l'ensemble de la Tunisie, la situation se caractérise généralement par :

- en surface, un marais barométrique ou une zone à faible gradient avec une pression inférieure à 1015 hectopascals (figure 26).

- en altitude, la surface 500 hectopascals dont la hauteur varie en fonction des mois de la saison, d'une température maximale de  $-10^{\circ}\text{C}$  à une température minimale de  $-15^{\circ}\text{C}$  à  $-18^{\circ}\text{C}$ . Plus la température minimale de cette surface est basse (la température minimale est inférieure ou égale à  $-18^{\circ}\text{C}$ ), plus le nombre de régions touchées par les chutes de grêle est grand (situation du 20 mai 1990 qui a donné des chutes de grêle dans la région 2 (les stations de Béja et le Kef), la région 4 (la station de Kasserine), la région 5 (la station de Kairouan) et la région 9 (la station de Sidi Bouzid).

D'une manière générale, le talweg ou la vaste zone dépressionnaire en altitude fait infiltrer sur la Méditerranée Occidentale et l'Afrique du Nord de l'air froid qui favorise une instabilité convective des masses d'air, qui reste sélective en cette saison. En effet, la vaste dépression

saharienne qui couvre l'Afrique du Nord, bien qu'elle soit à faible gradient, dirige sur la Tunisie un courant traversant la Méditerranée. Ce courant arrive lentement (zone à faible gradient) plus frais et humide sur la Tunisie, où le sol est bien réchauffé surtout l'après-midi, il se réchauffe à la base, puis il se soulève. Ce réchauffement est aussi valable lorsqu'il s'agit d'un marais barométrique. Généralement, dans les deux cas (marais barométrique ou zone à faible gradient) si l'air réchauffé à la base dispose de l'énergie nécessaire qui le fasse arriver à l'altitude où il y a introduction d'air froid (figure 24 : situation de 03/05/1998), la convection est alors importante et peut atteindre des altitudes considérables.

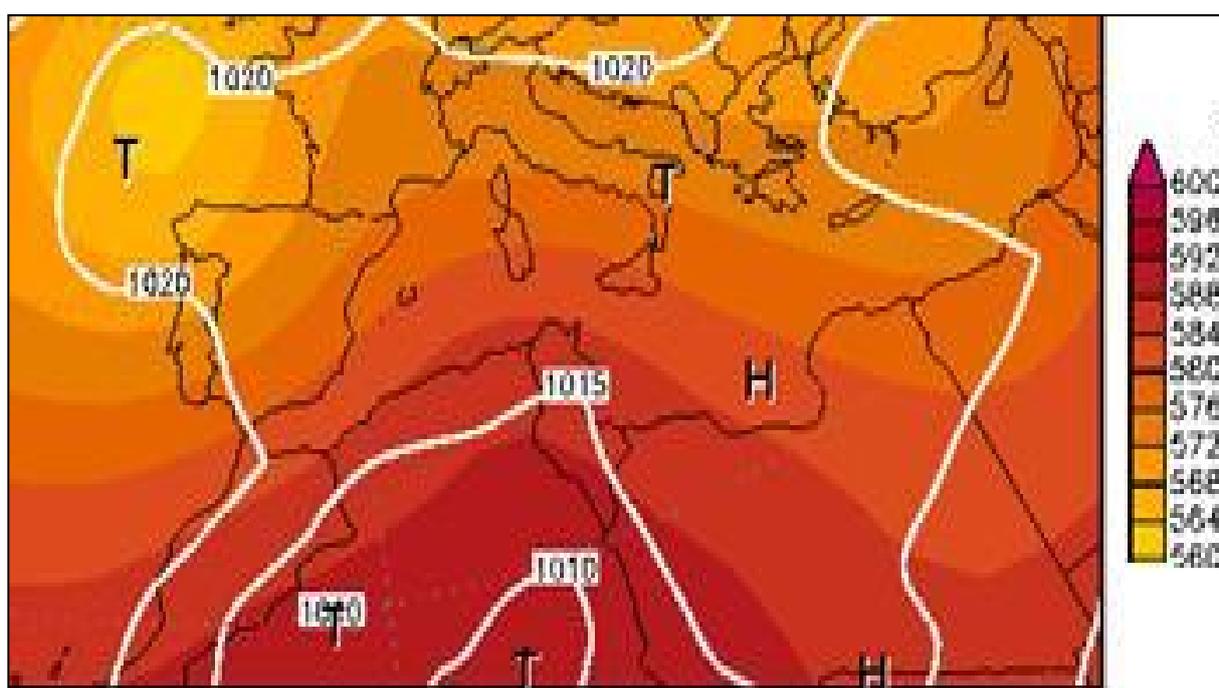


Figure 26. Situation atmosphérique du 20/05/1990 (Source : [www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)).

Le soulèvement peut encore être favorisé mécaniquement par le relief, principalement dans les régions 4 (les stations de Thala, Makther, Sbeitla, Sbiba et Kasserine) et 8 (la station de Gafsa), où la grêle est plus fréquente en cette saison, ou bien convectivement dans les secteurs des cuvettes tels que la vallée de Medjerda, principalement son côté ouest (la région 2 : les stations d'El Féija, Jendouba, le Kef, Siliana, Tébourouk, Béja et Mjez El Beb). Ceux-ci contribuent à expliquer, le grand développement vertical des nuages de grêle et le caractère très local des chutes de grêle en cette saison.

Durant cette saison, l'introduction de l'air froid en altitude est le plus souvent limitée au 35<sup>ème</sup> parallèle. Mais, dans des cas très rare il se peut que cet air froid dépasse ces limites méridionales et s'introduit plus profondément par l'Algérie en Afrique du Nord ; il se forme une dépression saharienne locale centrée sur la zone 5 ou la zone 8. Les chutes de grêle

intéressent ainsi la région 8 (les stations de Gafsa, Tozeur et Nefta ; voir les figures 27 de la situation du 18/05/2000 où l'on a enregistré une chute de grêle à Gafsa) ou la région 10 (Gabès, Jerba, Mednine, Zarzis et Ben Guerdène ; voir la figure 28 : situation du 19/09/1984 où l'on a enregistré une chute de grêle à Zarzis) si la valeur au centre de cette dépression est inférieure à 1010 ou parfois à 1005 hectopascals.

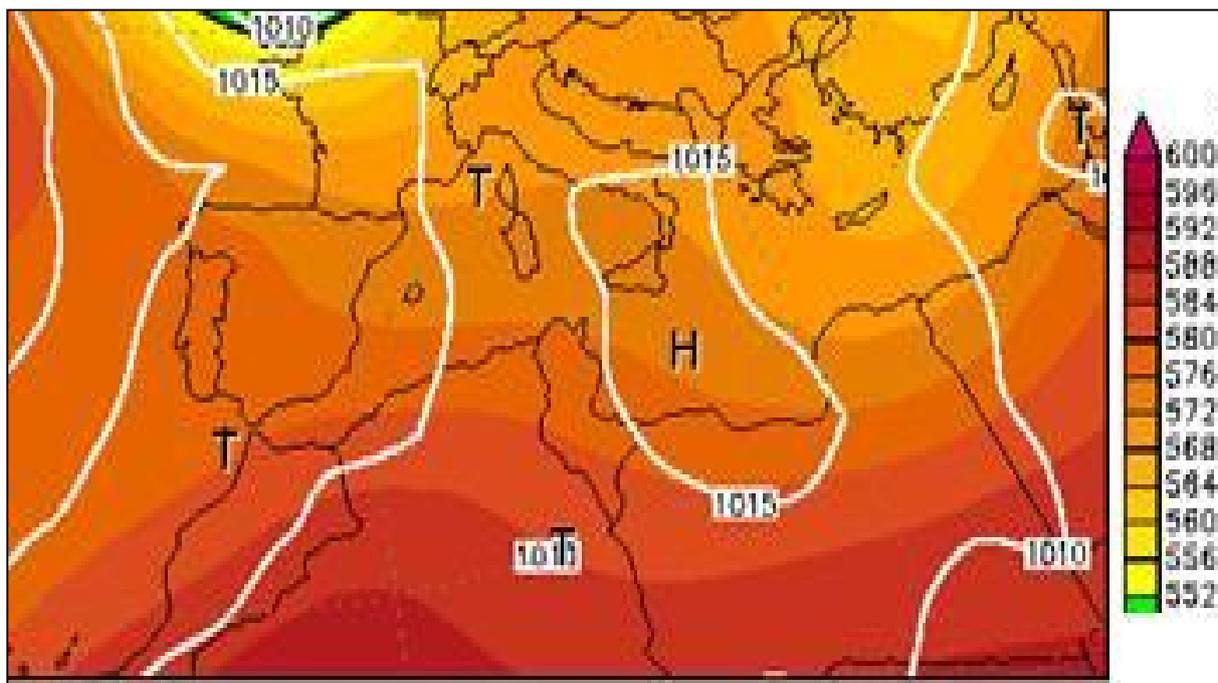


Figure 27. Situation atmosphérique du 18/05/2000 (Source : [www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)).

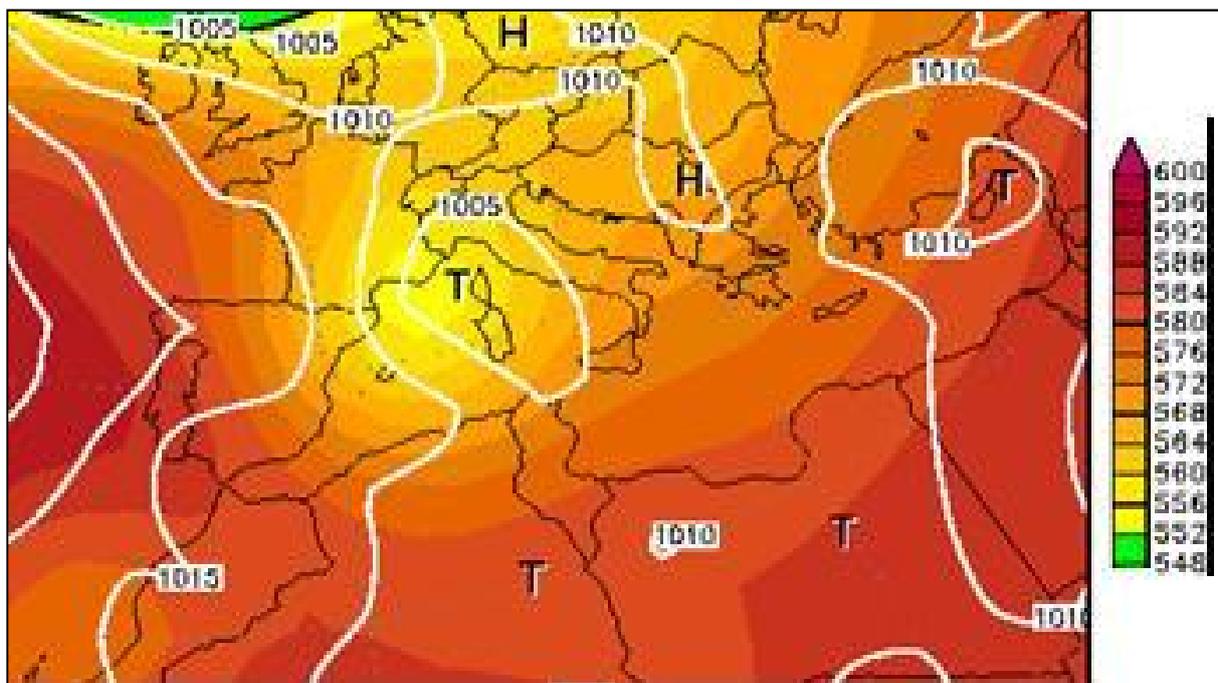


Figure 28. Situation atmosphérique du 19/09/1984 (Source : [www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)).

#### 7.4.2. La saison novembre-mars : les nuages grêligènes à caractère frontologique

Les nuages de grêle à caractère frontologique en Tunisie caractérisent la période s'échelonnant du mois de novembre au mois de mars<sup>18</sup>. Ces chutes de grêle sont occurrence (il a grêlé successivement du 1<sup>er</sup> au 8 février 1995 à Bni Mtir<sup>19</sup>) et peuvent intéresser plusieurs régions à la fois. Le phénomène de la grêle est plus fréquent durant cette période de l'année avec 1349 chutes de grêle entre 1976 et 2005, soit presque 4 fois la part de la saison mai-septembre. Le mois de février est le mois le plus grêlé pour toute la période novembre-mars et aussi pour toute l'année (figure 29).

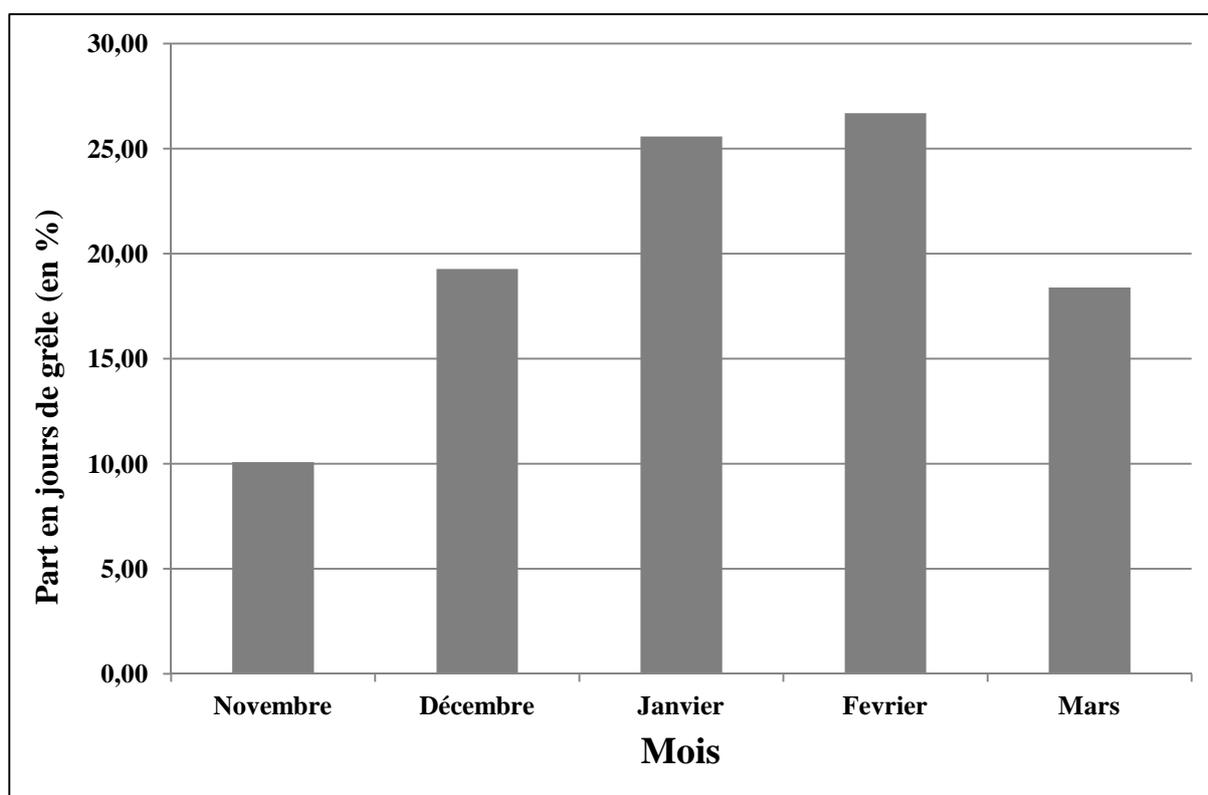
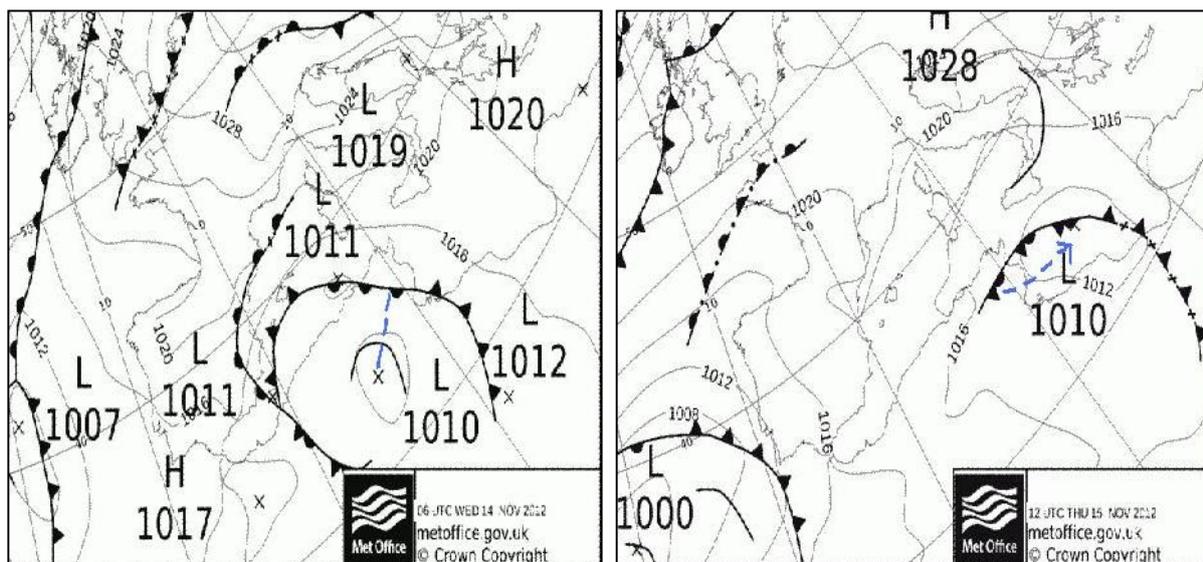


Figure 29. Part des mois d'hiver en chutes de grêle entre 1976 et 2005 (source : INM).

Les champs dépressionnaires sont mobiles et peuvent parcourir plus d'une zone en une seule journée, mais le plus souvent sur plus de deux jours. Le passage de ces centres d'une zone à une autre fait donc déplacer les chutes de grêle d'une région à une autre. Ainsi plusieurs régions peuvent être le siège de chutes de grêle en une ou deux journées, notamment lorsque les centres dépressionnaires s'installeraient longitudinalement avant le territoire tunisien (figures 30 et 30 bis).

<sup>18</sup> SAIDI Hassen , 1976.

<sup>19</sup> D'après les Tableaux Climatologiques Mensuels (TCM) de la station de Bni Mtir publiés par l'Institut National de la Météorologie.



Figures 30 et 30 bis. Situation atmosphérique au sol du 14/11/2012 (à gauche) et du 15/11/2012 (à droite) / (Source : [www.metoffice.gov.uk](http://www.metoffice.gov.uk)).

Ce fut le cas des chutes de grêle enregistrées les 14 et 15/11/2012 dans régions 2, 3, 4, 5, 6 et 7 de la Tunisie<sup>20</sup> (figures 31 et 32).

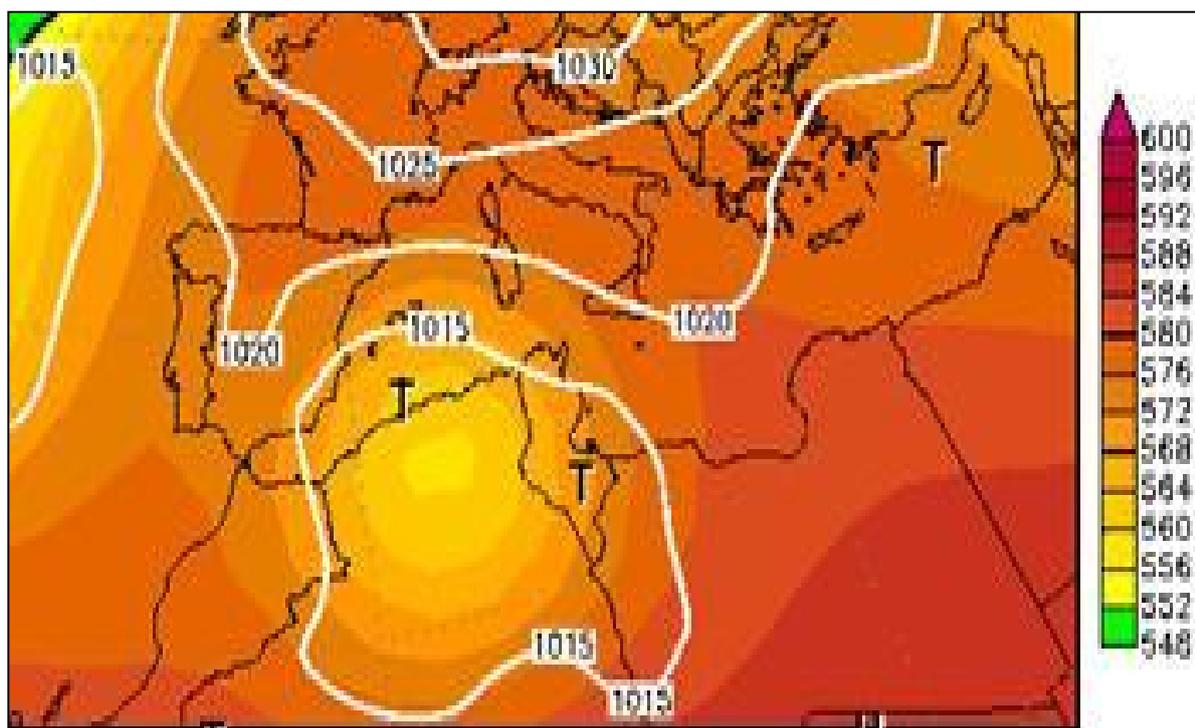


Figure 31. Situation atmosphérique du 14/11/2012 (Source : [www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)).

<sup>20</sup> Voir la figure n°21 des limites des régions grêlifères en Tunisie.

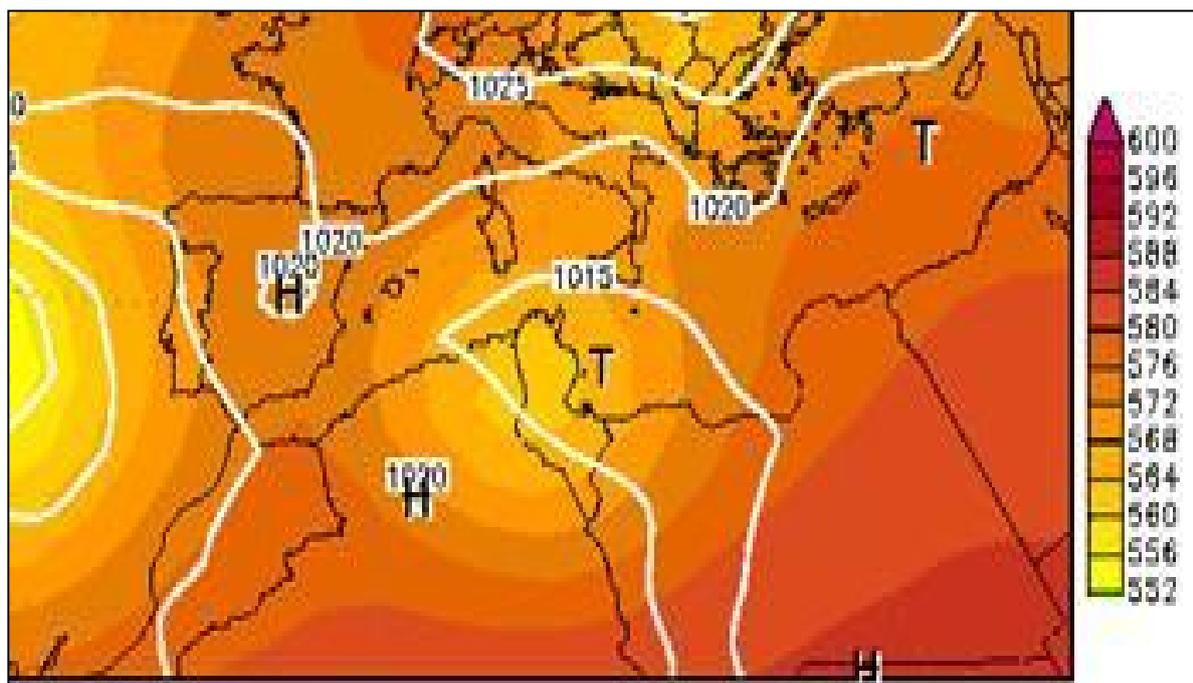
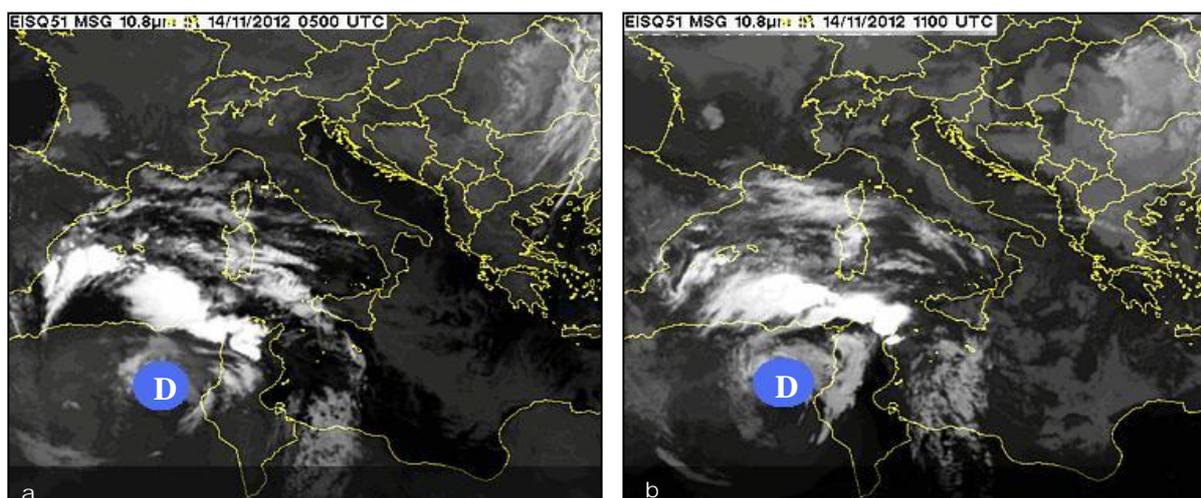
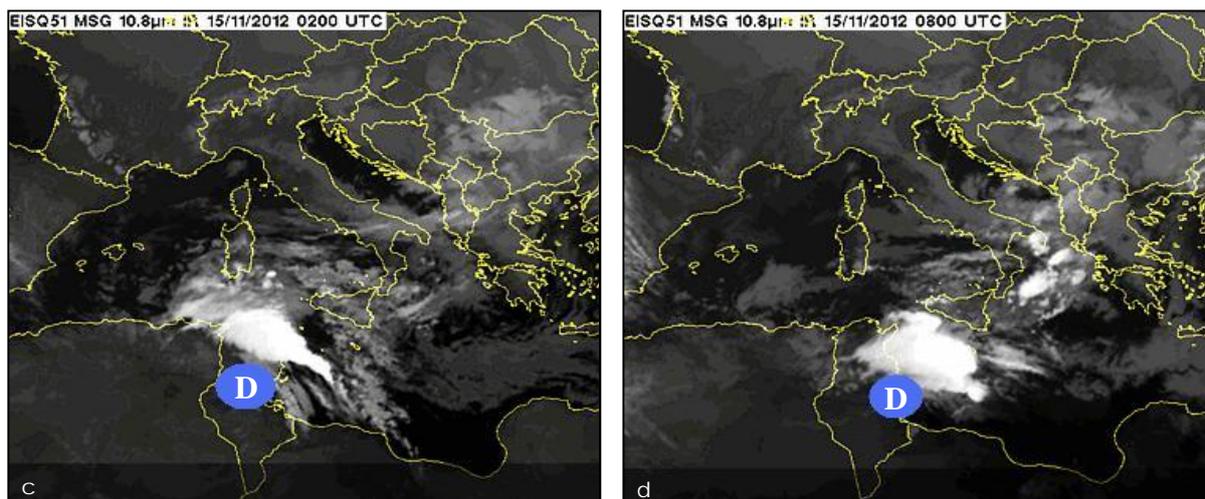


Figure 32. Situation atmosphérique du 15/11/2012 (Source : [www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)).

Le jour du 14/11/2012, la dépression en surface est centrée presque sur la partie nord-est de l'Algérie (zone 3 de la figure 22) avec une valeur au centre inférieure à 1015 *hectopascals*. Les régions 2 (les stations de la vallée de Medjerda) et 4 (les stations du Haut Tell) ont été les premières à être exposées à la grêle et des chutes ont été enregistrées localement aux gouvernorats de Béja, Jendouba, Kef, et Siliana (les figures a et b).



Le jour d'après, le 15/11/2012, la dépression a été déplacé encore vers l'est pour pénétrer dans le territoire tunisien et se centrer sur la zone 4. Les régions 2 (la vallée de la Medjerda) 3 (l'extrême Nord-est), 5 (les basses Steppes), 6 (le Sahel) et 7 (le Cap Bon) sont marquées par la présence de chutes de grêle qui ont été observées respectivement au grand Tunis, à Bizerte, à Kairouan et à Nabeul (les figures c et d).



Cependant, si le lieu des centres des dépressions en surface correspondantes s'installe longitudinalement vers l'est de la Tunisie et appartient le plus souvent à la zone 2 ou 7 (figure 22), le passage du centre des dépressions sur les autres zones se fait beaucoup plus rare.

D'une manière générale, au cours de cette période de l'année, se sont surtout les deux régions 1 (les stations des extrêmes nord-ouest du pays : Ain Drahem, Tabarka, Bni Mtir et Sejnène) et 3 (les stations de la région du nord-est : Bizerte, Ghzala Mateur, Ghar El Melh, Tunis-Carthage, El Haouaria et Kélibia) qui sont les plus concernées par les chutes de grêle (figure 33 : la situation du 22/02/1982 ayant donné des chutes de grêle sur toute la région du Cap Bon et l'extrême nord-est de la Tunisie).

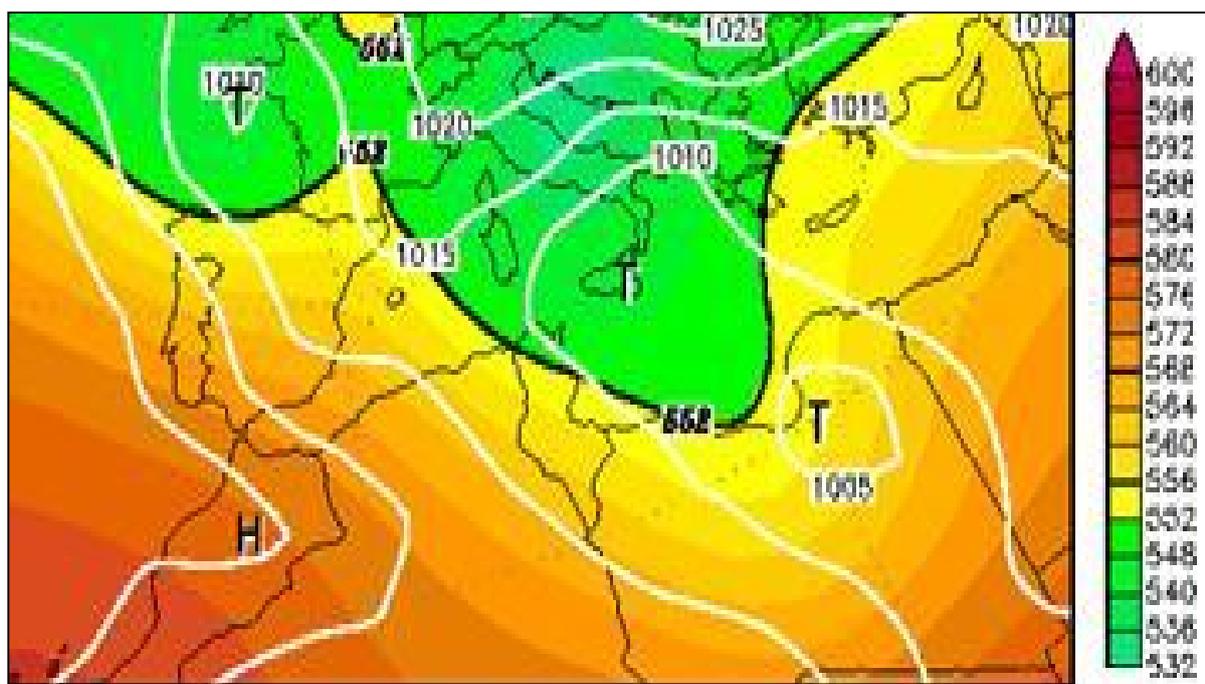


Figure 33. Situation atmosphérique du 22/02/1982 (Source : [www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)).

Pour l'ensemble du territoire tunisien, il est à noter que la grêle tombe en cette saison quand les conditions météorologiques suivantes se réunissent :

- En surface :
  - la température est positive,
  - la pression barométrique est inférieure ou égale à 1015 hectopascals,
  - la valeur au centre des dépressions sillonnant les différentes zones est inférieure à 1000 hectopascals pour les zones 1, 2, 3 et 4 est inférieure à 1010 hectopascals pour le reste des zones.
- En altitude (à la surface 500 hectopascals) :
  - l'altitude de cette surface est, généralement, inférieure ou égale à 5560 mètres géopotentiels,
  - la température la plus élevée reste inférieure à  $-15^{\circ}\text{C}$  et la température la plus basse reste inférieure ou égale à  $-25^{\circ}\text{C}$ ,
  - Une goutte froide de  $-30^{\circ}\text{C}$  traverse le méditerranée Occidentale et les régions 1, 2, 3 et 4 sont intéressées par les chutes de grêle (la Tunisie du Nord et du Centre). Pour le reste des régions, elles seront affectées en fonction du lieu de passage des gouttes froides.

#### 7.4.3. Deux mois de transition : avril et octobre

##### 7.4.3.1. Le mois d'avril

Avril est un mois intermédiaire entre les deux saisons précédentes. En effet, les chutes de grêle peuvent y être d'origine frontologique ou convective. Lorsqu'il s'agit d'origine frontologique la situation météorologique se présente comme suit pour l'ensemble de la Tunisie :

- en surface, une dépression ayant une valeur au centre inférieure à 1000 hectopascals est située sur l'une des zones 1 à 4. Si elle est inférieure à 1005 hectopascals, elle se trouve alors sur l'une des zones 4 à 8. La pression couvrant toute la Tunisie reste inférieure à 1015 hectopascals.

- en altitude, la surface 500 hectopascals (altitude inférieure à 5680 mètres géopotentiels) se situe entre  $-15^{\circ}\text{C}$  comme température maximale, et  $-18^{\circ}\text{C}$  comme température minimale.

Dans ce cas, pour déterminer les zones-lieu des centres de dépressions en surface et les régions intéressées par les chutes de grêle, on se réfère particulièrement aux critères correspondants de la saison novembre – mars (figure 34 : situation du 28 avril 1985 ayant donné des chutes de grêle sur la région 2 : les deux stations de Béja et Mjez El Beb).

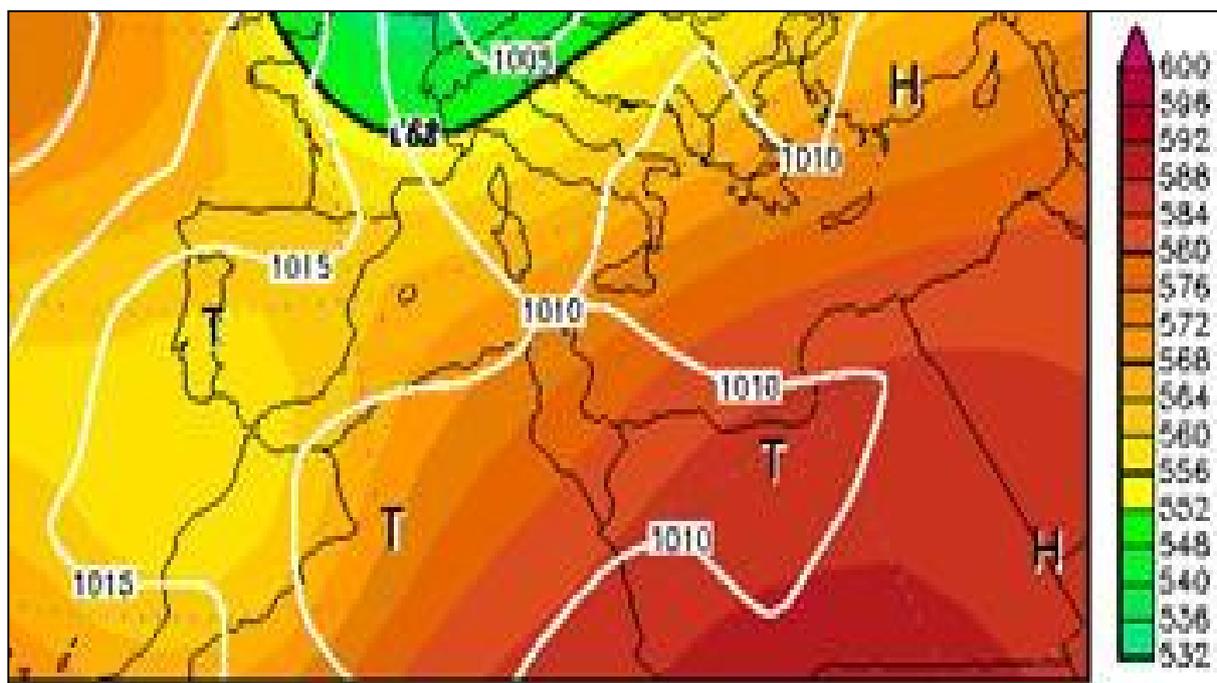


Figure 34. Situation atmosphérique du 28/04/1985 (Source : [www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)).

Dans le cas convectif, la situation météorologique type pour l'ensemble du territoire tunisien se représente avec :

- en surface, une vaste dépression saharienne couvre toute l'Afrique du Nord et en prolonge une autre sur l'Europe et la Méditerranée Occidentale. La pression sur ces deux champs dépressionnaire reste inférieure à 1015 hectopascals (rarement à 1020 hectopascals).

- en altitude, la surface isobarique 500 hectopascals reste inférieure à 5680 mètres géopotentiels, la température maximale inférieure ou égale à  $-15^{\circ}\text{C}$  et la température minimale inférieure ou égale à  $-18^{\circ}\text{C}$ .

Les critères de la saison mai – septembre pour les zones et les régions concernées par les chutes de grêle restent valables. En outre, si l'introduction de l'air froid en altitude passe au cours de ce mois au sud du  $35^{\text{ème}}$  parallèle, il se forme, comme pendant la saison mai – septembre, une dépression saharienne locale qui se centre, lors de son déplacement, sur l'une

des zones 5 (la région 4 des Hautes Steppes tunisiennes avec les stations de Sbeitla et Sbiba et la région du Sud-ouest avec les stations de Gafsa, Tozeur et Nefta), 6 (les stations de Sidi Buzid et de Sfax de la région 9 et les stations de la régions n° 5 des Basses Steppes) ou 8 (la région n° 10 du Sud-est avec les stations de Gabès, Jerba, Mednine, Zarzis et Ben Guerdène). Elles sont alors le siège des chutes de grêle, tout comme les autres régions intéressées par les situations convectives dans ce cas (figure 35 : 06/04/2013 à Fériana, Sbeitla et Sbiba dans les Hautes Steppes, à El âla dans les Basses Steppes et à Sfax).

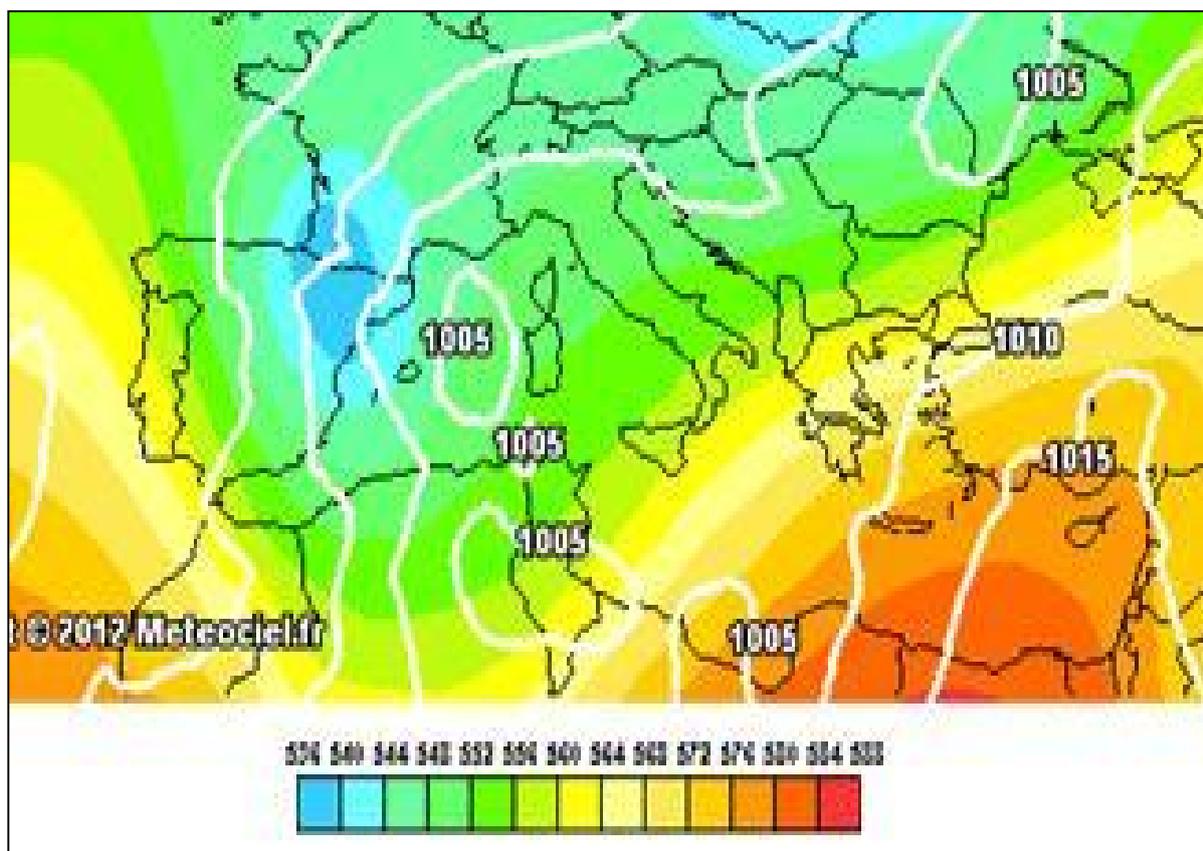


Figure 35. Situation atmosphérique du 06/04/2013 ([www.météociel.fr](http://www.météociel.fr), d'après les Modèles - Archives des réanalyses du NCEP (National Centers for Environmental Prediction)).

Pendant les heures de la première mi-journée du 06/04/2013, une zone de basse pression s'étend sur la Méditerranée occidentale favorisant un flux de direction Sud-ouest / Nord-est sur le territoire tunisien (figure 36).

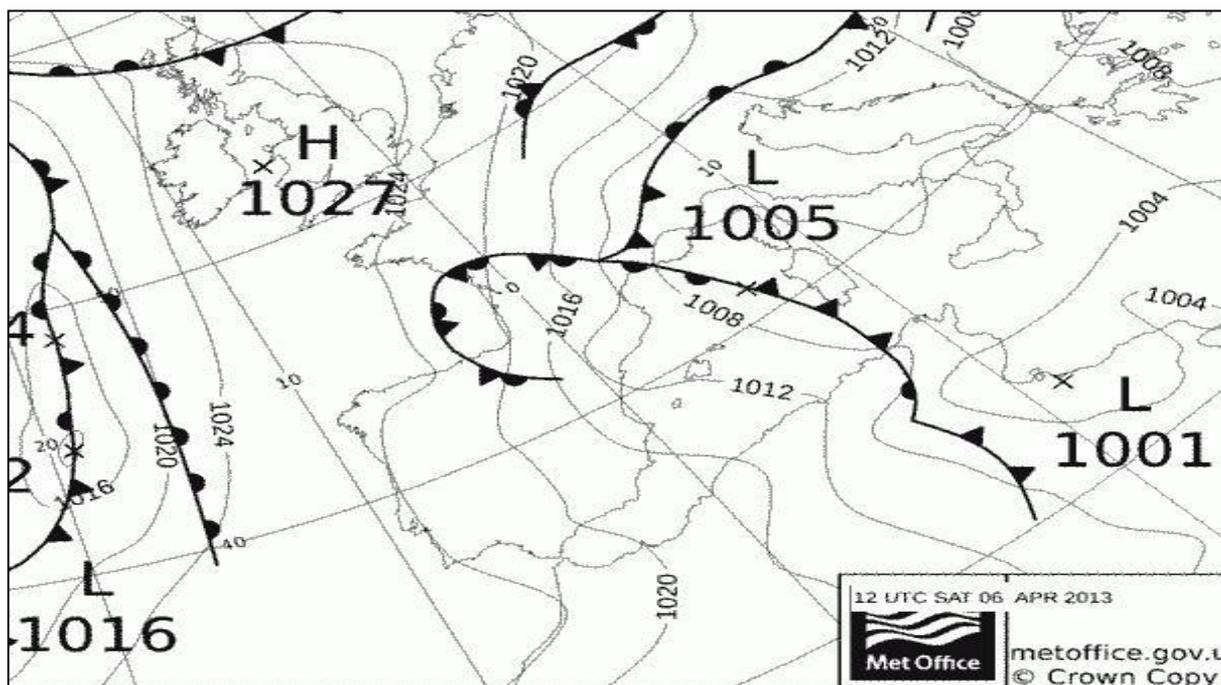
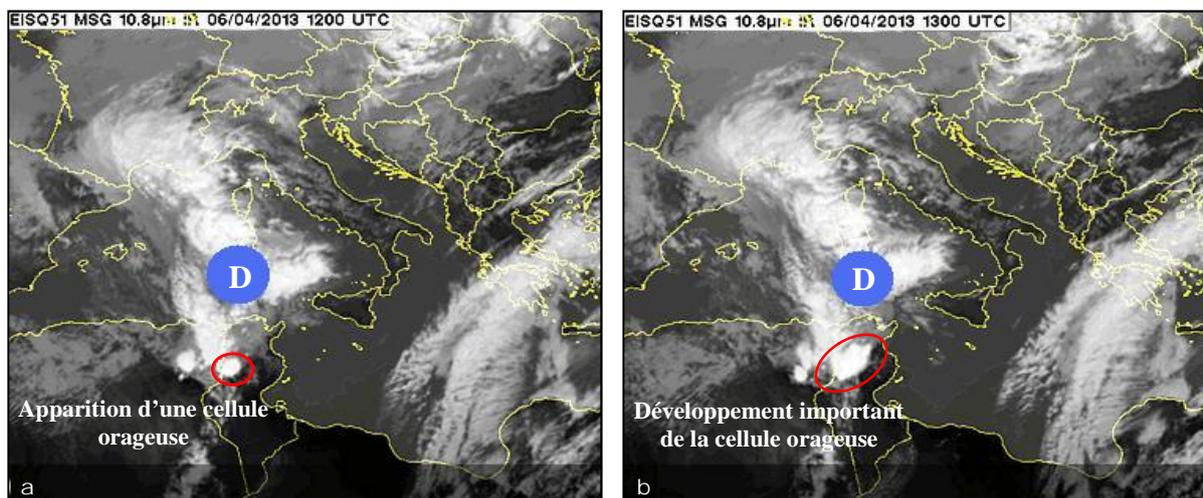


Figure 36. Situation atmosphérique au sol du 28/04/1985 (Source : [www.metoffice.gov.uk](http://www.metoffice.gov.uk)).

Vers midi UTC (13h00 heure locale), une première cellule orageuse apparaît dans la région des Hautes Steppes, sur Fériana (a). Cette cellule devient verticalement plus développée et spatialement plus étendue vers le Nord-est pour intéresser Sbeitla puis El Ala (b). Dans ces endroits en a enregistré localement des chutes de grêle (photos 11, 12, 13, 14, 15 et 16).





**Photo 11. Grêle du 06/04/2013 au centre-ville de Fériana (source : page officiel sur facebook du "Fériana la rose").**



**Photo 12. Taille des grêlons à Fériana le 06/04/2013 (source : page officiel sur facebook du "Fériana la rose").**



**Photo 13. Grêle du 06/04/2013 au centre-ville de Sbeïtla (Source : page officiel sur facebook du "Bienvenue à Sbeïtla").**



**Photo 14. Taille des grêlons à Sbeïtla le 06/04/2013 (Source : page officiel sur facebook du "Bienvenue à Sbeïtla").**

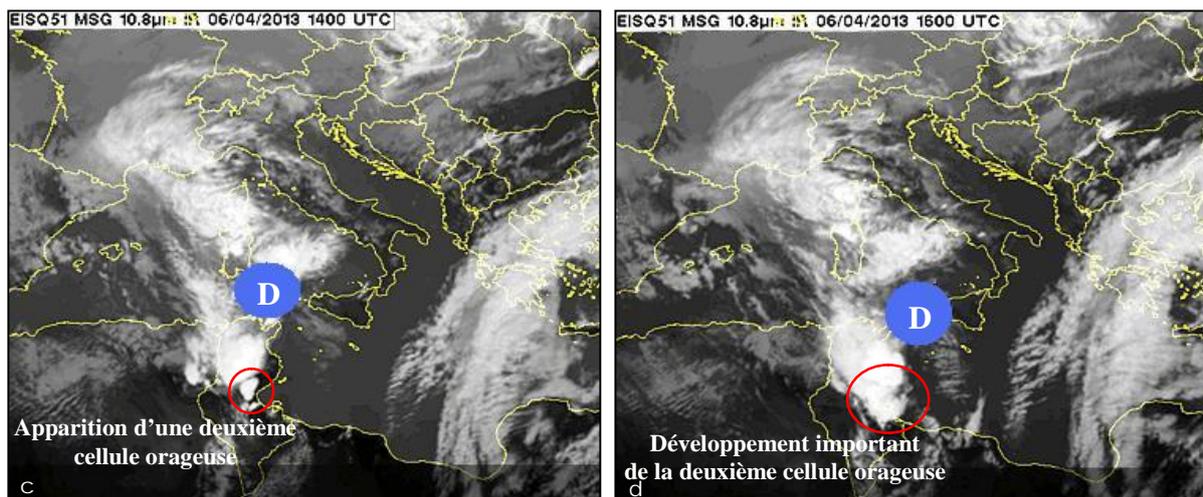


**Photo 15. Grêle du 06/04/2013 au centre-ville d' El Ala (Source : page officiel sur facebook du "Radio El ala. Kairouan")**



**Photo 16. Taille des grêlons à El Ala le 06/04/2013 (Source : page officiel sur facebook du "Radio El ala. Kairouan")**

Vers 14h00 UTC (15h00 heure locale), une deuxième cellule orageuse se forme au sud la région de Sfax (c). Son développement devient de plus en plus important pendant le deux heures qui suit, où elle couvre toute la région. A 16h00 UTC (17h00 heure locale), l'orage atteint le maximum de sa maturité (d) et une chute de grêle a été enregistré localement à Sfax.



Par ailleurs, et comme au cours de la saison novembre – mars, il se peut d'une manière exceptionnelle, que la grêle chute en ce mois à une pression en surface supérieure à 1015 hectopascals. La pression la plus forte observée pour l'ensemble de la Tunisie reste inférieure à 1025 mb. Pour les limites des températures maximales et minimales à la surface 500 mb, elles doivent être plus basses, soit respectivement inférieures ou égales à  $-18^{\circ}\text{C}$  et  $-20^{\circ}\text{C}$ <sup>21</sup>.

#### 7.4.3.2. Le mois d'octobre

Ce mois semble marquer un retour à la généralisation de la grêle sur l'ensemble de la Tunisie. La situation la plus classique se caractérise ainsi sur l'ensemble de la Tunisie par :

- en surface, une pression atmosphérique qui reste inférieure à 1015 hectopascals (figure 37 : situation du 07/10/1998 ayant donné des chutes de grêle sur la région 4 : les stations de Kasserine, Thala, Makther, Sbiba, et Sbeïtla).
- en altitude, la surface 500 hectopascals de moins de 5840 mètres géopotentiels de hauteur a une température maximale de  $-10^{\circ}\text{C}$  et une température minimale de  $-12.5^{\circ}\text{C}$ .

<sup>21</sup> SAIDI Hassen, 1976.

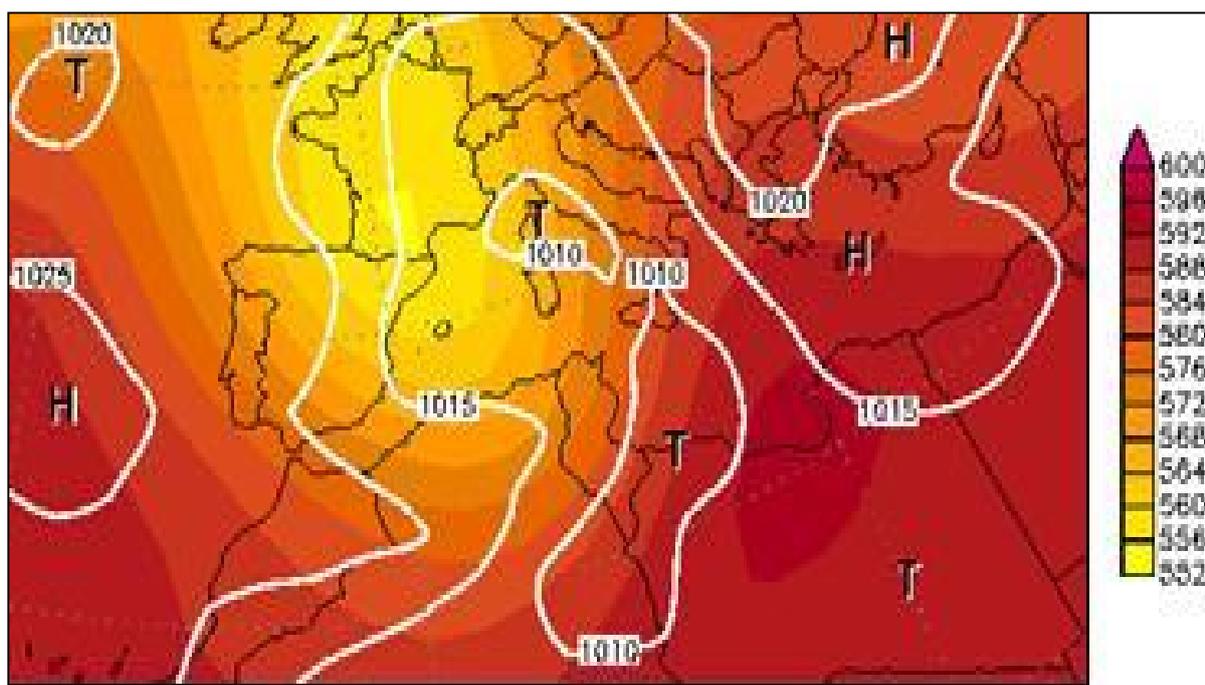


Figure 37. Situation atmosphérique du 07/10/1998 (Source : [www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)).

Les situations météorologiques qui donnent de la grêle sont, comme au mois d'avril, peuvent être à caractère convectif ou à caractère frontologique. Dans le cas convectif, une vaste zone dépressionnaire à moins de 1015 hectopascals couvre l'Afrique du Nord et s'étend jusqu'à l'Europe Occidentale et la Tunisie. Elle se trouve dans un marais barométrique ou une zone à faible gradient. Par contre, dans le cas frontologique, on retient généralement les critères de zones et de régions de la saison novembre – mars où une vaste dépression ayant généralement une valeur au centre inférieure à 1010 hectopascals se situe sur l'une de ces régions.

Dans de rares cas, la grêle peut avoir lieu au cours de ce mois pour une pression en surface inférieure à 1022,5 hectopascals au lieu de 1015 hectopascals. Cependant, ceci se passe dans une situation à caractère frontologique, et pour des températures maximale et minimale à la surface 500 hectopascals de 3°C inférieure au moins à leurs valeurs classiques respectives (donc inférieures ou égales à -10°C et -12°C). Ceci est observé par exemple lorsqu'une goutte froide de -15°C couvre la Tunisie<sup>22</sup>.

### Conclusion

La fréquence moyenne de la grêle en Tunisie suit le rythme méditerranéen des autres formes de précipitations, en particulier, celui des pluies. Les situations météorologiques à

<sup>22</sup> SAIDI Hassen, 1976.

l'origine de la grêle se ressemblent sans être identiques. Mais, à partir de notre étude météorologique de la grêle, nous avons eu l'occasion de préciser un ensemble de critères qui caractérisent les chutes de ce type de précipitation sur l'ensemble des régions de la Tunisie.

Pendant la période chaude de l'année, du mois de mai au mois de septembre, des situations à caractère convectif dominant : en surface du sol, les températures sont toujours positives ( $> 0^{\circ}\text{C}$ ) et la pression atmosphérique dessine de vastes zones dépressionnaires couvrant l'Afrique du Nord, l'Europe et la Méditerranée occidentale avec une valeur au centre généralement supérieure à  $1015\text{ hPa}$ , le plus souvent à  $1005\text{ hPa}$ . En altitude, les températures enregistrent des minima de  $-15$  à  $-18^{\circ}\text{C}$  et des maxima de  $-12$  à  $-10^{\circ}\text{C}$  et une surface isobarique  $500\text{ hPa}$  entre  $5680$  et  $5900$  géopotentiels. *Ces conditions ont montré les régions les plus continentales du pays le siège des flux grêligènes pendant cette saison en particulier les Hautes Steppes tunisiennes et le Haut Tell (région n° 4).*

En revanche, durant la période humide de l'année du mois de novembre au mois de mars, les situations météorologiques sont plutôt à caractère frontologique : En surface, on retient les mêmes conditions thermiques (des températures positives) et de pression de la saison précédente, sauf que pour le dernier, les valeurs au centre peuvent descendre en dessous de  $1000\text{ hPa}$ . En altitude, on enregistre des minima et des maxima thermiques respectivement de  $-25^{\circ}\text{C}$  et de  $-15^{\circ}\text{C}$  et une surface  $500\text{ hPa}$  généralement inférieure à  $5680$  géopotentiels. *Au cours de cette saison, les régions du Nord du pays sont les plus sujettes aux flux grêligènes, notamment celles des extrêmes nord-ouest (n°1), de la vallée de la Medjerda (n° 2) et des extrêmes nord-est (n° 3).*

En mois d'avril et d'octobre on observe une combinaison des mêmes caractéristiques des situations météorologiques convectives et frontologiques ainsi que les mêmes régions les plus grêlifères pendant les deux saisons mai-septembre (n° 4) et novembre-mars (n° 1, 2 et 3).

Le tableau n°12 résume les critères des chutes de grêle pendant les différentes saisons indiquées précédemment et dans les différentes régions de la Tunisie (tableau 12).

Saisons	Situations météorologiques	Mois	Situation météorologique sur l'ensemble de la Tunisie					Régions intéressées (par ordre d'importance)
			En surface			En altitude (500 hpa)		
			Température (°C)	Pression (hPa)	Valeur au centre de la dépression (hPa)	Température (°C)	Altitude Ø (m)	
Mai – septembre	à caractères convectifs	Mai	> 0°C	Zone dépressionnaire couvrant l'Afrique du Nord, l'Europe et la Méditerranée Occidentale ( 1015 hPa)	Noyaux dépressionnaires éparses avec une valeur au centre <1010mb, le plus souvent <1005 hPa	Max. -15 Min. -18	Ø <5680	4, 2, 3, 5 et 1
		Juin	> 0°C			Max. -10 Min. -12	Ø <5840	4 et 2
		Juillet	> 0°C			Max. -10 Min. -12	Ø <5880	4
		Août	> 0°C			Max. -10 Min. -12	Ø <5900	4
		Septembre	> 0°C			Max. -10 Min. -12	Ø <5880	4, 8 et 9
Novembre– mars	à caractères frontologiques	Novembre	> 0°C	< 1015	Zones 1 à 4 : P<1000  Zones 5 à 8 : P<1010	Max. < -15 Min. -20	Ø <5680	1 et 2
		Décembre	> 0°C	< 1010		Max. < -15 Min. -25	Ø <5560	1, 2 et 3
		Janvier	> 0°C	< 1010		Max. < -15 Min. -25	Ø <5560	1, 2, 3 et 9
		Février	> 0°C	< 1015		Max. < -15 Min. -20	Ø <5600	1, 2 et 3
		Mars	> 0°C	< 1015		Max. < -15 Min. -20	Ø <5640	1, 2, 3, 4 et 5
Avril	Mixte	Avril	> 0°C	< 1015	1 <sup>er</sup> cas: vaste zone dépressionnaire couvrant l'Afrique du Nord, l'Europe et la Méditerranée Occidentale.  2 <sup>ème</sup> cas: Dépression localisée sur l'une des zones.	Max. < -15 Min. < -18	Ø <5680	1, 2, 3 et 4
Octobre	Mixte	Octobre	> 0°C	< 1015		Max. < -10 Min. < -12.5	Ø <5840	4, 2, 3 et 5

Tableau 12. Critères météorologiques synoptiques des chutes de grêle en Tunisie (D'après SAIDI H., 1976).



## Chapitre 3. La trace de la grêle au sol : Intensité et trajectoires des nuages de grêle

### Introduction

La trace de la grêle au sol s'étudie fréquemment à partir des dégâts des nuages porteurs de grêle. Les dégâts de la grêle et leur ampleur expriment l'énergie des chutes de grêle. Quant aux trajectoires des nuages de grêle, il présente généralement un dessin sous forme de couloirs orientés obliquement de 30° vers la droite par rapport au vent en altitude incluant des secteurs de plus forte intensité appelé cœur de grêle.

### 1. Intensité des chutes de grêle

#### 1.1. Dimensions des grêlons

Les caractéristiques moyennes des grêlons diffèrent généralement en fonction de leurs dimensions, et particulièrement de leur diamètre. Plus le diamètre, et par conséquent la masse du grêlon sont grands, plus sa vitesse et son énergie sont importantes. Exprimée souvent en joules, l'énergie cinétique de la grêle est l'indicateur le plus communément employé pour apprécier l'intensité des chutes de grêle (tableau 13). On a observé des grêlons de 55 millimètres à Tunis-Carthage le 09 janvier 1953, et de 50 millimètres à Jendouba le 06 septembre 1963 (SAIDI H., 1976).

Diamètres (mm)	Dimension équivalente	Masse (g)	Vitesse de chute (km/h)	Energie (joules)
15	Grain de raisin	1,6	60 à 80	0,3
30	Noix	13	85 à 105	3,6
50	Œuf de poule	59	110 à 125	28
70	Boule de pétanque	163	130 à 140	107
100	Pamplemousse	476	Environ 160	470

Tableau 13. Caractéristiques moyennes des grêlons (Source : VINET F., 2000).

En Tunisie, faute de lacunes pour des périodes assez longues, on se réfère pour l'étude des dimensions des grêlons à l'étude proposée par SAIDI H. de 197<sup>23</sup>. Dans la distribution des diamètres des grêlons, à partir d'un suivi de 51 cas de chute de grêle (tableau 14), nous n'avons pas séparé la grêle du grésil ( $\emptyset < 5$  millimètres).

<sup>23</sup> SAIDI H., 1976.

Diamètre des grêlons (Ø)	Grêle d'hiver					Grêle d'été					Année	
	Octobre, novembre et décembre		Janvier, février et mars		Total (%)	Avril, mai et juin		Juillet, août et septembre		Total (%)		
	Effectif	%	Effectif	%		Effectif	%	Effectif	%			
0<Ø<5	5	13,51	25	67,57	81,08	6	16,22	1	02,70	18,92	37	12,67
5 Ø<10	23	15,75	77	52,74	68,49	33	22,60	13	08,90	31,51	146	50,00
10 Ø<15	9	18,37	9	18,37	36,74	23	46,94	8	16,33	63,26	49	16,78
15 Ø<20	6	27,27	5	22,73	50,00	9	40,91	2	9,09	50,00	22	07,53
20 Ø<25	4	18,18	3	13,64	31,82	9	40,91	6	27,27	68,18	22	07,53
25 Ø<30	1	20,00	0	00,00	20,00	4	80,00	0	00,00	80,00	5	01,71
30 Ø<35	1	33,33	0	00,00	33,33	2	66,67	0	00,00	66,67	3	01,03
35 Ø	2	25,00	1	12,50	37,50	3	37,50	2	25,00	62,50	8	02,74
<b>Total</b>	<b>51</b>	<b>17,47</b>	<b>120</b>	<b>41,10</b>	<b>58,57</b>	<b>89</b>	<b>30,47</b>	<b>32</b>	<b>10,96</b>	<b>41,43</b>	<b>292</b>	<b>100,00</b>

Tableau 14. Fréquence annuelle et saisonnière des diamètres des grêlons en Tunisie (Source : SAIDI H., 1976).

### 1.1.1. A l'échelle annuelle

La fréquence annuelle des diamètres des grêlons pour l'ensemble de la Tunisie (figure 38) montre que presque 80% des grêlons ont généralement un diamètre inférieur à 15 millimètres, mais ce sont ceux dont le diamètre est compris entre 5 et 10 millimètres qui tombent le plus fréquemment. D'autre part, les chutes de grêlons de plus de 20 et 25 millimètres de diamètre semblent rarement observées avec des fréquences qui ne dépassent pas les 10%.

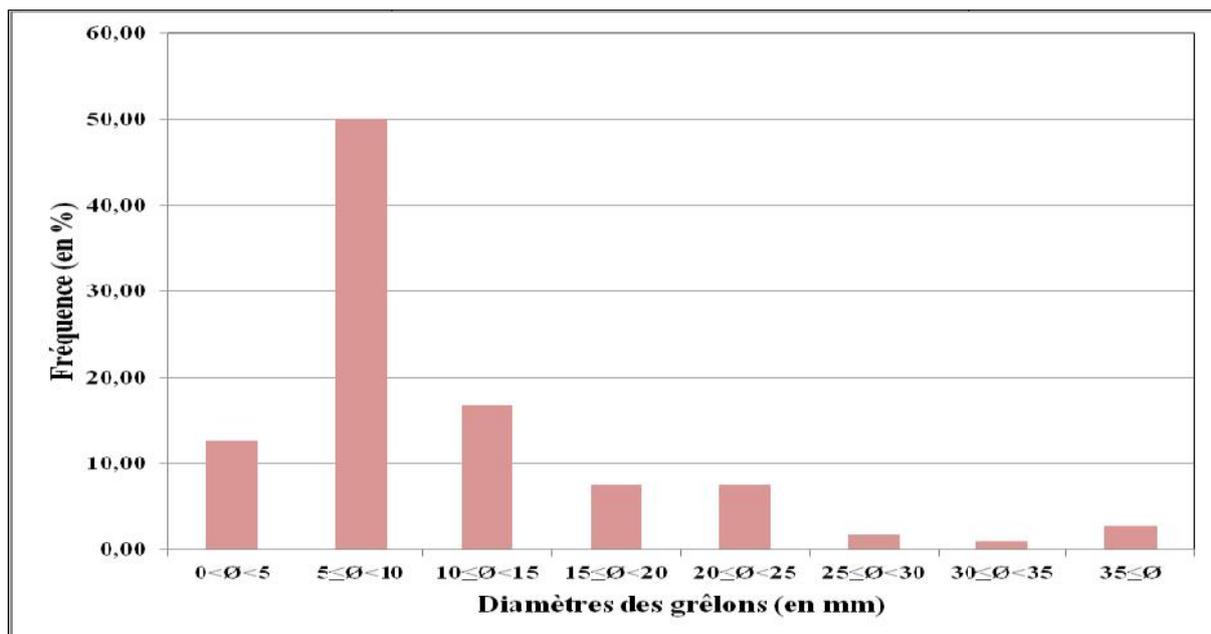


Figure 38. Fréquence moyenne des diamètres des grêlons en Tunisie (Source des données : SAIDI H. 1976).

En Tunisie, à cause des lacunes pour des périodes assez longues, on se réfère pour l'étude des dimensions des grêlons à l'étude proposée par SAIDI H. de 1976<sup>24</sup>. Dans la distribution des diamètres des grêlons, à partir d'un suivi de 51 cas de chute de grêle (tableau 14), nous n'avons pas séparé la grêle du grésil ( $\text{Ø} < 5$  millimètres).

### 1.1.2. A l'échelle saisonnière

A cette échelle, et à l'instar de l'étude de la distribution saisonnière spatiale du phénomène de la grêle déjà retenue dans le premier chapitre, on a distingué les grêlons d'hiver (octobre-mars) de ceux d'été (avril-septembre). Ceci nous permet, sans équivoque, de comprendre au mieux l'intensité des grêlons en fonction de leur diamètre, et donc leurs effets sur les activités humaines pratiquées au cours de l'année.

<sup>24</sup> SAIDI H., 1976.

La fréquence des diamètres des grêlons d'hiver et ceux d'été (figure 39) révèle une nette disparité. En hiver, et selon une allure décroissante, on retient presque le même schéma annuel. C'est ainsi que les grêlons de moins de 10 millimètres de diamètre tombent le plus fréquemment avec une nette importance des particules de 5 à 10 millimètres de diamètre. Ceux-ci ne présenteront, *a priori*, aucun risque pour l'agriculture, car la végétation est encore en dormance. Néanmoins, certaines cultures, en particulier les oliviers, qui semblent bien mures en hiver, peuvent être attaqués par ces chutes de grêle, mais cela dépend beaucoup de la géographie de ce type d'activité agricole par rapport à la distribution spatiale de la grêle d'hiver.

En été, on observe strictement le cas inverse par rapport à la période hivernale. Ce sont souvent les grêlons de plus de 5 à 10 et parfois de plus de 15 millimètres de diamètre, qui sont les plus fréquents. Exceptionnellement, on a observé des grêlons de 105 millimètres de diamètre à Sfax le 13 mai 1957<sup>25</sup>. Au cours de cette période de l'année, ce sont les régions dont les cultures sont à vocation céréalières (le Haut Tell au Nord-ouest tunisien) et arboricoles (les Hautes Steppes tunisiennes au Centre-ouest) qui demeurent le siège des noyaux de maximum de jours de grêle. Or, c'est durant les six mois de cette période que les diamètres supérieurs ou égaux à 20 millimètres prédominent. Cela explique donc l'importance des dégâts causés par la grêle.

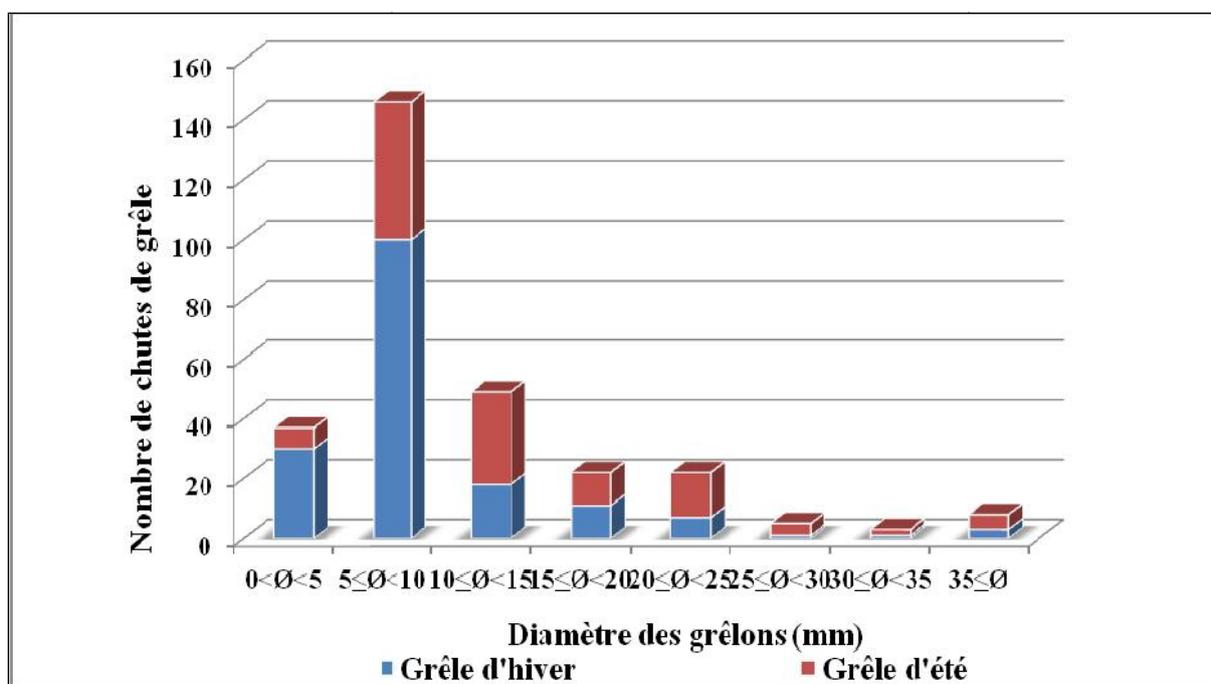


Figure 39. Fréquence saisonnière des diamètres des grêlons en Tunisie (Source des données : SAIDI H. 1976).

<sup>25</sup>SAIDI H., 1976.

### 1.2. Variation diurne des chutes de grêle

Sauf de rares rapports accordés à quelques jours de grêle dans certaines stations d'observations, l'heure de chute de grêle n'est pas enregistrée d'une manière continue. Cependant, à partir des statistiques offertes dans l'étude de SAIDI H. en 1976, nous avons dressé la figure 40 qui représente la fréquence horaire des chutes de grêle en Tunisie par tranches de 06 heures. Les chutes de grêle les plus fréquentes sont observées l'après-midi. Plus de 50% des chutes se concentrent entre 12h00 et 18h00 (heure locale) soit entre 11h00 et 17h00 TU. Cette fréquence maximale de l'après-midi s'explique par le réchauffement des basses couches de l'atmosphère pendant les heures les plus chaudes de la journée.

Tout le long des 24 heures du jour, les orages les plus puissants et par conséquent les chutes de grêle les plus intenses se matérialisent entre 14h00 et 17h00 (heure locale) soit entre 13h00 et 16h00 TU. Cela s'explique par le pic de la thermoconvection durant les journées très ensoleillées. L'air se réchauffe rapidement à proximité du sol, il devient peu à peu plus léger que l'air froid, il s'élève en causant des turbulences, créant une instabilité qui renforce de plus en plus le *cumulonimbus*. La thermoconvection est souvent plus forte dans les régions méridionales et continentales, et est favorisée par les situations d'abri. C'est ainsi que les orages de grêle les plus intenses en Tunisie s'observent le plus souvent et par ordre d'importance dans les deux régions du centre-ouest et du sud-ouest, régions les plus élevées et les plus continentales du pays. Le 13 juin 2007, avec des températures moyennes de plus de 30°C, un orage très violent a battu les régions du Haut Tell et des Hautes Steppes et s'est étiré jusqu'à la région du nord-est.

D'autres travaux, comme celui proposé par GIAIOTTI et al. (2003) en Italie et celui réalisé par LOPEZ et al. (2007) en Espagne, confirment cette fréquence horaire des chutes de grêle et leur forte intensité durant la deuxième moitié de la journée. En plus, PO AKAL et al. (2009) en Croatie montre une forte corrélation entre la fréquence horaire des chutes de grêle avec celle des dommages : pendant les 24 heures, les forts dommages s'observent fréquemment entre 12h00 et 18h00.

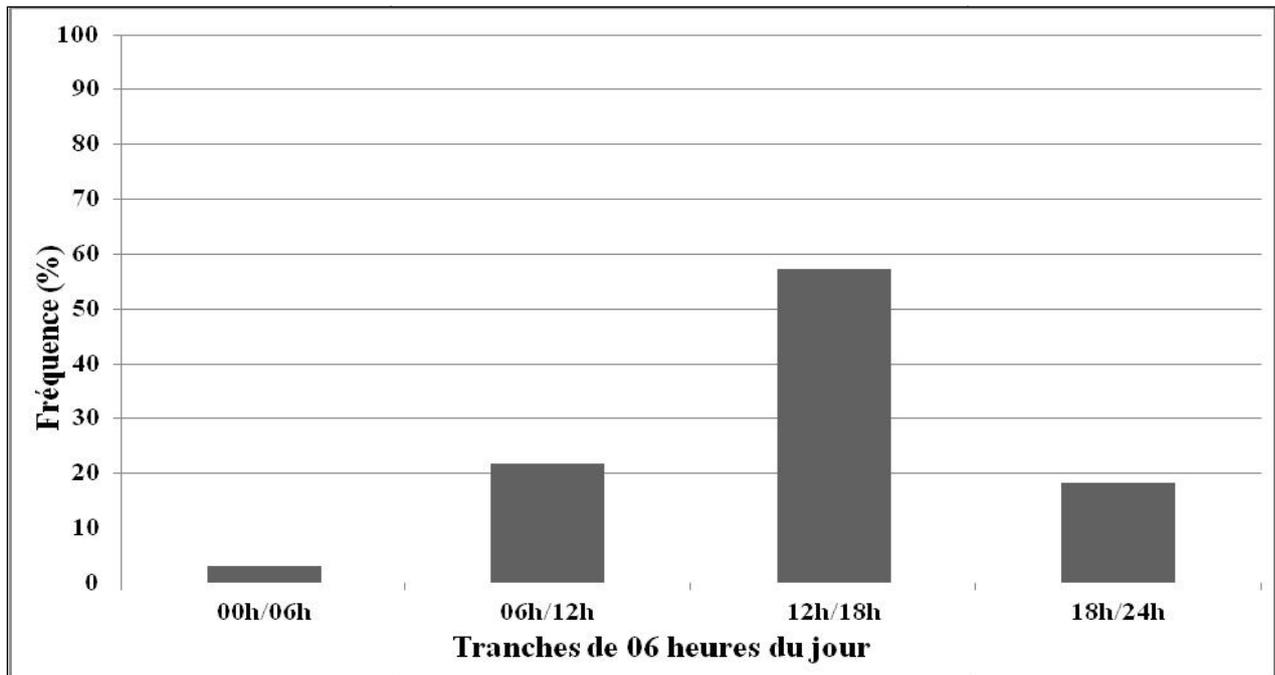


Figure 40. Fréquence horaire des chutes de grêle par tranches de 06 heures en Tunisie (Source des données : SAIDI H. 1976).

### 1.3. Durée des orages de grêle

La durée maximale absolue des orages de grêle en Tunisie varie géographiquement. C'est ainsi qu'on a enregistré une durée maximale de 70 minutes à Thibar au Nord-ouest le 20 octobre 1956, et une durée de 69 minutes à Sfax au Sud-est le 09 mai 1951<sup>26</sup>.

A partir des 135 cas de chutes de grêle retenus des statistiques proposées dans l'étude de SAIDI H. en 1976 dans six stations, représentant les différentes régions de la Tunisie, la durée des orages de grêle est comprise, en moyenne, entre 5 et 15 minutes (figures 41, 42, 43, 44, 45 et 46). Cette durée très courte explique le caractère soudain et brutal des orages de grêle, qui se manifestent sous forme de fortes averses, presque partout en Tunisie.

<sup>26</sup>SAIDI H., 1976.

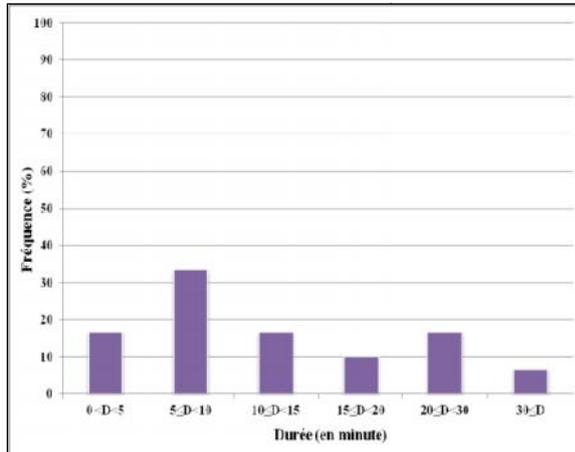


Figure 41. Durée des orages de grêle à Jendouba (N-O) (Source des données : SAIDI H. 1976).

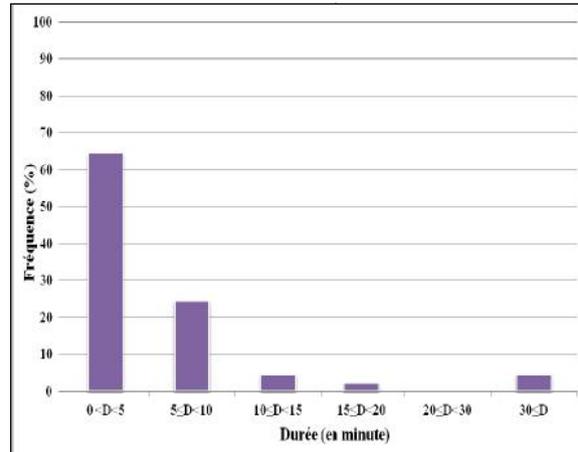


Figure 42. Durée des orages de grêle à Ghar El Melh (N-E) (Source des données : SAIDI H. 1976).

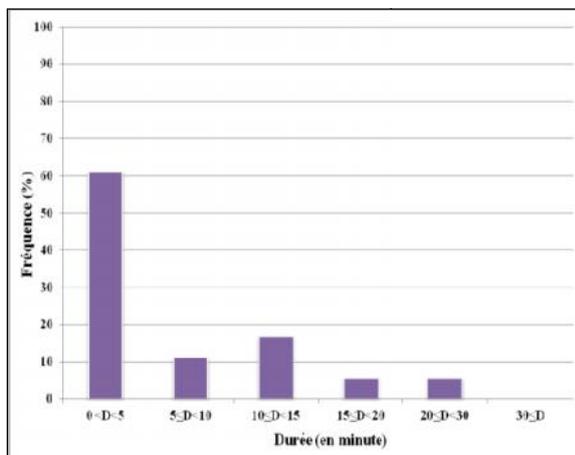


Figure 43. Durée des orages de grêle à Kasserine (C-O) (Source des données : SAIDI H. 1976).

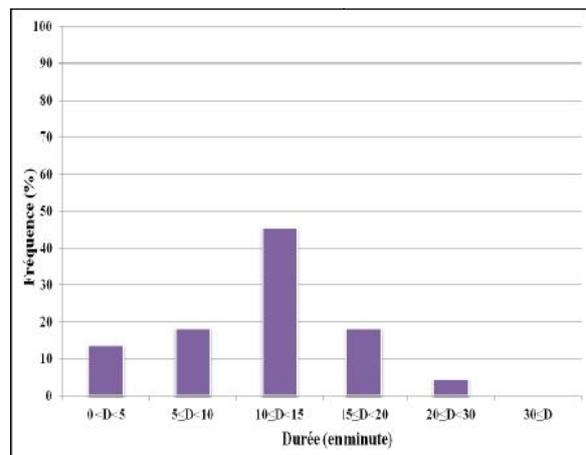


Figure 44. Durée des orages de grêle à Kairouan (C-E) (Source des données : SAIDI H. 1976).

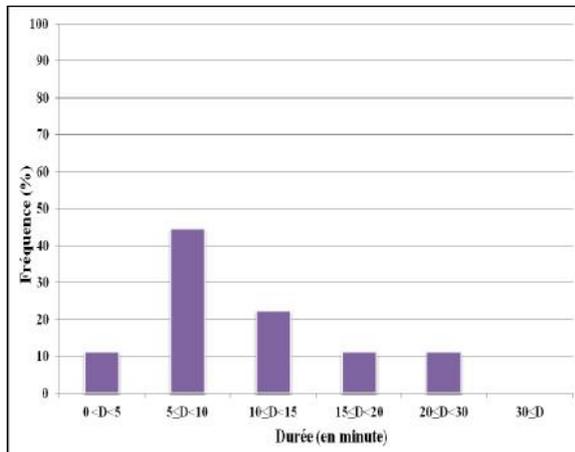


Figure 45. Durée des orages de grêle à Gafsa (S-O) (Source des données : SAIDI H. 1976).

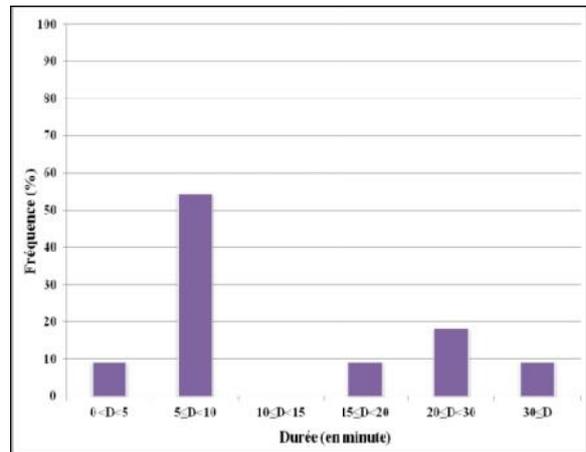


Figure 46. Durée des orages de grêle à Gabès (S-E) (Source des données : SAIDI H. 1976).

#### 1.4. Rapport orage / grêle

La fréquence relative des orages de grêle parmi les jours d'orages entre 1976 et 2005 atteint 9,20% (figure 47). SAIDI H. a proposé ce même résultat dans son étude du phénomène

de la grêle en Tunisie en 1976. BYERS H.R., en 1942 a confirmé une valeur comprise entre 9 et 10% des orages contenant de la grêle. La météo-France donne le même pourcentage en indiquant que « *Moins de 10% des cumulonimbus donnent de la grêle atteignant le sol mais on peut estimer qu'un pourcentage beaucoup plus important fabrique de la grêle sans que celle-ci ait le temps d'atteindre le sol* »<sup>27</sup>. Aussi, L'Equip-grêle.eu, filiale de **Paintfill & Carding France** et spécialiste en réparation des véhicules grêlés, a rapporté en 2010 que la grêle reste, néanmoins, un phénomène rare du fait que seul 10% des cumulonimbus génèrent des grêlons pouvant atteindre le sol.

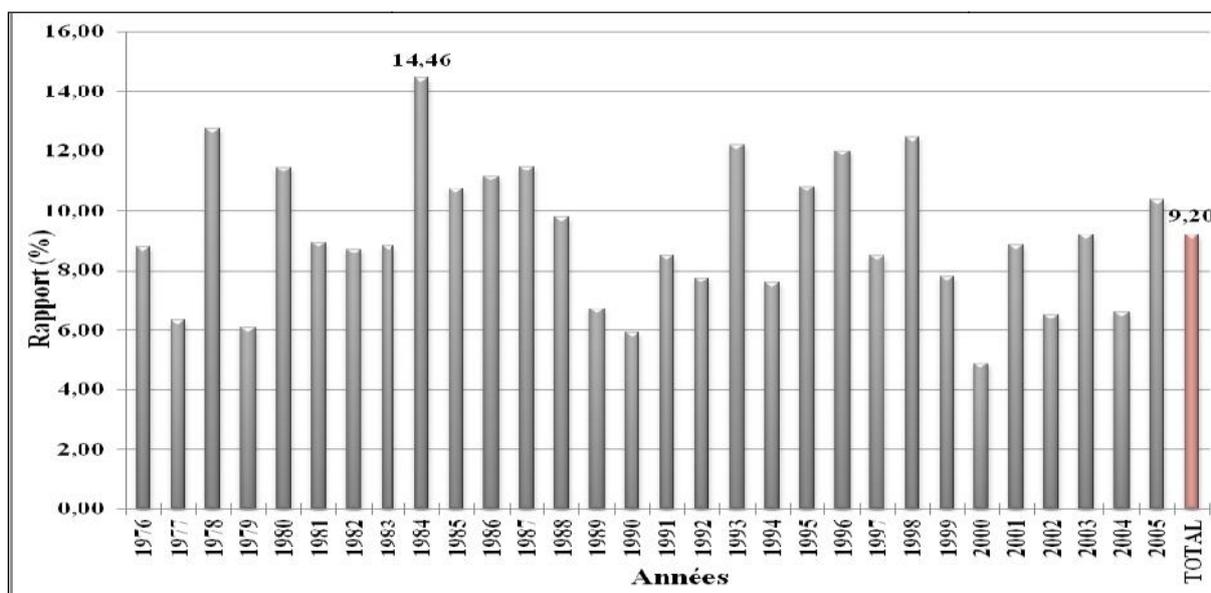


Figure 47. Variation inter-annuelle des nuages de grêle en Tunisie entre 1976 et 2005 (Source : INM).

Durant la période d'étude, et d'une année à l'autre, la fréquence relative des nuages de grêle se caractérise par une grande variabilité. En effet, en 1984, 14,46% des orages sont accompagnés de grêle ; en revanche, à peine 4,89% des orages observés en l'an 2000 sont grêligènes.

La variation interannuelle de la fréquence relative des nuages de grêle de 1976 à 2005 permet de dégager quelques éléments qui semblent très importants. Cette variation est d'abord très aléatoire. Les pics annuels de nuages grêligènes (1978, 1980, 1984, 1987, 1993, 1996, et 1998) correspondent à des années où la grêle est particulièrement fréquente, cependant ces mêmes années, ne sont pas les plus orageuses de la période retenue. En outre, l'année 1976, qui est la plus orageuse (990 occurrences d'orages sur 41 stations) ne fait pas partie des années à fort maxima de chutes de grêle.

<sup>27</sup> [www.meteo.fr/temps/domtom/antilles/pack-public/.../fiche\\_grêle.pdf](http://www.meteo.fr/temps/domtom/antilles/pack-public/.../fiche_grêle.pdf).

## 2. Cœurs de grêle

### 2.1. Cœurs de grêle et ampleur des dégâts et le cas du 18/05/2000

Les averses de grêle suivent le plus souvent des couloirs de quelques kilomètres de largeur sur quelques dizaines de kilomètres de longueur. Par ailleurs, de nombreuses expériences de mesure de la grêle au sol (en l'occurrence celle de *Grossversuch IV*)<sup>28</sup>, ont confirmé qu'à l'intérieur des ces couloirs l'énergie de la grêle n'est pas homogène (MEZEIX JF., en 1981, DESSENS J., en 1988 et FIELD PR. et al, en 2010) et qu'il existe des « cœurs de grêle » à l'intérieur des averses. Diamètre des grêlons, énergie de la grêle, nombre de grêlons au mètre<sup>2</sup>... tous ces paramètres s'amplifient dans ces cœurs de grêle de quelques hectares à quelques km<sup>2</sup> de superficie (CHANGNON S.A., 1997 et CHANGNON S.A. et BURROUGHS J., 2003).

Ces cœurs de grêle dessinent au sol des ellipses allongées dans la direction du vent en altitude (figure 48), où l'on enregistre davantage de dégâts en comparaison aux autres endroits du couloir de grêle. C'est ainsi qu'on peut comprendre clairement l'hétérogénéité des dégâts entre deux parcelles pourtant proches. Les agriculteurs connaissent bien cette injustice en voyant leur champ totalement ravagée alors que celui du voisin peut se trouver indemne.

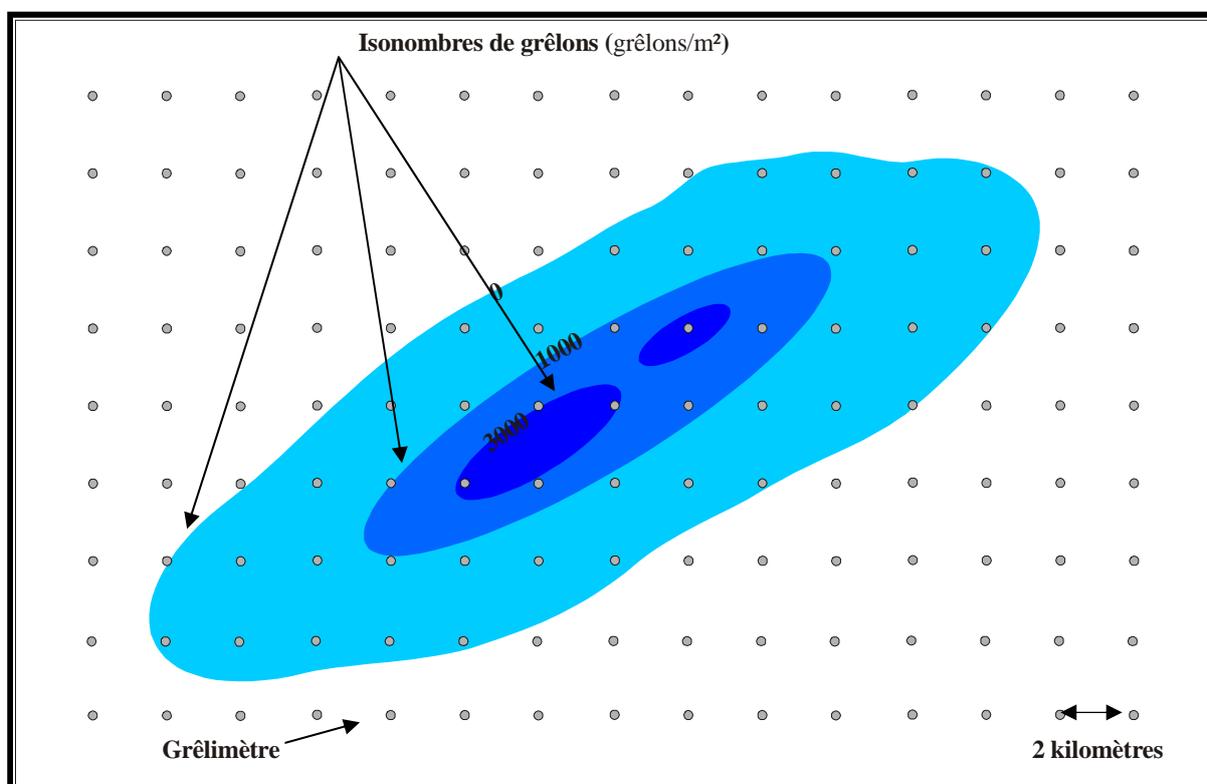


Figure 48. Mise en évidence des cœurs de grêle lors d'une averse de grêle (Source : VINET F. 2000 d'après Grossversuch).

<sup>28</sup> VINET F. (2000) : « Le risque-grêle en agriculture ».

Sur le terrain, nous avons cartographié les dégâts de la grêle lors de l'averse du 18 mai 2000 dans le gouvernorat de Gafsa au Sud-ouest tunisien. Les cultures sous serre, les arbres fruitiers, les cultures saisonnières ainsi que les grandes cultures, en particulier le blé étaient les cultures les plus touchées. Le couloir de grêle s'étendait sur 24 kilomètres de long et 8 kilomètres de large. L'orage s'est déplacé Nord-ouest/Sud-est. Il s'agissait d'une averse de grêle accompagnée de vents forts et de pluies intenses.

Ce jour là, les conditions météorologiques étaient favorables. Le territoire tunisien était soumis en surface à une lente circulation dépressionnaire centrée sur la région du sud. Dans cette circulation s'insérait une perturbation orageuse dont la partie la plus active se trouvait sur la partie sinistrée. En altitude, la situation se caractérisait par un courant frais de Nord-ouest légèrement dépressionnaire (figure 49).

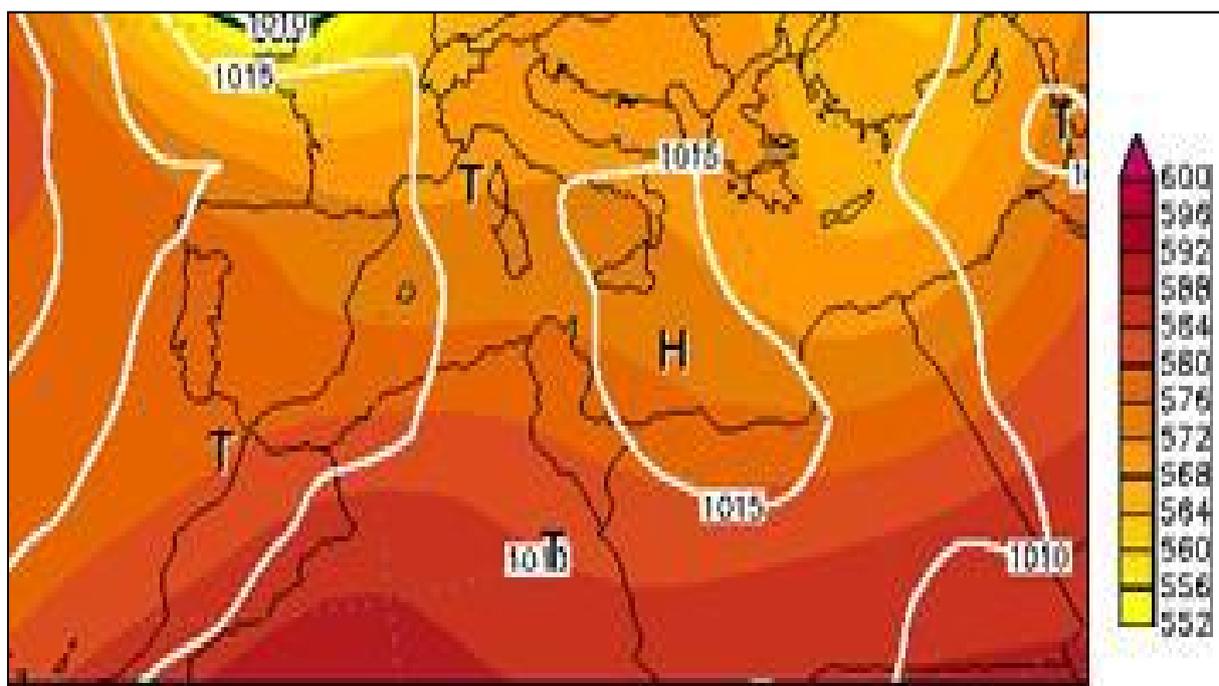


Figure 49. Situation atmosphérique du 18/05/2000 (Source :[www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)).

En premier lieu, l'orage a envahi le territoire tunisien avec un vent en altitude Nord-ouest/Sud-est, du côté nord-ouest de la région de Gafsa, à Sidi Boubaker et Sidi Aich (Figure 50). A cet instant, à Sidi Aich, la grêle a attaqué 5 000 pieds d'oliviers, 6 275 pieds de pistachiers, 11 200 pieds d'arbres fruitiers divers et 212.5 hectares de blé avec des taux de 80 à 100%.

Ensuite, l'orage a marqué rapidement, 30 à 40 kilomètres plus au sud, une intense phase de concentration, notamment au niveau des délégations de Gafsa Nord et de Sned. Il s'agit là de véritables « cœurs de grêle », soit la destruction presque totale des récoltes. Dans la délégation de Gafsa Nord et dans les deux communes de Guettis et d'Errhiba, 565 couvertures de polyéthylènes et 58 ossatures ainsi que 40 canaux plastiques ont été totalement détruits, enfin plus de 40 500 pieds d'arbres fruitiers ont été endommagés de 80 à 100%. Le coût total des dégâts a été estimé à 995 385 DT (CRDA de Gafsa, 2000).

Un peu plus à l'est, dans la délégation de Sned, les taux des dégâts ont été importants (de 75 à 100%). Ce sont plutôt les cultures protégées (359 couvertures de polyéthylènes et 49 ossatures), les grandes cultures (121,5 hectares de blé) ainsi que les arbres fruitiers (16 530 pieds dont 13 225 sont des oliviers) qui ont le plus souffert des effets de cette chute de grêle. Au sud des deux chaînes montagneuses de Bou Ramli-Benyounes et Orbata, les dégâts de la chute de grêle de 18 mai 2000 ont été enregistrés sur les communes de Gsar et Gafsa Sud. On y a relevé des dégâts dont l'ampleur s'élève à 31 300 pieds d'arbres fruitiers en particulier les pistachiers, 206 hectares de blé et la destruction de 850 couvertures de polyéthylènes ainsi que 70 ossatures de cultures sous serre.

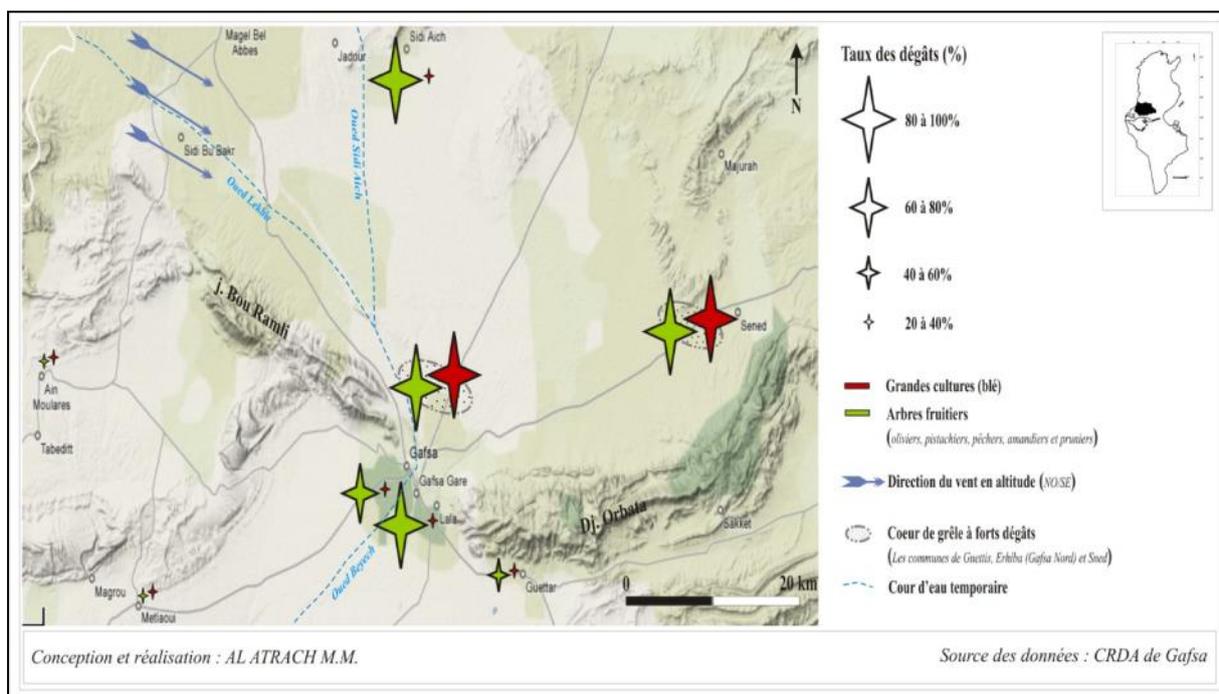


Figure 50. Dégâts de l'averse de grêle du 18 mai 2000 à Gafsa dans la région du Sud-ouest tunisien.

Ce jour là, au niveau de la Méditerranée occidentale, un front s'est matérialisé suite à une intense confrontation entre l'air chaud (plus de 30°C) montant du Sahara nord africain et l'air froid (0°C et même moins) descendant de l'Europe occidentale (figure 51).

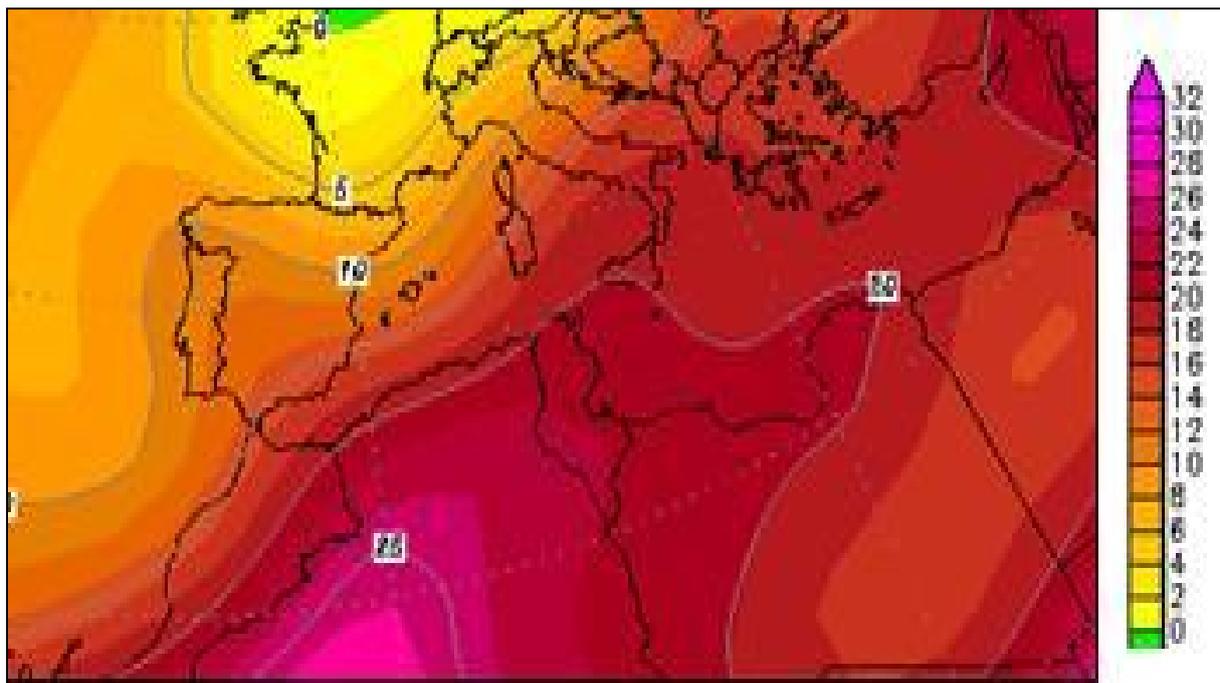


Figure 51. Températures au niveau du 850 hPa (Source : [www.Wetterznetrale.de](http://www.Wetterznetrale.de)).

## 2.2. Localisation et évolution des masses nuageuses : le cas du 19/09/2007

Pour suivre l'évolution des masses nuageuses, nous étudions le cas de la chute de grêle du 19/09/2007 enregistré à Gafsa au sud-ouest tunisien (figure 52). A cette date, le territoire tunisien demeurait, exceptionnellement, sous l'influence d'un marais barométrique de 1018 millibars, d'autre part la surface isobarique 500 hPa se trouvait à environ 5900 mètres d'altitude. Une goutte d'air froid s'était étirée sur la péninsule Ibérique, la Méditerranée occidentale, tout l'Ouest du Maroc, et favorisait l'établissement d'un courant du Nord-ouest instable sur la Tunisie, en confrontant l'invasion de l'air chaud sur l'Europe occidentale.

Pour comprendre au mieux l'évolution des masses nuageuses, on a établi un suivi horaire de la manifestation de la chute de grêle du 19/09/2007 à partir des extraits des images infrarouges (figures a, b, c, et d). Ce jour-là, un système nuageux semblait fonctionner indépendamment des heures de déclenchement des précipitations, dans la partie du Sud-ouest du territoire tunisien.

A la mi-journée, quelques nuages orographiques bénins apparaissent dans les rives méridionales des Hautes steppes tunisiennes et la région du sud-ouest. Sur le territoire tunisien, la première cellule orageuse apparaît exactement à 13h00 UTC (14h00 heure locale) au niveau de la région des Hautes steppes (a). Une heure après, cette première cellule est suivie d'une autre qui s'est manifestée sur les frontières du territoire algérien (b). Vers 14h00

UTC (15h00 heure locale), et avec un vent en altitude (vers 500 hPa) de direction générale Nord-ouest/Sud-est, les deux cellules orageuses se sont un peu déplacées vers le Sud pour se stabiliser sur le bassin de Gafsa au Sud-ouest. Là, elles se sont réunies, devenant très étendues ; c'est à ce moment que de fortes pluies accompagnées de vents ont commencé à marquer leur présence.

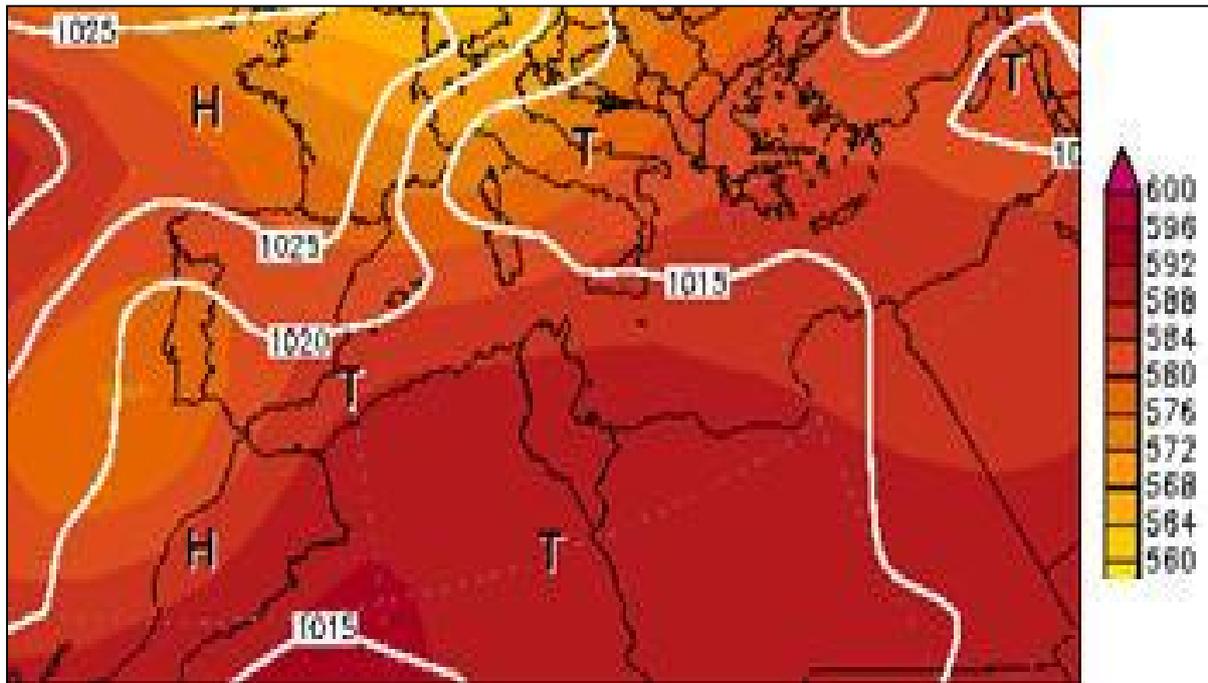
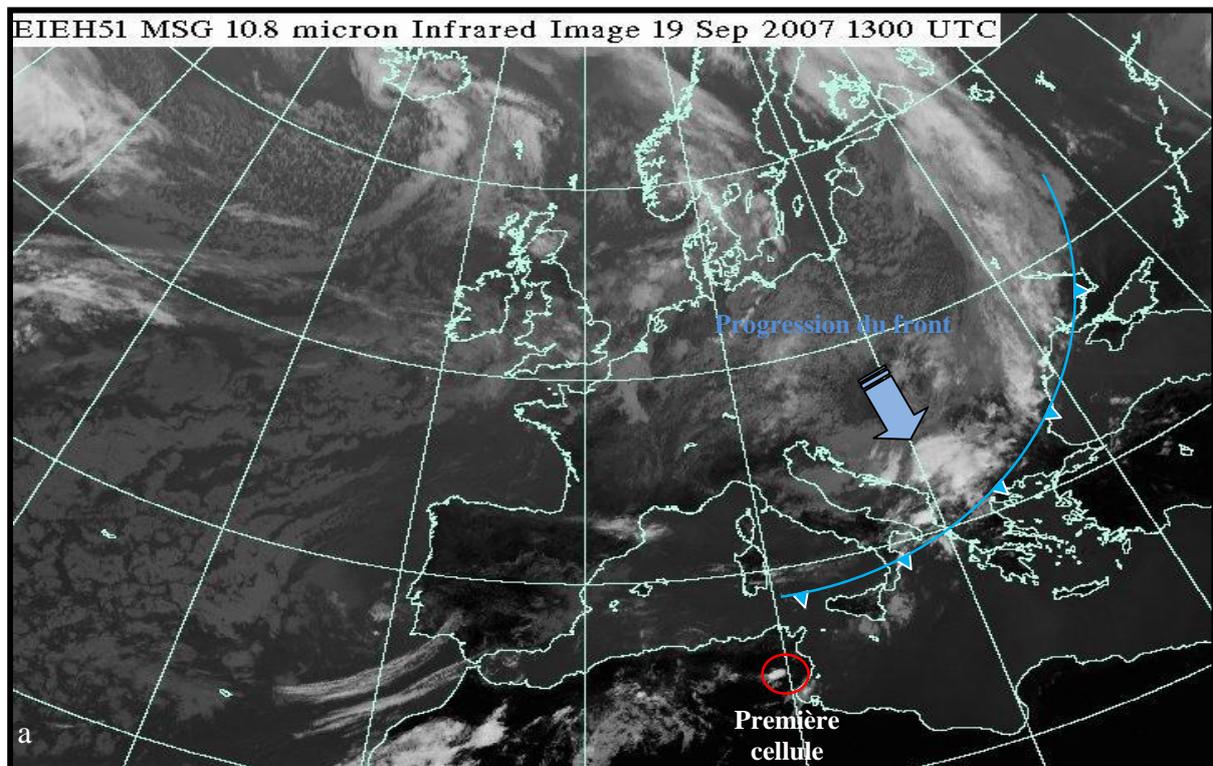
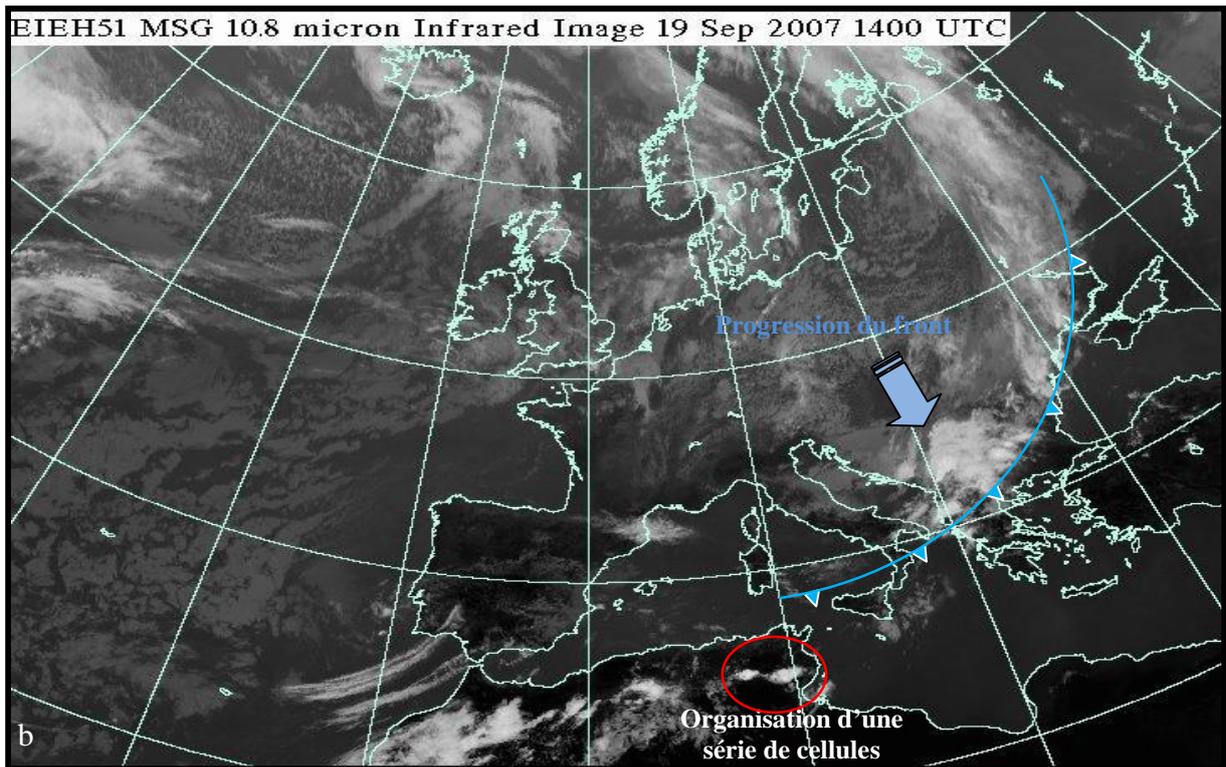
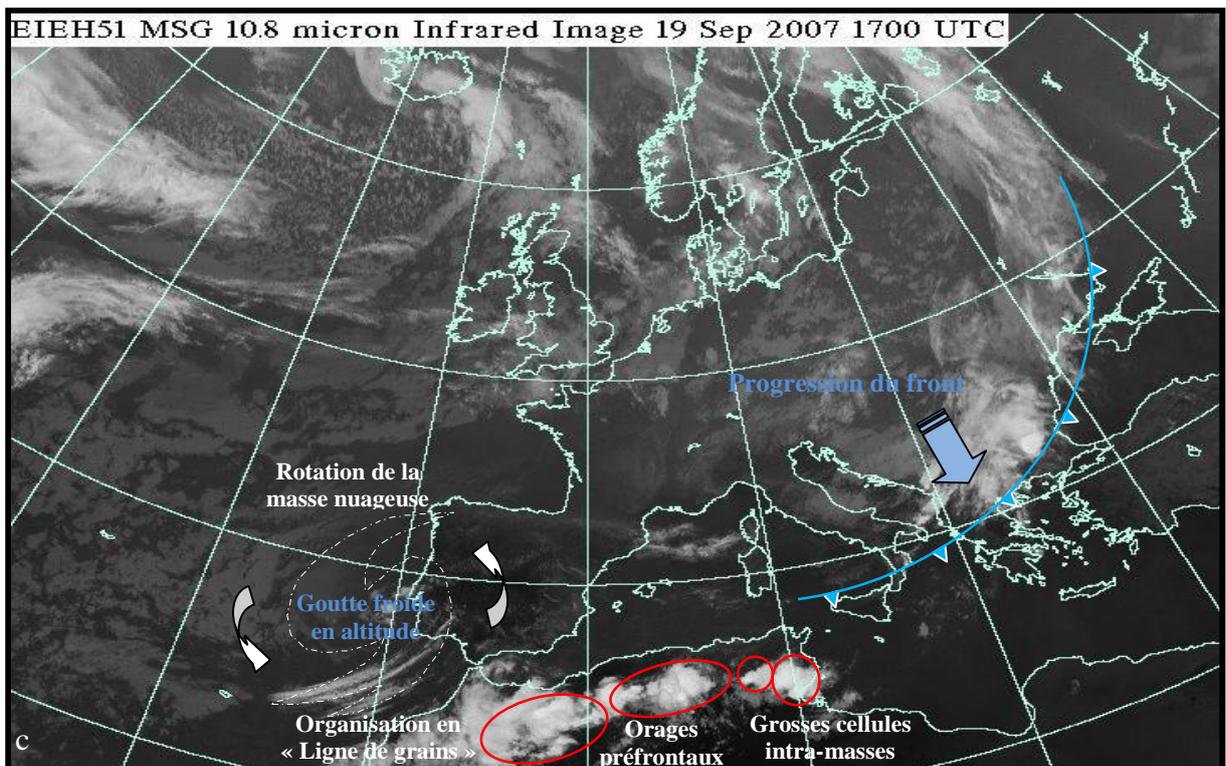


Figure 52. Situation atmosphérique du 19/09/2007 (Source : [www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)).

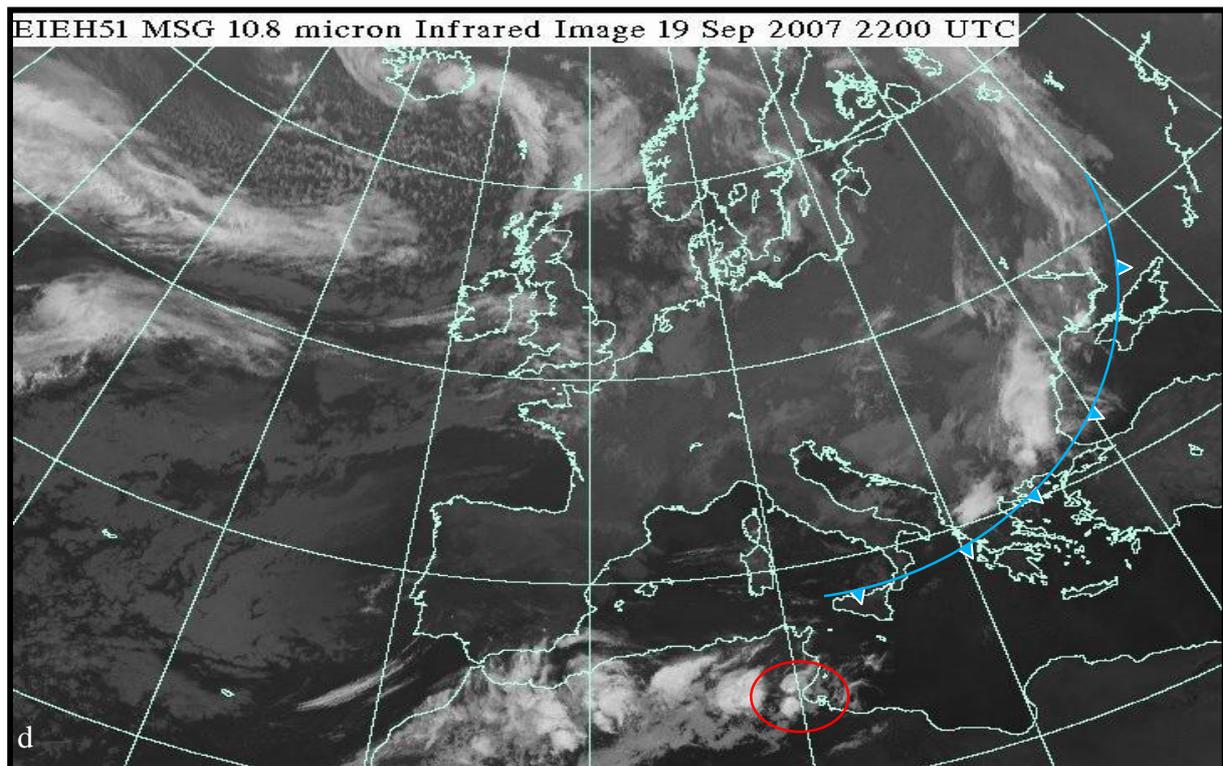




La manifestation des particules de grêle a commencé vers 17h00 UTC (18h00 heure locale) au moment où la masse nuageuse apparaissait très développée et couvrait en premier lieu toute la région de Gafsa et tout particulièrement les communes de Guettis, Errhiba et El Guettar, puis un peu vers l'est celle de Sned (c).



A 19h00 UTC (20h00 heure locale), cette dernière masse nuageuse s'étant dissipée, une autre cellule très bien localisée a pris la relève notamment sur la commune de Sidi Aich, au Nord du gouvernorat de Gafsa. Devenant peu à peu plus importante, elle a donné de la grêle (quelques minutes) qui a attaqué particulièrement les arbres fruitiers. Cette dernière cellule a subsisté pendant les quelques heures qui suivaient, puis vers 22h00 UTC (23h00 heure locale) elle s'est dissipée totalement vers le Sud-est du pays (d).



### 3. Trajectoires des nuages de grêle à petite échelle en Tunisie

#### 3.1. Principe de traçage : Date / Lieu des chutes de grêle

Le traçage des trajectoires des orages de grêle est basé sur un principe qui met en parallèle le rapport entre les dates et les lieux des chutes de grêle (les lieux déclarés comme sinistrés), ainsi que la direction du vent en altitude (courant Jet au niveau de 200 hPa) ; tableau 15.

Les chutes de grêle en Tunisie interviennent très souvent dans deux situations météorologiques : soit des *Cumulonimbus* qui s'alignent à l'avant des fronts froids (*Syours*)<sup>29</sup> résultant le plus souvent d'une circulation générale dominant l'Europe et la Méditerranée

<sup>29</sup> *Syours* : Pluriel de "Sir". Terminologie locale utilisée souvent par les paysans pour exprimer des *Cumulonimbus* alignés parcourant plusieurs endroits.

occidentales ainsi que l'Afrique du Nord, soit des *Cumulonimbus* de convection qui se développent sur place, et demeurent ainsi peu mobiles (*Gsaâ*)<sup>30</sup>.

Couloirs des nuages de grêle (Syour)			Direction du vent en altitude (golfe du Jet à 200 hPa)	orages de grêle localisés (Gsaâ)		
N°	Date de la chute de grêle	Lieux sinistrés (de départ et d'arrivée)		N°	Date de la chute de grêle	Localité menacée
1	05/05/1954 et 08/06/1970	Mjez El Bèb, Mateur et Ghar El Melh	W/E et W/E	1	26/10/1956, 03/10/1967 et 14/06/1968	El Féija et Tibar
2	03/05/1998	Joumine, Mateur, Utique et Ghar El Melh	SW/NE	2	13/04/1967	Jendouba
3	28/04/1985, 20/05/1990 et 24/06/2002	Béja et Mjez El Bèb	SW/NE, SW/NE et SW/NE	3	06/06/2000 et 21/09/2001	Hidra et Thala
4	24/07/1972	Ain Drahem et Le Kef	NW/SE	4	27/08/1997	Sbeitla
5	13/04/1967, 14/06/1968, 02/05/1971 et 03/05/2002	Oued Mliz, El Féija, jendouba, Boussalem et Béja (Rihana et Dougga)	SW/NE ; W/E ; SW/NE et SW/NE	5	07/10/1998 et 20/07/1999	Foussana
6	10/05/2000	El Fahs et Jbel Ouest	SW/NE	6	18/05/1998	Guettis et S.A. Ben Oun
7	22/02/1982	Grombalia, Slimène, Takelsa, Menzel Bouzelfa et Bni Khalled	NW/SE	Conception et réalisation : AL ATRACH M.M. (la suite est dans la page suivante)		
8	07/07/1906*	Sakiet Sidi Youssef, Oued Mellègue et Jendouba	SW/NE??			
9	12/05/1906* et 28/03/1953	Kalâat Sinène, Tajérouine, Oued Mellègue et Oued Tessa	????; SW/NE			
10	12/06/1906* et 25/04/1958	Sakiet Sidi Youssef, Oued Mellègue et Le Kef	SW/NE?? et SW/NE			
11	20/05/1990	Le Kef	SW/NE			
12	06 et 07/09/2001	Kasserine, Foussana et Jédéliène	SW/NE			
13	20/12/1995, 28/05/1998 et 10/07/2002	Hidra, Théla, Ayoun et Jédéliène	W/E ; SW/NE et W/E			
14	13/07/2002	Majel Bel Abbès, Foussana, El Ayoun, Thala et Jédéliène	SW/NE			
15 et 15'	02 et 10/05/2002	Foussana, El Ayoun, Thala, Sbiba et Sbeitla	SW/NE et SW/NE			
16	04/06/1998	Sbiba	W/E			
17	01 et 02/06/1997	Elâ Ala, Oueslatia et Sbikha	SW/NE et SW/NE			
18	11/07/1994	Hajeb Layoun, Kairouan et Sbikha	SW/NE			
19	02/05/1990, 05, 07 et 13/09/1990, 06/05/1993 et 12/05/1993	Kairouan	W/E			
20	04/09/2000	Hidra, Foussana et Sbiba	W/E			
21	01 et 03/06/1995, 13/05/1996, 21/08/1998, 18/09/2001, 13/07/2002 et 14,16, 20/08/2005	Majel Bel Abbès, Fériana, Kasserine nord et sud, Sbeitla et Sbiba	W/E et SW/NE ; W/E ; SW/NE ; W/E ; SW/NE ; W/E, NW/SE et W/E			
22	27/08/97	Sbeitla	SW/NE			
23	25/07/01	Kasserine, Foussana et Sbeitla	SW/NE			
24	16/09/1997, 07/10/1998 et 20/07/1999	Foussana	SW/NE			
25	11/08/97	Foussana, Kasserine sud et Hassi Lefrid	W/E			
26	20/05/1990	Kasserine	SW/NE			

<sup>30</sup> *Gsaâ* : Pluriel de "Gasâa". Terminologie locale utilisée souvent par les paysans pour exprimer des cellules orageuses très bien localisées et peu mobiles.

27	21/08/0997	Feriana et Hassi Lefrid	W/E
28	18/05/1998	Sidi Ali Ben Oun	W/E
29	02/06/2007 et 19/09/2007	Sidi Aich, Gafsa nord, Sened	W/E et W/E
30	18/05/2000	Moulares, Sidi Aich, Gafsa nord, Gsar et Sened	NW/SE

**Tableau 15. Trajets des orages de grêle en Tunisie (Source diverses).**

La carte des trajets des principaux orages de grêle à partir des archives des différents Commissariats Régionaux pour le Développement Agricoles en Tunisie, montre l'importance du domaine Sud-ouest/Nord-est et Ouest/Est de ces trajectoires (figure 53), particulièrement dans la région du Centre-ouest du pays. Sur le reste du territoire, c'est notamment le domaine Nord-ouest/Sud-est qui prend la relève. Ces orages s'étirent et s'alignent également pour parcourir plusieurs dizaines de kilomètres et les chutes de grêle qu'ils engendrent s'observent dans plusieurs endroits.

Plusieurs travaux à l'échelle internationale, qui ont étudié le phénomène de la grêle, mentionnent le même principe de traçage des trajets des nuages de grêle. En Royaume Unie, WEBB J.D., en 2009 a dressé une carte des trajectoires de 15 cas d'orages de grêle entre 1800 et 2004. Selon le même rapport " date / lieux des chutes de grêle", cette carte montre souvent des trajectoires Sud-ouest/Nord-est, Ouest/Est et aussi Nord-ouest/Sud-est.

Les orages de grêle fléchissent souvent selon la direction et le déplacement du vent au niveau de la surface isobarique 500 hPa. Ce résultat a été obtenu à la suite de la projection des trajets de ces orages par rapport au vent en altitude.

Cependant, nul n'est besoin d'insister sur l'importance des *Cumulonimbus* de convection qui se génèrent sur place, indépendamment de la direction du vent en altitude. Ce type de nuage de grêle très localisé et peu mobile, est le résultat du phénomène de la thermoconvection qui se met en fonction dans les bassins versants et les fossés d'effondrement et qui se renforce surtout par les situations d'abri, notamment dans les vallées.

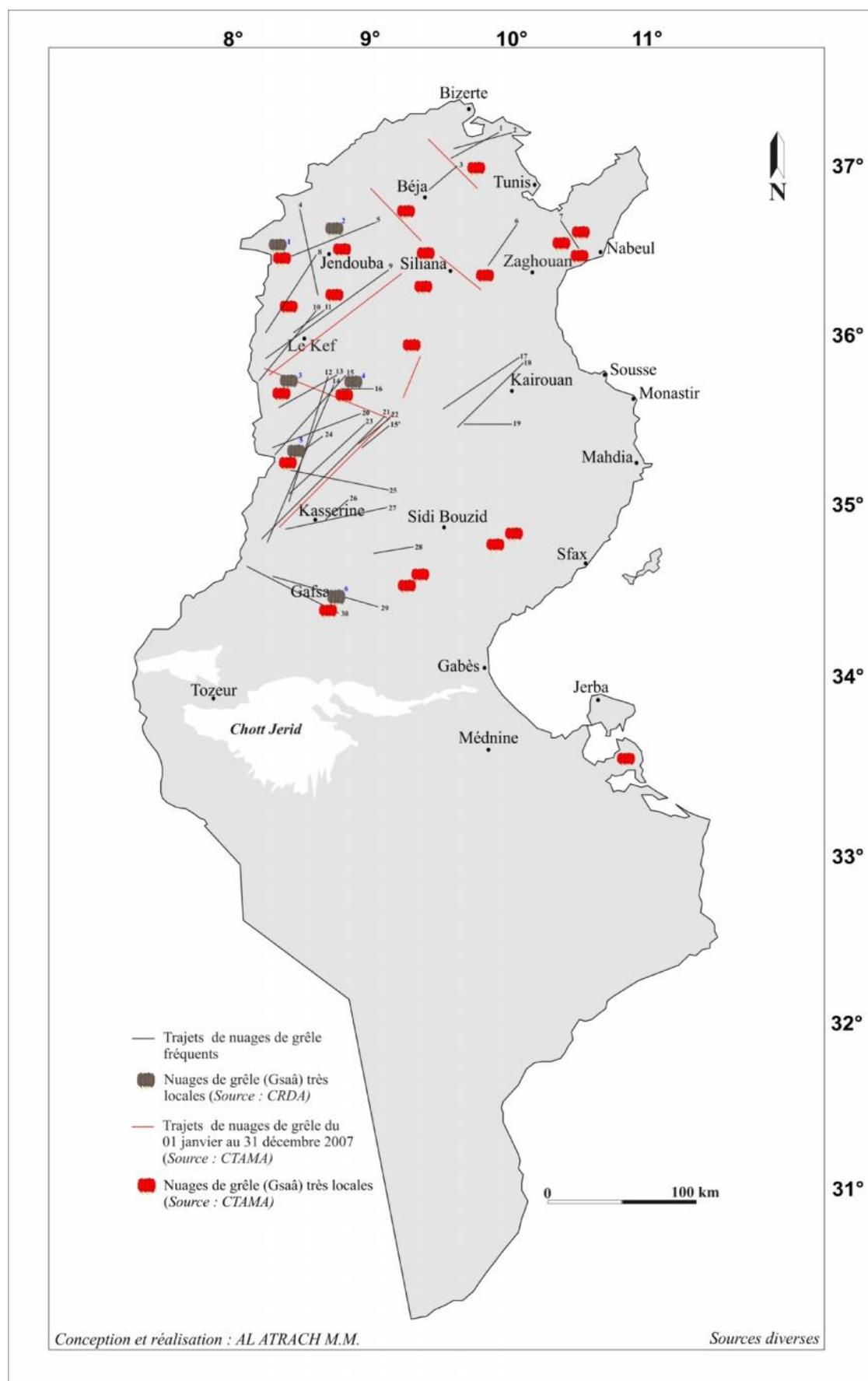


Figure 53. Trajets des nuages de grêle en Tunisie.

### 3.2. Déplacement des nuages de grêle : rôle du vent en altitude

Les couloirs de grêle s'étirent généralement sur un tracé rectiligne ou légèrement incurvé vers la droite. Le suivi de plusieurs cas de chutes de grêle à partir d'analyses des cartes synoptiques en altitude montre que souvent le vent situé entre 500 et 700 millibars commande la direction ainsi que la vitesse de déplacement des nuages de grêle, en particulier des supercellules. Le trajet de ces dernières dévie globalement de  $30^\circ$  sur la droite du vent dominant (figure 54). On voit cet angle sur les enregistrements radar en confrontant l'orientation des panaches des supercellules avec celui du trajet général de l'orage. Cette importance du vent entre 5000 et 6000 mètres d'altitude, est observée dans les régions de moyennes latitudes de l'hémisphère nord<sup>31</sup>.

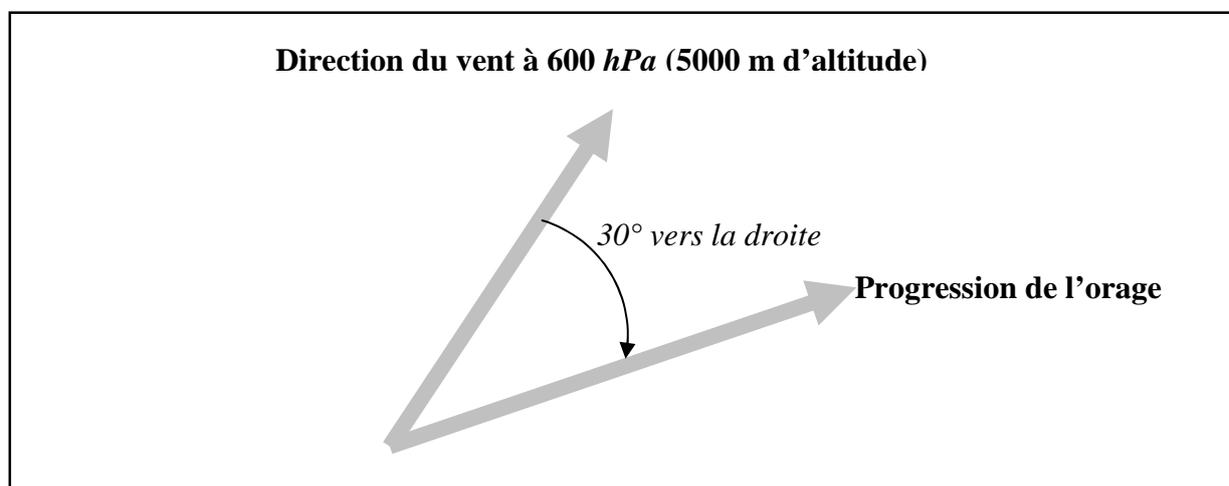


Figure 54. Vent de la circulation générale et trajectoires des orages (Source : VINET F., 2000).

Outre le fait qu'il conditionne les trajectoires des supercellules, un vent fort en altitude<sup>32</sup> a plusieurs autres effets qui favorisent l'activité et la pérennité des *Cumulonimbus* :

- en évacuant latéralement une partie des courants ascendants, un vent fort en altitude dispense de l'établissement de courant descendant (qui annihilerait le *Cumulonimbus*) et stabilise les courants ascendants.
- il améliore le tirage de l'orage et donc l'ascendance,
- il appauvrit le nuage en noyaux de congélation, renforçant le diamètre des embryons existants et potentiellement la grosseur des grêlons au sol.

<sup>31</sup> VINET F., 2000.

<sup>32</sup> La vitesse de déplacement du nuage est inférieure de 20% à celle du vent à 5000 m d'altitude (600 hPa). Ceci est essentiel en matière de lutte antigrêle.

Il est à noter aussi que, le cisaillement engendré par des différences de vitesse et d'orientation des vents à différents niveaux, favorise également l'instabilité dans la troposphère.

#### **4. Particularités géographiques de la grêle**

##### ***4.1. Un relief aligné Sud-ouest/Nord-est : les vallées guident-elles les chutes de grêle ?***

La superposition de la carte des trajets des principales averses de grêle sur un fond topographique de la Tunisie ne fait pas apparaître des trajectoires conditionnées par le relief. Des trajectoires qui s'acheminent Sud-ouest/Nord-est, Nord-ouest/sud-est, Ouest/est et même Nord-est/Sud-ouest (figure 55) prouvent le rôle déterminant du vent en altitude, indépendamment de l'influence de la topographie orientée le plus souvent Sud-ouest/Nord-est. Il est à noter en outre que les orages proviennent en général des mêmes directions. Ce sont les vents du Nord-ouest qui redescendent de la Méditerranée occidentale (surtout en hiver) et ceux du Sud-ouest qui remontent du Sud de l'Algérie (surtout en été), qui apportent les masses d'air orageuses en Tunisie.

Prenons l'exemple de la fameuse trajectoire d'orages de grêle dans la région des Hautes Steppes au Centre-ouest tunisien (tableau 15, n° 21). A partir des archives du Commissariat Régional pour le Développement Agricole du gouvernorat de Kasserine, Cette trajectoire de direction Sud-ouest/Nord-est a été observée fréquemment, (9 fois) sur les mêmes endroits (Majel Bel Abbès, Fériana, Kasserine nord et sud, Sbiba et Sbeïtla) et à chaque fois, elle faisait un parcours de plus de soixante kilomètres. Cette réalité a laissé croire que c'étaient les hauts reliefs de cette région (Châambi, Bireno, Semmama et d'autres ; photo 17) qui jouaient le rôle de commandement de cette dernière trajectoire, comme l'ont évoqué d'autres chercheurs, notamment MONCHICOURT Ch.<sup>33</sup> dans une étude du phénomène de la grêle réalisée en 1913. Or c'est davantage le vent en altitude, souvent de directions Sud-ouest/Nord-est ou Ouest/Est, qui est à l'origine de cette trajectoire<sup>34</sup>.

---

<sup>33</sup> « ..., les orages de grêle cheminent Ouest-est ou Sud-ouest / Nord-est et coïncident ainsi avec l'allure des principaux plissements du pays plutôt qu'avec l'orientation familière des nuages fournisseurs d'eau. » (MONCHICOURT Ch. , 1913).

<sup>34</sup> Voir plus de détails au chapitre 6 de la deuxième partie (le déplacement du courant du Jet à 200 hPa le jour de la chute de grêle du 10 mai 2002, montre bien l'acheminement sud-ouest/nord-est du vent en altitude sur l'ensemble du territoire tunisien).

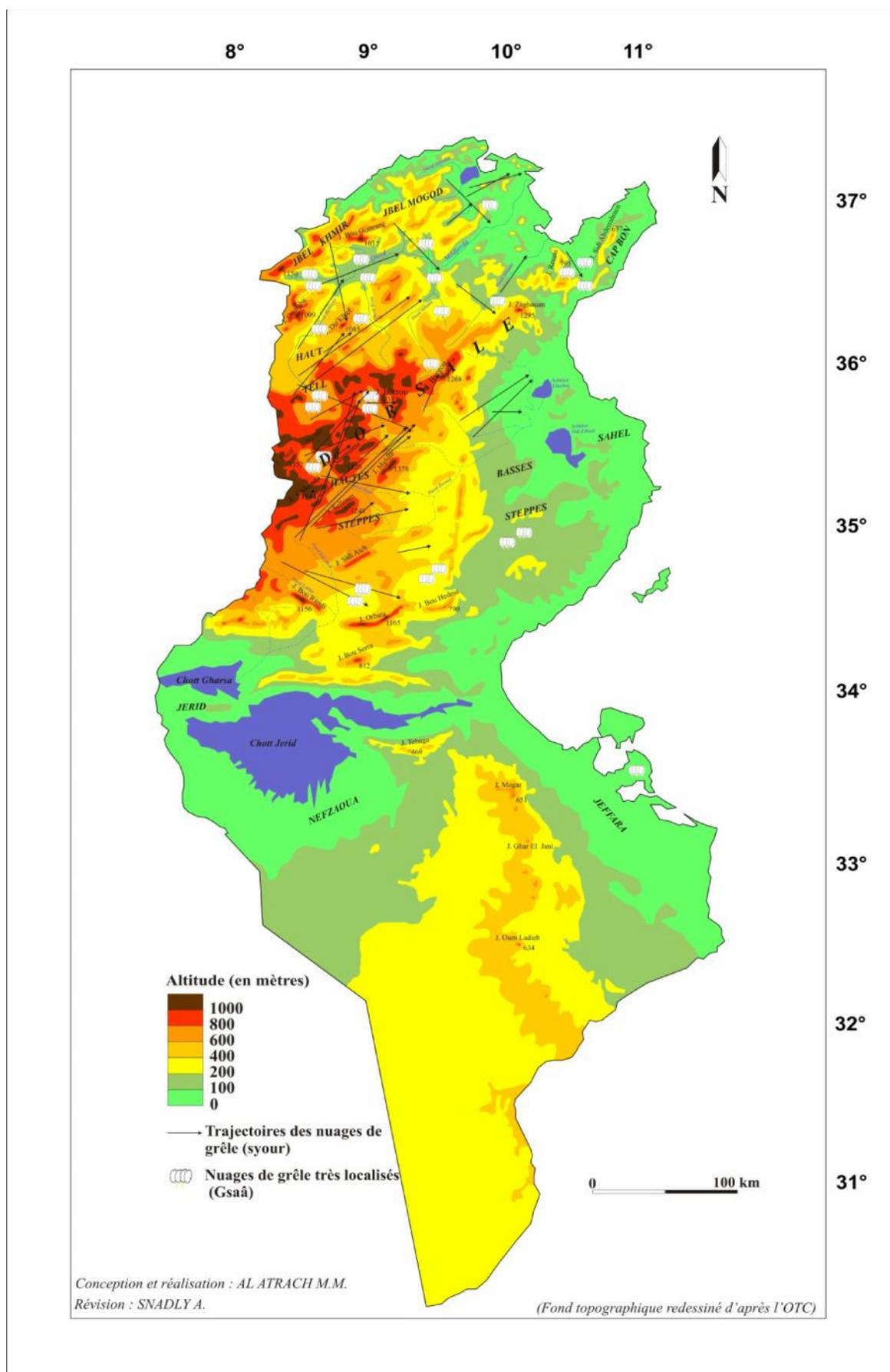


Figure 55. Trajectoires des orages de grêle et relief en Tunisie.



Photo 17. Trajectoires classiques des orages de grêle dans la région de Kasserine dans les Hautes Steppes tunisiennes (Cliché : AL ATRACH M.M. ; juillet 2007).

Un peu plus au Sud, dans la région de Gafsa (tableau 15, n° 29 et 30 du chapitre 3), les trajectoires des nuages de grêle enregistrées dans les archives du Commissariat Régional pour le Développement Agricole de Gafsa, s'acheminent Nord-ouest/Sud-est et demeurent, *a priori*, sur le même étirement des principaux reliefs de cette région, en l'occurrence les deux chaînes montagneuses de Bou Ramli-Ben Younes et d'Orbata (figure 55).

Cependant, il se peut que des averses très bien localisées soient déclenchées par une situation d'abri dans les bassins versants ou mécaniquement par une aspérité topographique. Ce phénomène doit être fréquent pour qu'il puisse être statistiquement significatif. En Tunisie, seuls les reliefs de la région des Hautes Steppes au Centre-ouest, semblent présenter quelques affinités claires avec les dispositions topographiques. A titre d'exemple, le 20 juillet 1999, une averse de grêle d'un orage autochtone a eu lieu dans le bassin versant de Foussana (Centre-ouest tunisien). 316 hectares de cultures diverses dont 220 hectares d'oliviers ont été quasiment ravagés et 60 agriculteurs ont été touchés. Aussi, à la date du 06 juin 2000, un orage de grêle du même type a attaqué le bassin versant de Thala-Hidra également au Centre-ouest du pays. 617 agriculteurs ont été touchés et plus de 1000 hectares de cultures et d'arbres fruitiers ont été endommagés de 80 à 100%<sup>35</sup>.

<sup>35</sup> D'après les archives du Commissariat Régional pour le Développement Agricole de Kasserine.

## 4.2. L'exposition aux flux grêligènes

### 4.2.1. Les versants sous le vent : cas de la région de Gafsa au Sud-ouest

Avec des flux du Nord-ouest, ce sont les flans Nord et Nord-ouest des plis qui subiront le plus d'effet des chutes de grêle, et l'inverse se produit dans les flancs Sud et Sud-est quand les masses d'air orageuses changent de direction. Dans ce cas, le relief de la région de Gafsa au Sud-ouest tunisien donne un bon exemple pour l'étude du phénomène d'exposition aux chutes de grêle. A chaque fois que les vents grêligènes viennent du Nord-ouest, comme s'était le cas les 18 mai 2000, 02 juin 2007 et 19 septembre 2007, les flancs Nord de la chaîne montagneuse de Bou Ramli-Ben Younes et Nord-ouest de celle d'Orbata semblent les plus sujettes aux effets des chutes de grêle. Les lignes de crête de ces deux chaînes montagneuses se trouvent perpendiculaires ou croisent les flux porteurs d'orage en altitude (figure 56). A partir des archives du Commissariat Régional pour le Développement Agricole de Gafsa, les traces de ces trois chutes de grêle ont été observées d'abord à Om Lagsab, à Sidi Boubaker, à Sidi Aich et Ouled Omrane situés tous le long du flanc Nord de la chaîne montagneuse de Bou Ramli-Ben Younes, puis également à Gafsa nord et Sned sur le flanc Nord-ouest de la chaîne d'Orbata.

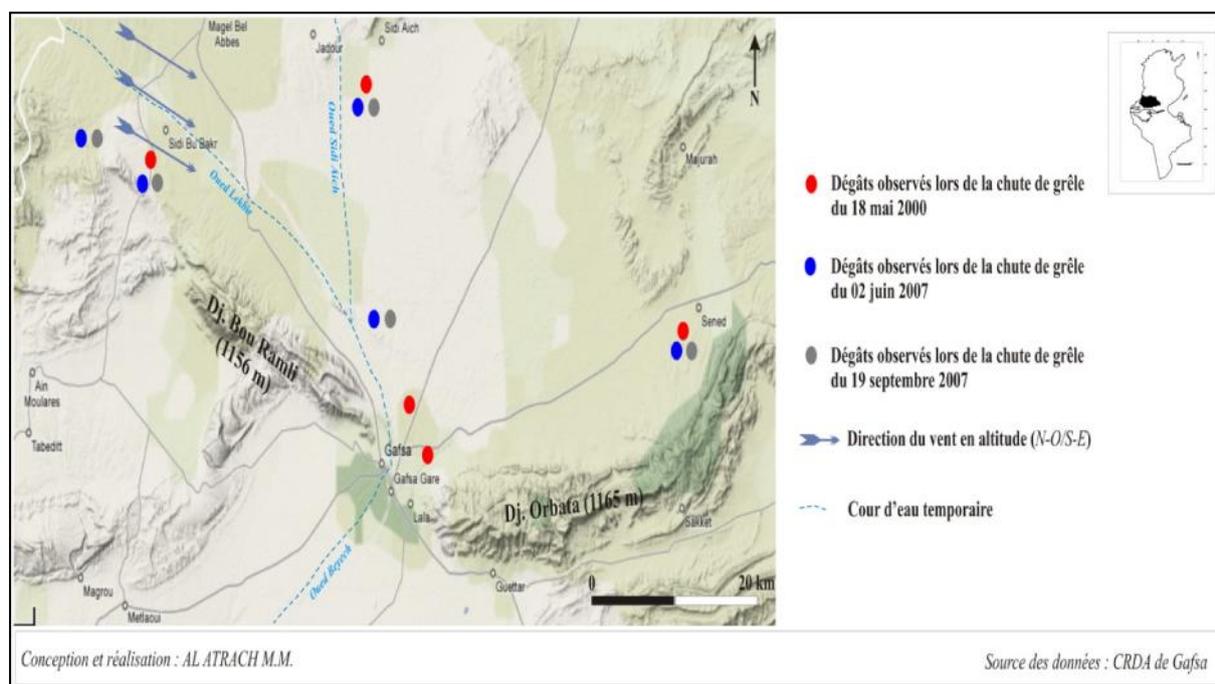


Figure 56. Grêle et relief dans la région de Gafsa (Sud-ouest de la Tunisie).

D'un point de vue météorologique, pour expliquer cette nette augmentation des chutes de grêle sur les versants exposés au Nord et au Nord-ouest (sous le vent), les marais

barométriques qui accompagnent les situations orageuses sont propices à l'expression des vents locaux. En altitude, les vents proviennent généralement du secteur nord-ouest. Les versants méridionaux des deux chaînes montagneuses de Bou Ramli-Ben Younes et d'Orbata bénéficient d'un bon ensoleillement matinal. Les brises de versants y développent l'ascendance. Cette instabilité est renforcée par le tirage des vents d'altitude.

Par ailleurs, l'étude du phénomène d'exposition (BENBOUBAKER H., 2000 et GAMMAR A.M., en 2009)<sup>36</sup> aux flux grêligènes très délicate, dispose de plusieurs moyens et paramètres, en l'occurrence les mesures grêlimétriques. Ainsi, l'installation d'un bon réseau grêlimétrique permet de suivre l'énergie moyenne des grêlons d'où leurs intensités sur le sol. En Tunisie, ces grêlimètres sont, malheureusement, absents et semblent inconnus jusqu'à présent.

#### *4.2.2. L'exposition de la végétation aux chutes de grêle*

L'exposition de la végétation aux chutes de grêle contribue aussi à déterminer la direction des nuages porteurs de ces précipitations. On a coutume de distinguer les faces exposée et opposée de la végétation aux flux grêligènes. La trace des grêles du 21 juillet 2010 sur les pommiers de l'Oued Darb au gouvernorat de Kasserine (photos 18 et 19) révèle bien un acheminement nord-ouest/sud-est des nuages, direction préférentielle pour toute la région du centre-ouest tunisien. La photographie a été prise en mois de juillet à 8h30 du matin, heure à laquelle le soleil se décline au Sud-est sur l'ensemble de la Tunisie. La face ombragée du côté nord-ouest se trouve donc directement exposée aux effets des grêlons.

Dans le même gouvernorat de Kasserine mais dans la délégation de Sbeitla, on a enregistré, le 29 juillet 2010, une chute de particules de grêle qui ont attaqué les oliviers et surtout les cactus. La photographie de la trace de grêle sur les cactus (photo 20) prouve aussi une direction nord-ouest des nuages de grêle : en effet, la moitié droite est davantage exposée que la moitié gauche opposée du cactus, d'autre part l'allure des blessures est aussi un bon indicateur de l'angle de choc des grêlons.

---

<sup>36</sup> Dans l'étude de BENBOUBAKER H., l'auteur a évoqué l'influence du relief et de la topographie sur la pluviométrie en Tunisie et dans la contribution de GAMMAR A.M., l'auteur à étudier les topoclimats de la région d'Enfidha (Tunisie orientale).



**Photo 18.** Face opposée d'un pommier à la chute de grêle du 21 juillet 2010 à l'Oued Darb au gouvernorat de Kasserine au Centre-ouest (cliché : AL ATRACH M.M.).



**Photo 19.** Face exposée d'un pommier à la chute de grêle du 21 juillet 2010 à l'Oued Darb au gouvernorat de Kasserine au Centre-ouest (cliché : AL ATRACH M.M.).



**Photo 20. Trace de la grêle sur le Cactus : un bon indicateur de l'acheminement des nuages de grêle (grêle du 29/07/2010 à Sbeitla au gouvernorat de Kasserine au centre- de ouest ; cliché : AL ATRACH M.M.).**

#### **4.3. La région du Haut Tell et des Hautes Steppes tunisiennes : deux régions abritant les plus hauts sommets du territoire tunisien (l'effet de l'altitude)**

Le relief tunisien est modestement élevé en comparaison à celui du Maroc ou de l'Algérie. Dans le Haut Tell et les Hautes Steppes, les plus hautes régions de Tunisie, les altitudes ne dépassent pas 1600 m (jbel Châambi 1544 m, jbel Bireno 1491 m, jbel Mghila 1378 m, jbel Essif 1352 m, jbel Barbrou 1322 m, jbel Semmama 1320 m, jbel Bargou 1268 et jbel Selloum 1248). Elles s'orientent souvent sur un axe sud-ouest/nord-est et dessinent alors des flancs qui descendent vers le nord-ouest et vers le sud-est. Quand les vents d'altitude proviennent spécialement d'Ouest et du Sud-ouest, les orages s'étirent sur les mêmes directions et coïncident ainsi avec l'allure générale du relief des deux régions en question.

En règle générale, les archives ne gardent trace que des dommages et des dégâts mesurés par les stations d'enregistrement, c'est-à-dire sur les sols largement occupés par les activités humaines. Dans le cas de l'agriculture, cela concerne particulièrement les superficies ouvertes et étendues. Les données aux sommets de ces reliefs rarement occupés par l'homme, sont lacunaires pour confirmer l'effet acheminant de la topographie. Un suivi permanent du

phénomène serait utile. Or, étant donné la géographie des activités agricoles à cette altitude, et le caractère aléatoire et irrégulier du phénomène, une étude approfondie de la grêle s'avère peu nécessaire.

#### **4.4. L'évaporation dans les lacs collinaires renforce-t-elle les nuages de grêle ?**

Le climat tunisien se caractérise par des températures douces en hiver et fortes en été et par une pluviométrie modeste et très variable. Sur les 34 milliards de m<sup>3</sup> de précipitations qui arrosent la Tunisie, il ne reste que 4,2 milliards de m<sup>3</sup> d'eau douce disponible, le reste s'évapore (87,65%).

La politique hydraulique vise toujours à limiter au maximum les pertes et à valoriser le mieux possible le m<sup>3</sup> d'eau pour le porter à un rendement optimum. Cette politique a consisté à mobiliser les ressources en eau grâce aux grands barrages, aux barrages et lacs collinaires, aux ouvrages de dérivation et d'épandage de crues et grâce aux travaux de conservation des eaux et des sols. Ainsi on compte aujourd'hui, en Tunisie, environ 30 grands barrages, 190 barrages collinaires et près de 720 lacs collinaires, auxquels vont s'ajouter d'autres ouvrages en cours d'étude ou de réalisation. Situés entre les reliefs montagneux, des djebels et de vastes plaines alluviales, ces lacs collinaires sont des retenues d'eau pouvant mettre à la disposition des bénéficiaires quelques dizaines à plusieurs centaines de milliers de m<sup>3</sup> d'eau recueillis sur des bassins versants de quelques hectares à quelques km<sup>2</sup> de superficie. Par ailleurs, les théories proposées par certains experts de la CTAMA mentionnent la répartition spatiale des ces retenues d'eau comme représentant des foyers pour la réactivation du phénomène de l'évaporation. Dans les barrages et les lacs collinaires, ce phénomène d'évaporation participerait à l'alimentation et au renforcement de la teneur des nuages de grêle en air humide, en particulier en été (CHANGNON S.A., 1966). Cela permettrait d'expliquer l'originalité des orages d'été, les dimensions assez importantes de leurs grêlons, et par conséquent les dégâts perçus.

S'il est vrai que l'évaporation constitue un processus de réduction du potentiel hydrique mobilisé et un paramètre climatique intervenant fortement dans le cycle hydrologique, c'est également un élément insuffisamment mesuré et son étude reste délicate. La mesure de l'évaporation se fait, en effet, par différents types de matériel et se calcule selon plusieurs formules (méthodes empiriques ou méthodes analytiques). En outre, l'étude de l'évaporation dépend de plusieurs facteurs climatiques (la température de l'air, la radiation solaire,

l'humidité de l'air, la vitesse des vents...) et, elle peut intervenir également dans le calcul d'autres paramètres climatiques tel que l'évapotranspiration potentielle. Un réseau assez dense de mesure de l'évaporation a été mis en place sur certains lacs collinaires de la Tunisie centrale, et fonctionne depuis quelques années déjà. Une Banque de données d'évaporation quotidienne, mensuelle et annuelle s'est constituée. Sur 22 lacs collinaires équipés de bacs d'évaporation, 15 possèdent 5 à 7 années d'observations. Il nous faudra donc attendre les résultats proposés par les prochaines études afin d'évaluer les pertes par évaporation et de dégager leur impact sur les bilans hydriques des lacs collinaires<sup>37</sup>.

#### **4.5. Des fossés d'effondrement constituent des zones propices au développement de l'arboriculture (originalité du Haut Tell et des Hautes Steppes)**

En parcourant les régions du Haut Tell et des Hautes Steppes, on distingue une originalité du relief par rapport aux régions environnantes. Du point de vue structural, le Haut Tell et les Hautes Steppes appartiennent à la Tunisie atlasique, caractérisée par la présence d'axes anticlinaux, entourant des cuvettes synclinales plus ou moins larges, alignés Sud-ouest/Nord-est. Les plis sont souvent faillés (failles directionnelles), et dissymétriques, donnant ainsi des flancs nord-ouest en pente douce, et des flancs sud-est abrupts. Ces régions abritent les plus hauts sommets de la Tunisie (Chaâmbi, Selloum, Semmama, Bireno, Barbrou et Mghila). Certaines cuvettes synclinales se présentent sous forme de fossés d'effondrement, comme ceux de Sbiba-Rouhia, de Foussana et de Kasserine. Leur remplissage tertiaire et quaternaire, drainés par les principaux oueds<sup>38</sup> de la région, peut atteindre plusieurs centaines de mètres, faisant d'eux des zones propices au développement de l'arboriculture. Les grands traits morpho-structuraux résumés ici expliquent en partie la vulnérabilité naturelle, face à l'aléa grêle, des deux régions en question. De plus, elles étaient restées dominées par l'activité pastorale, dans le cadre d'une société tribale semi-nomade, jusqu'au début du XX<sup>e</sup> siècle. La sédentarisation s'est accélérée depuis lors, parallèlement aux plantations arboricoles sur les anciennes terres collectives, affirmant ainsi le mode de vie paysan.

---

<sup>37</sup> BENZARTI Z. et HENIA L. "Climat et gestion des eaux de surface en Tunisie : influence de l'évaporation sur le stock d'eau des lacs collinaires" (Résumé), Climat et environnement. Aussi, et pour les mêmes auteurs, l'ouvrage cité sur la page officielle de l'Office National des Mines (ONM) : "L'évaporation dans les lacs collinaires", élaborée par en 2001.

<sup>38</sup> Ceux des oueds Mellègue, Tessa, Siliana et Méliène qui confluent à la vallée de la Medjerda au nord du pays, ceux du Zeroud et Htab qui convergent vers l'est du pays pour alimenter les Basses Steppes tunisiennes, et ceux des oueds Sidi Aich et Lekbir au sud qui ont pour exutoire principal le seuil de Gafsa.

Les superficies d'arboriculture dans les principaux gouvernorats qui constituent le Haut Tell et les Hautes Steppes (le Kef, Siliana, Kasserine et Gafsa) couvrent 304 180 hectares<sup>39</sup>, soit environ 14% de la superficie arboricole totale de toute la Tunisie. A Kasserine, sur une surface totale de 783 000 hectares, les plantations arboricoles couvraient 52 000 hectares en 1981 et environ 305 840 hectares aujourd'hui (2005/2006). En outre, si le micro-climat des secteurs comme Sbiba-Rouhia, Foussana a permis le développement de cultures délicates comme les pommiers ou poiriers, celles-ci restent toutefois parmi les plus vulnérables à l'aléa-grêle.

### Conclusion

L'intensité des grêlons ne s'aperçoit qu'a posteriori. La trace de la grêle au sol après la chute nous permet de savoir si un orage était intense ou non. Par ailleurs, avant la chute des grêlons, nous n'avons pas jusqu'à présent la possibilité de savoir si un orage va engendrer de la grêle.

Le traçage des trajets des nuages de grêle en Tunisie a montré que les régions les plus continentales et les plus élevées sont les passages privilégiés de ces nuages. Ceci a longtemps laissé croire que les orages de grêle en Tunisie se rechargeaient en certains lieux, et profitaient du franchissement d'une vallée ou d'une crête pour se régénérer ou au contraire s'essoufflaient après le passage d'une étendue d'eau (lac collinaire). Il faut être cependant, extrêmement prudent sur les interrelations sol-atmosphère en matière d'orage et spécialement pour les orages de grêle ; une étude sérieuse portant sur un échantillon d'orages assez grand et sur des échelles spatiales moins fines (CARREGA P. 2003)<sup>40</sup>, par exemple l'étude des chutes et des dégâts de grêle dans les sommets des jbel, nous permettrait d'établir plus de conclusions sur ces interrelations.

Néanmoins, il ne faut pas ignorer totalement l'effet du relief (CARREGA P., 2008). Il influe notamment sur le phénomène d'exposition aux flux grêligènes, comme le montre le cas des hauts reliefs de la région de Gafsa dans le Sud-ouest tunisien. Les trois chutes de grêle des 18/05/2000, 02/06/2007 et 19/09/2007 ont causé le plus de dégâts sur les flancs nord et nord-

---

<sup>39</sup> Campagne agricole 2005/2006.

<sup>40</sup> "La distribution spatiale des précipitations ou de la grêle obéit à des échelles moins fines, bien que du domaine de la topoclimatologie... Il apparaît que c'est en définitive surtout l'échelle de la morphométrie du relief (forme et taille des vallées par exemple) qui guide l'échelle de la climatologie...".

ouest des deux chaînes montagneuses de Bou Ramli-Ben Younes et d'Orbata. Ces flancs se trouvent directement exposés aux flux grêligènes provenant du Nord-ouest.

## **Conclusion de la première partie**

Pendant la saison novembre-mars, la période d'hiver, les régions les plus exposées aux chutes de grêle (plutôt aux chutes des particules de grésil) sont par ordre d'importance les régions 1 (les extrêmes nord-ouest), 2 (les bassins versants de la haute vallée de la Medjerda) et 3 (les extrêmes nord-est). Au cours de la période d'été, du mois du mai au mois de septembre, la situation change et c'est la région 4 (la région du Haut Tell et notamment celle de Hautes Steppes au Centre-ouest du pays) qui se trouve la plus exposée aux chutes de grêle généralement de plus de 5 millimètres de diamètres. Les deux mois d'avril et d'octobre semblent deux mois de transition entre l'hiver et l'été au cours des quels les chutes de grêle intéressent presque toutes les régions des deux saisons précédentes.

### **La grêle dans les régions tunisiennes (figure 57)**

- *Les extrêmes Nord-ouest et la haute vallée de la Medjerda* : la région la plus grêlée pendant toute l'année notamment du mois de novembre au mois de mars, la période humide de l'année. La fréquence annuelle y est forte (8 jours). Les différences internes s'expriment par un fort gradient vers le Nord entre un cœur grêlifère sur les hauts reliefs (à Ain Drahem et Bni Mtir) et les côtes méditerranéennes (Tabarka), et un autre moins fort vers le Sud qui se prolonge jusqu'à la haute vallée de la Medjerda.

Ces extrêmes nord-ouest du pays doivent, généralement, leurs grêlimes à sa situation latitudinale qui les expose fréquemment aux flux Nord-ouest et Ouest/Nord-ouest en hiver et aussi à la configuration topographique régionale.

- *Les extrêmes Nord-est* : On désigne bien les deux extrêmes en pointes du Golfe de Tunis (Ghar El Melh et El Haouaria). C'est une région moins élevée et moins grêlée que la région précédente, mais elle se trouve le plus souvent influencée par les mêmes flux grêligènes d'hiver surtout qui proviennent du Nord-ouest. La fréquence moyenne de jours de grêle atteint 3 jours.

- *Le Haut Tell* : Le Haut Tell doit son importance en matière de jours de grêle sur une échelle plus détaillée. Le long toute l'année, c'est le printemps qui est la saison la plus grêlifère. Il nous annonce de la précocité des chutes de grêle de toute la période chaude de

l'année et du déplacement des cœurs de grêle du Nord du pays vers la partie du Centre. La fréquence moyenne de jours de grêle est de 2 jours.

- **Le Centre-ouest (les Hautes Steppes tunisiennes)** : Beaucoup moins grêlée par rapport aux extrêmes septentrionales du pays, le Centre-ouest semble la région la plus affectée par les chutes de grêle d'été (2 jours). L'importance de cette région en matière de jours de grêle se voit essentiellement du mois de mai au mois du septembre. Les flux porteurs de grêle proviennent d'Ouest, du Nord-ouest et du Sud-ouest.

Les paramètres locaux spécifiques à cette partie de la Tunisie, en l'occurrence la topographie, l'altitude, l'allure des reliefs et l'exposition, ont donné, à la présence de la grêle, une originalité impressionnante mais aussi très délicate pour son étude.

**Le Centre-est (le sahel)** : C'est l'autre partie de la région du centre. Le phénomène de la grêle n'est pas fréquent comme au Centre-ouest. Cependant, à l'échelle annuelle, un petit cœur de grêle se localise dans la région du Sahel juste autour de la station de Sousse. La fréquence moyenne y est à peine de 1 jour.

**Le Sud** : C'est la partie qui se trouve, généralement, en dessous du 34<sup>ème</sup> parallèle. Le phénomène de la grêle y est rare à totalement absent. Cette faible fréquence s'explique en premier lieu par la rareté des flux pour-voyageurs de nuages de grêle. Aussi, par la proximité au Sahara où les températures peuvent atteindre des moyennes de 40°C et limitent par conséquent l'activité orageuse.

\* \* \*

La géographie des chutes de grêle n'est qu'une géographie du risque potentiel. Cependant, ce phénomène ne constitue pas un risque majeur sur les hauts reliefs des extrêmes nord-ouest du pays bien que la probabilité de chute y soit presque aussi forte que dans la région des Hautes Steppes au Centre-ouest par exemple. Il n'y a risque que lorsqu'il y a vulnérabilité et enjeu socio-économique.

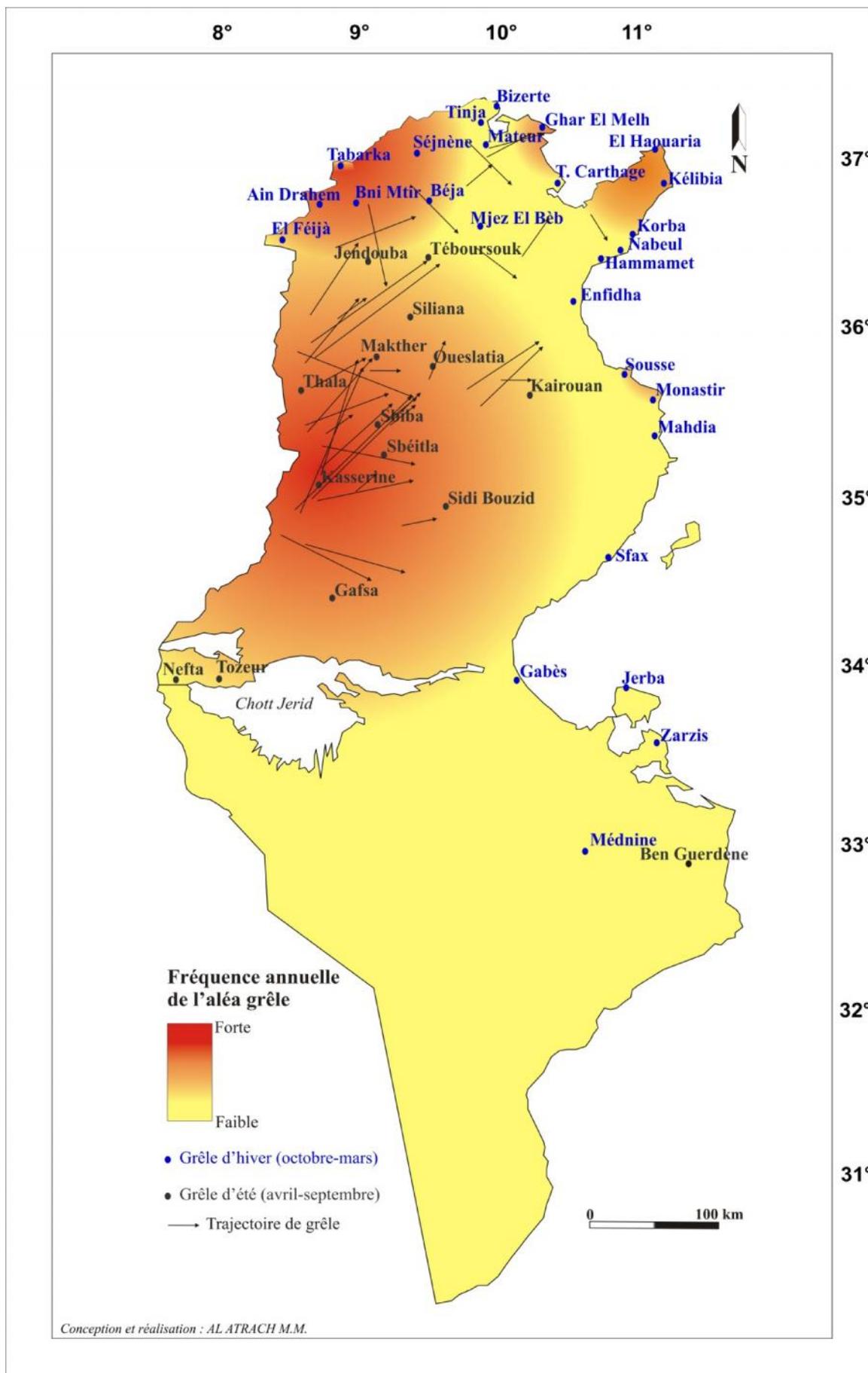


Figure 57. Géographie des chutes de grêle en Tunisie.



**DEUXIEME PARTIE : CHUTES DE GRÊLE ET AGRICULTURE EN  
TUNISIE : VULNÉRABILITÉS AGRICOLES ET DÉGÂTS DE GRÊLE**



## **Introduction de la deuxième partie**

L'agriculture est toujours en évolution. Au cours du temps, on est passé d'une agriculture de subsistance à une agriculture à forte productivité et destinée le plus souvent à la vente vers les marchés urbains ou/et à l'exportation. Afin de sécuriser la production et de garantir les revenus des agriculteurs souvent endettés, la lutte contre les aléas liés au climat s'est renforcée. C'est le cas avec la sécheresse avec des systèmes de plus en plus performant d'irrigation. Il en va de même pour la grêle au moins sur les cultures les plus vulnérables.

La grêle menace différents secteurs d'importance, notamment l'agriculture. Cette dernière n'a cessé de changer dans sa nature et sa vulnérabilité : on parle alors des enjeux. Ils se déterminent sur une échelle de sensibilité aux chutes de grêle pour chaque type de culture : "de quoi dépend le seuil de résistance des végétaux aux grêlons ? ". Cependant, ce seuil se trouve difficile à établir car l'aspect du végétal change d'un stade végétatif à un autre. En tenant compte de plusieurs paramètres, en particulier les dégâts directs et indirects des chutes de grêle, on peut classer les végétaux en fonction de leurs sensibilités à la grêle.

Dans cette deuxième partie et, après avoir établi une hiérarchie des cultures en fonction de leur vulnérabilité (chapitre 4), nous consacrerons un chapitre à l'étude de la sinistralité-grêle grâce à laquelle nous dresserons la géographie des cultures à risque dans les différentes régions de la Tunisie (chapitre 5). Puis, dans le chapitre 6, nous prendrons les cas des chutes de grêle des 02 et 10 mai 2002 comme exemple pour l'étude des dégâts et des enjeux du phénomène de la grêle sur l'agriculture tunisienne.



## Chapitre 4. Vulnérabilité des cultures face à l'aléa grêle en Tunisie

### Introduction

La vulnérabilité des cultures face à l'aléa grêle se définit selon un seuil de résistance de chaque type de culture face aux grêlons. On parle de la sensibilité physiologique de la plante. Pratiquement, ce seuil de sensibilité n'est pas aisé à déterminer vue l'aspect de la plante qui évolue au cours de l'année. Les experts d'assurance-grêle, après leurs estimations des dégâts de grêle, ont la possibilité de classer les cultures en fonction de leur sensibilité à la grêle. Ce ci permet de faire les cotisations nécessaires en cas de dégâts de grêle.

Ce chapitre a pour objectif l'étude des différents aspects de la vulnérabilité agricole face à l'aléa grêle en distinguant deux types de vulnérabilité : la vulnérabilité conjoncturelle déterminant l'état de la plante au moment de la chute de grêle (date du sinistre, état de la plante, pratiques culturales,...etc.) et la vulnérabilité structurelle liée aux caractéristiques de la culture elle-même (sensibilité physiologique de la plante, destination du produit,...etc.). L'exposition des cultures aux chutes de grêle est déterminée par la coïncidence spatio-temporelle entre l'aléa et les enjeux (cultures vulnérables).

### 1. Vulnérabilité conjoncturelle des cultures

La vulnérabilité conjoncturelle face à l'aléa de la grêle dépend des circonstances et de l'état de la culture au moment des précipitations. Cette vulnérabilité n'est pas prévisible : elle est déterminée *a posteriori* pendant la constatation des dégâts. Elle ne peut pas être prise en compte par l'assurance en début de saison, en revanche l'expert devra tenir compte de plusieurs paramètres, variables d'une année à l'autre, lors de son constat des dégâts.

Les dégâts peuvent donc varier conjoncturellement en fonction de la *date* de la chute de grêle, de *l'état* de la plante au moment où il grêle, *des pratiques culturelles* ainsi que *du contexte climatique* de l'année.

#### 1.1. La date du sinistre

La vulnérabilité des végétaux augmente d'autant plus qu'on se rapproche de la récolte. Une chute de grêle en début de saison peut s'avérer bénigne puisque la végétation

peut subsister et se régénérer. Cette situation a été observée le 02 juin 2007 à Guettis (gouvernorat de Gafsa au Sud-ouest). Un orage de grêle entre 16h45 et 17h30 (heure locale) a touché une parcelle de vigne qui a été défoliée (photo 21).



*Photo 21. Dégâts de la chute de grêle du 02/06/2007 sur les vignes de la commune de Guettis à Gafsa (cliché : CRDA de Gafsa).*

Après quelques mois, les informations données par l'exploitant sur cette parcelle ont confirmé une nouvelle réaction des pieds de vigne à la défoliation. Les vignobles se mettaient de nouveau en végétation en portant de nombreuses grappes vertes au stade de fermeture. Quelques mois plus tard, ces vignes avaient fructifié avec un nombre de grappes cependant, nettement inférieur à celui de l'année précédente.

D'une manière générale, établir des règles sur les rapports entre date du sinistre et taux de perte reste toujours difficile car chaque chute de grêle semble unique et que les éléments intervenant dans la vulnérabilité conjoncturelle de la culture sont très nombreux.

### **1.2. L'état de la plante**

Meilleure est la santé de la plante au moment de la chute de grêle, mieux elle résiste aux effets des grêlons. Les capacités de cette résistance peuvent être atténuées en présence des maladies cryptogamiques.

Le contexte climatique ainsi que les soins qui peuvent être prodigués par l'agriculteur avant la chute de grêle interviennent pour conditionner l'état de la plante, et donc sa résistance

à la grêle. Un contexte de sécheresse ou de gel tardif fragilise la plante, retarde son développement, et la rend plus vulnérable. C'est le contexte climatique qui influence, après la chute de grêle, les capacités de la plante à se régénérer, bien que celles-ci dépendent aussi de la date de la chute de grêle et du type de plante.

La récupération physiologique de la plante après une chute de grêle dépend beaucoup de l'existence de conditions agroclimatiques optimales. Prenons par exemple le cas des vignes, un temps chaud et sec va permettre un nouveau départ de la végétation, par contre une trop forte humidité va favoriser l'apparition et le développement de maladies.

### ***1.3. Les pratiques culturales***

Plus une plante est directement exposée aux chutes de grêle, plus elle va subir les effets dévastateurs des grêlons. Les pratiques culturales vont donc intervenir pour aggraver ou minoriser les conséquences. Les cépages tardifs des raisins dans la région du Cap Bon au Nord-est, prolongent la période d'exposition de ce type de culture en pleine période des mois les plus grêlifères (jusqu'aux mois de novembre et décembre). La taille des plantes peut déterminer aussi une plus ou moins grande résistance à la grêle. Une taille recouvrante favorisera le maximum de protection des fruits par le feuillage ; en revanche, une taille sévère et « ouverte »<sup>41</sup> laisse les fruits sans protection et les dégâts seront profondément amplifiés.

D'une manière générale, les nouvelles méthodes culturales pratiquées suite à la tendance actuelle à l'augmentation des rendements (Comme le forçage hydrique qui fragilise les plantes en baissant la résistance de leurs tissus) augmentent les risques de pertes économiques en cas de grêle.

## **2. Vulnérabilité structurelle des cultures**

La vulnérabilité structurelle de la culture est directement liée à sa nature. Elle est connue et reportée sur une échelle de sensibilité qui nous permet de comparer les cultures les unes aux autres.

---

<sup>41</sup> Une taille ouverte est de plus en plus pratiquée car elle facilite la maturation. En outre, la nécessité d'obtenir une bonne coloration des fruits oblige à les exposer au soleil et à limiter l'extension du feuillage protecteur.

Ce niveau de vulnérabilité dépend de plusieurs éléments comme la constitution physiologique de la culture ou son usage après récolte (figure 58). Elle est quantifiée et prise en compte dans les contrats d'assurance-grêle.

### **2.1. Sensibilité physiologique de la plante**

Cette sensibilité est liée à la constitution physiologique de la plante et à son degré de fragilité. Le blé, par exemple, demeure physiologiquement une plante moins sensible aux chutes de grêle que le raisin. L'épi du blé est souple, il plie mais ne rompt pas et amortit les chocs des grêlons. En outre, le blé est moins sensible, car les grains bien couverts, sont donc bien protégés et, étant plus ou moins durs, ils ne se perdent pas s'ils sont délogés des épis. Néanmoins, seules de petites pertes de rendement induites par la défoliation peuvent être enregistrées.

La sensibilité des raisins se trouve, par ailleurs, toujours plus forte car les fruits sont beaucoup plus tendres et moins protégés que les grains de blé (figure 58). De plus, un grain de raisin affecté causera rapidement la pourriture de l'ensemble de la grappe (maladie de l'Esca).

### **2.2. La destination du produit**

Les produits destinés à être consommés frais (fruits, légumes) sont plus vulnérables que les produits transformés avant consommation. Ces derniers comme les raisins, les agrumes et d'autres fruits (pommes, poires, pêches...etc.) peuvent tolérer quelques meurtrissures qui passent inaperçues après la transformation en vins, jus ou confitures.

Par ailleurs, la destination des produits détermine en partie s'ils sont assurés pour la perte liée à la quantité ou à la qualité. D'une manière générale, les assureurs classent les cultures en fonction de leur vulnérabilité à la grêle. Ce classement permet, ensuite, d'établir les tarifs des cotisations d'assurance que leur verseront les agriculteurs.

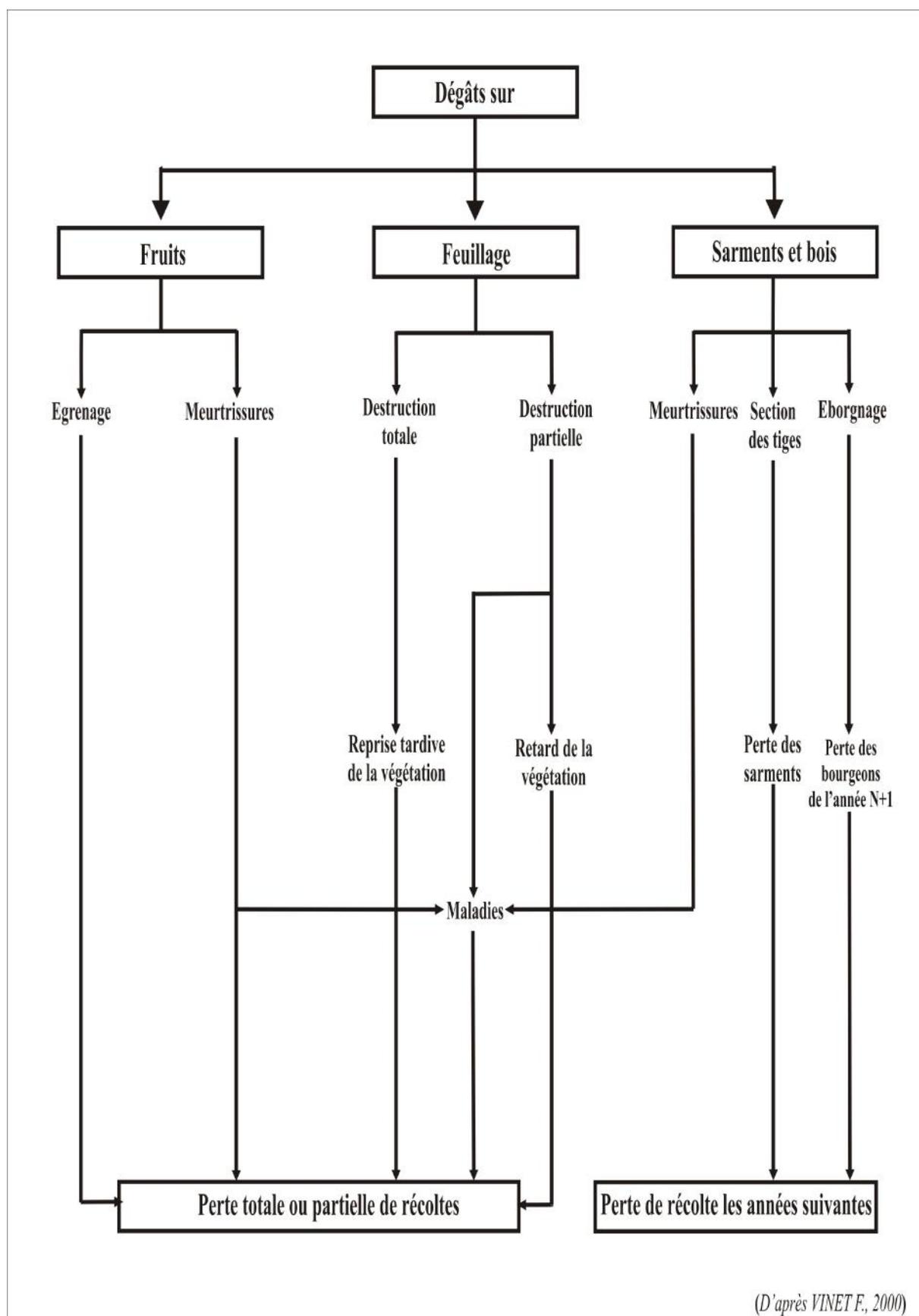


Figure 58. Les dégâts de la chute de grêle sur la vigne.

### 3. L'exposition des cultures aux chutes de grêle

L'exposition des cultures au risque-grêle s'étudie sur les dimensions temporelle et spatiale. D'abord, l'exposition temporelle se détermine par le temps nécessaire à la maturation de la récolte. La période prise en compte par les assureurs commence généralement de la formation du fruit jusqu'à sa récolte. Néanmoins, les dégâts peuvent intervenir avant la floraison. Concernant l'exposition géographique, elle est déterminée par le lieu des cultures : pour une même culture le risque de grêle est plus fort dans une région que dans une autre.

#### 3.1. Durée d'exposition des cultures aux chutes de grêle : début de la période à risque et calendrier de maturation des cultures

Si la fin de la durée d'exposition des cultures aux chutes de grêle se détermine facilement grâce aux récoltes, il paraît, par ailleurs, difficile de déterminer le début de cette période à risque. Le végétal est théoriquement sensible dès sa sortie de terre ou bien, pour les cultures pérennes, dès l'apparition du premier bourgeon. Cependant, une chute de grêle aux premiers stades de la végétation ne veut pas dire que les récoltes seront amputées. Il faut tenir compte des facultés de récupération et de repousse de la plante. Des chutes de grêle au mois d'avril par exemple, demeurent rarement dommageables pour les vignes car elles peuvent reprendre et arriver à maturité avant l'automne.

Par ailleurs, on peut estimer la période des chutes de grêle dommageable en Tunisie à partir des dates limites de souscription de l'assurance-grêle pour les principales cultures pratiquées<sup>42</sup>. Dans le cas des pruniers et des amandiers, ceci débute généralement en mars, et pour le reste des autres cultures arboricoles (pommiers, pêchers, poiriers, cerisiers et abricotiers) en avril. C'est avec le stade végétal de fructification des plantes, vers la fin du printemps (avril mai), que l'on peut parler du début de la période à risque-grêle.

Comme la Tunisie est un pays méditerranéen, le risque-grêle s'étend de la fin du printemps (en avril et en mai) sur toute la période estivale allant de juin à septembre (tableau 16). Ceci est évident dans la mesure où la végétation est en pleine maturation et se prépare peu à peu à la récolte.

---

<sup>42</sup> Voir tableau 8 ; chapitre 2.

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
<b>Céréaliculture (Blé et Orge)</b>												
<b>Agrume</b>												
<b>Abricot</b>												
<b>Amande verte</b>												
<b>Cerise</b>												
<b>Nectarine / Pêche</b>												
<b>Prune</b>												
<b>Pomme / Poire</b>												
<b>Nèfle</b>												
<b>Grenade</b>												
<b>Raisin de table</b>												
<b>Datte</b>												
<b>Fraise</b>												
<b>Pastèque</b>												
<b>Melon</b>												
<b>Olives</b>												

Tableau 16. Calendrier des périodes de maturation des céréales et des fruits en Tunisie (variétés précoces et tardives).

(Source des données : Ministère de l'Agriculture / DGPA).

Le temps d'exposition dépend du type de culture, et pour une même culture, de la variété et de la région de culture. Selon son type, plus une culture reste longtemps sur pied, plus elle risque d'être touchée par la grêle. Les nèfles et les cerises, récoltées respectivement en avril et en juin, sont beaucoup moins exposées à la grêle dommageable que les pommes et les poires ramassées, elles, en septembre et parfois en octobre. Le même cas s'observe mieux encore pour les raisins qui demeurent plus exposées à la grêle (jusqu'au mois de novembre en particulier dans la région du Cap Bon au Nord-ouest pour les cépages tardifs). Les dattiers, cultivés souvent dans le Sud tunisien et récoltés généralement entre octobre et janvier (selon la variété), sont par ailleurs trop éloignés pour souffrir de la grêle dommageable.

Pour une même culture, le risque-grêle se manifeste différemment selon les variétés (tableau 17). Les variétés estivales des poiriers, généralement prêtes à être récoltées en fin juillet et au mois d'août comme *Meski bougudma*, *Moknine* et *Wilder*, sont moins exposées aux chutes de grêle d'été d'un ou de deux mois par rapport à celles d'automne généralement récoltées au mois de septembre (*Packam's Triumph*) ou au mois d'octobre (*Alexandrine Douillard* et *Passe Crassane*). On fait le même constat pour les pommiers où les variétés locales (*Aziza*, *Zina* et *Chahla* récoltées généralement en mois de juillet) qui se trouvent exposées trois mois de moins aux chutes de grêle d'été par rapport à celles importées, (*Golden Delicious*, *Ricahred*, *Red Chif* et *Berl Berg*) qui, elles, restent sur pieds parfois jusqu'à octobre.

En outre, pour le même type de culture, le risque-grêle s'avère parfois plus fort dans certaines régions que dans d'autres. C'est ainsi que les poiriers de la région du Centre-ouest tunisien subissent davantage les effets des chutes de grêle dommageables que celles de la région du Nord-est (figures 80 et 81 ci-après). Le risque-grêle est donc lié à la géographie de ce type de culture autant qu'à la géographie des chutes de grêle.

### **3.2. Répartition géographique des cultures à risque**

En Tunisie, l'agriculture demeure le secteur économique le plus important et le plus sensible. La variété des milieux naturels et des traditions culturelles très anciennes explique sans doute la diversité des cultures rencontrées sur le sol tunisien. Certes, la géographie du risque-grêle dépend beaucoup de la géographie des chutes de grêle, mais la répartition des cultures en Tunisie détermine aussi, pour une bonne part, l'exposition au risque-grêle.

Cultures	Variétés	Durée d'exposition aux chutes de grêle							Régions
		avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	
Poiriers	<i>Meski bougumda</i>			→					Les régions côtières et les basses steppes
	<i>Moknine</i>					→			Les régions côtières
	<i>Wilder</i>					→			La région du nord avec ses côtes et le haut tell
	<i>Santa Maria</i>					→			Les côtes du Nord et du Centre et le haut tell
	<i>Packam's Triumph</i>						→		Les côtes du Nord et le haut tell
	<i>Williams</i>					→			Le haut tell
	<i>Alexandrine Douillard</i>							→	La région du nord
	<i>Passe Crassane</i>							→	La région du nord
	<i>Dr Jules Guyot</i>						→		Les côtes du Nord et le haut tell
Pommiers	<i>Aziza</i>				→				Les régions côtières et les basses steppes
	<i>Zina</i>				→				Les régions côtières et les basses steppes
	<i>Chahla</i>				→				Les régions côtières et les basses steppes
	<i>Golden Delicious</i>							→	La région du nord, le haut tell et les hautes steppes
	<i>Richared</i>							→	La région du nord, le haut tell et les hautes steppes
	<i>Red Chif</i>							→	La région du nord, le haut tell et les hautes steppes
	<i>Berl Berg</i>							→	La région du nord, le haut tell et les hautes steppes

Tableau 17. Durée d'exposition des variétés des poiriers et des pommiers aux chutes de grêle (source des données : Ministère de l'Agriculture/DGPA).

### 3.2.1. La céréaliculture

La céréaliculture occupe une superficie importante de 1 600 740 hectares pour l'année agricole 2005/2006<sup>43</sup>, soit 36,04% des terres agricoles de Tunisie. Les superficies labourées pour le blé et l'orge, principales cultures céréalières, s'étendent à elles seules sur 1 585 250 hectares. A l'échelle régionale, cette culture est plus importante dans le Nord-ouest et le Centre-ouest du pays et le gouvernorat de Kef se trouve toujours en tête avec plus de 210 000 hectares (figure 59).

<sup>43</sup> D'après le Ministère de l'Agriculture/Direction des Etudes et de Développement Agricole.

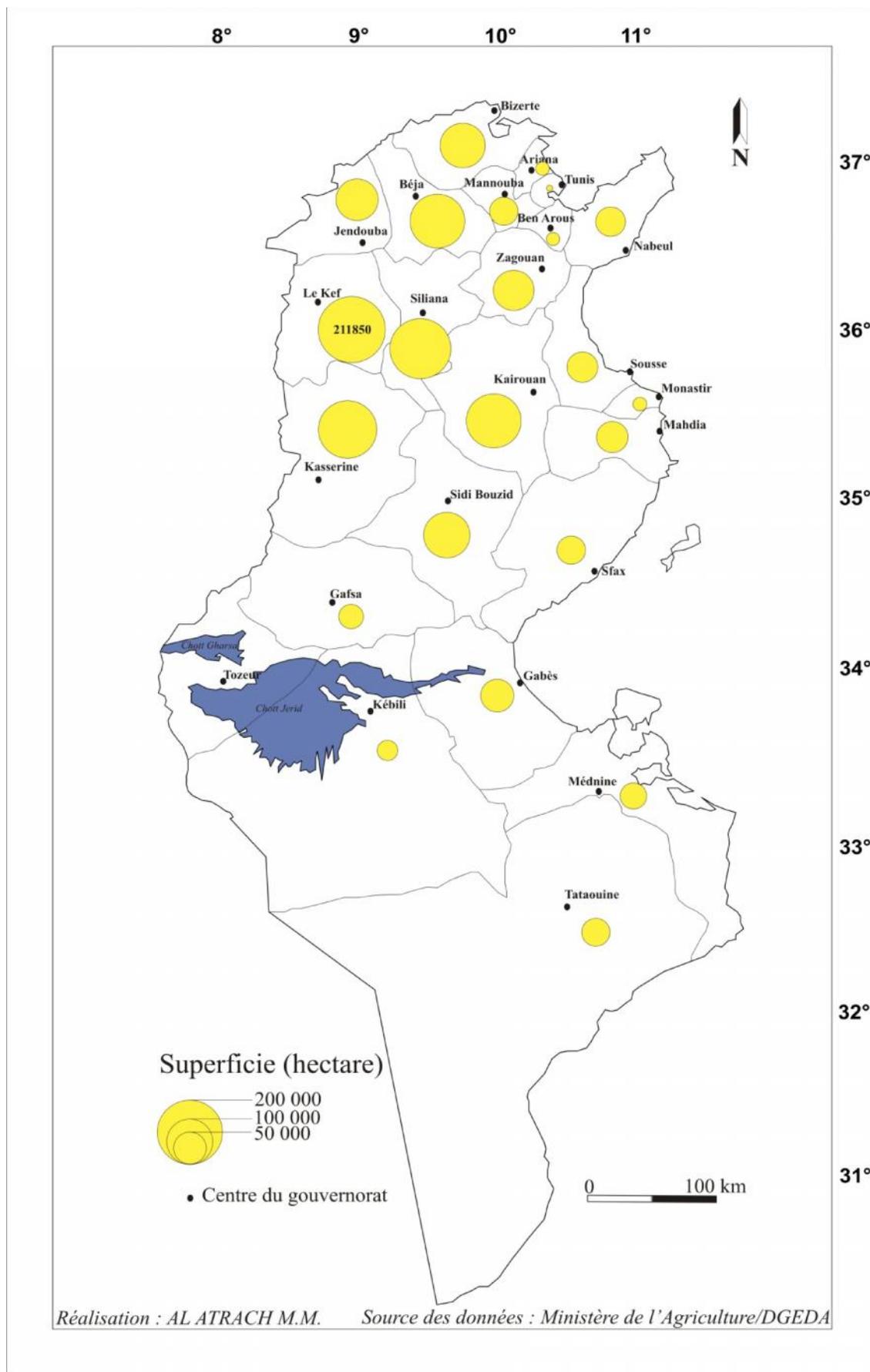
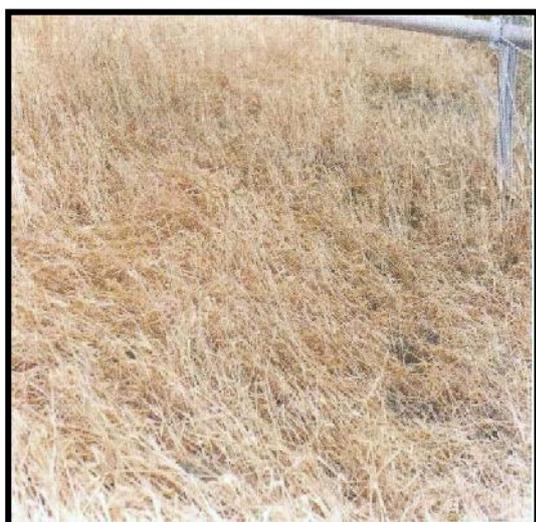


Figure 59. Répartition des surfaces des céréales (blé et orge) en 2004/2005 en Tunisie.

Ces cultures sont physiologiquement peu sensibles à la grêle et peu exposées aux chutes de grêle (uniquement pendant les trois mois de juin, juillet et août). Le risque est donc un peu minoré. Cependant, ceci n'empêche pas que ce type de culture souffre parfois des effets néfastes de la grêle. Ce fut le cas le 10 mai 2000, dans le gouvernorat de Zaghuan au Nord-est tunisien, à El Fahs : les dégâts ont été observés en particulier sur les céréales irriguées sous pivots (photos 22 et 22 bis).



**Photos 22 et 22 bis (à droite). Effets de la chute de grêle du 10 mai 2000 à El Fahs (Gouvernorat de Zaghuan) sur les céréales (source : ministère de l'Agriculture/DGPA).**

### *3.2.2. Les cultures fruitières*

Pour la campagne agricole 2005/2006, l'arboriculture s'étend sur 2 182 050 hectares, soit environ la moitié des superficies agricoles (49,13%) et se trouve donc au premier rang en terme des terres agricoles. Presque la moitié des superficies arboricoles se trouve dans le centre de la Tunisie (1 398 540 hectares), et les deux gouvernorats de Sfax et de Sidi Bouzid accaparent à elles seules respectivement des superficies de 428 200 et de 295 110 hectares (figure 60).

La production du secteur arboricole tunisien (sans les oliviers) a connu un grand essor depuis l'indépendance jusqu'à aujourd'hui. Au cours de la campagne agricole 1956/1957, la production du secteur arboricole n'était que de 296 800 tonnes. Durant la campagne 2005/2006 la production a plus que doublé avec environ 700 000 tonnes (figure 61).

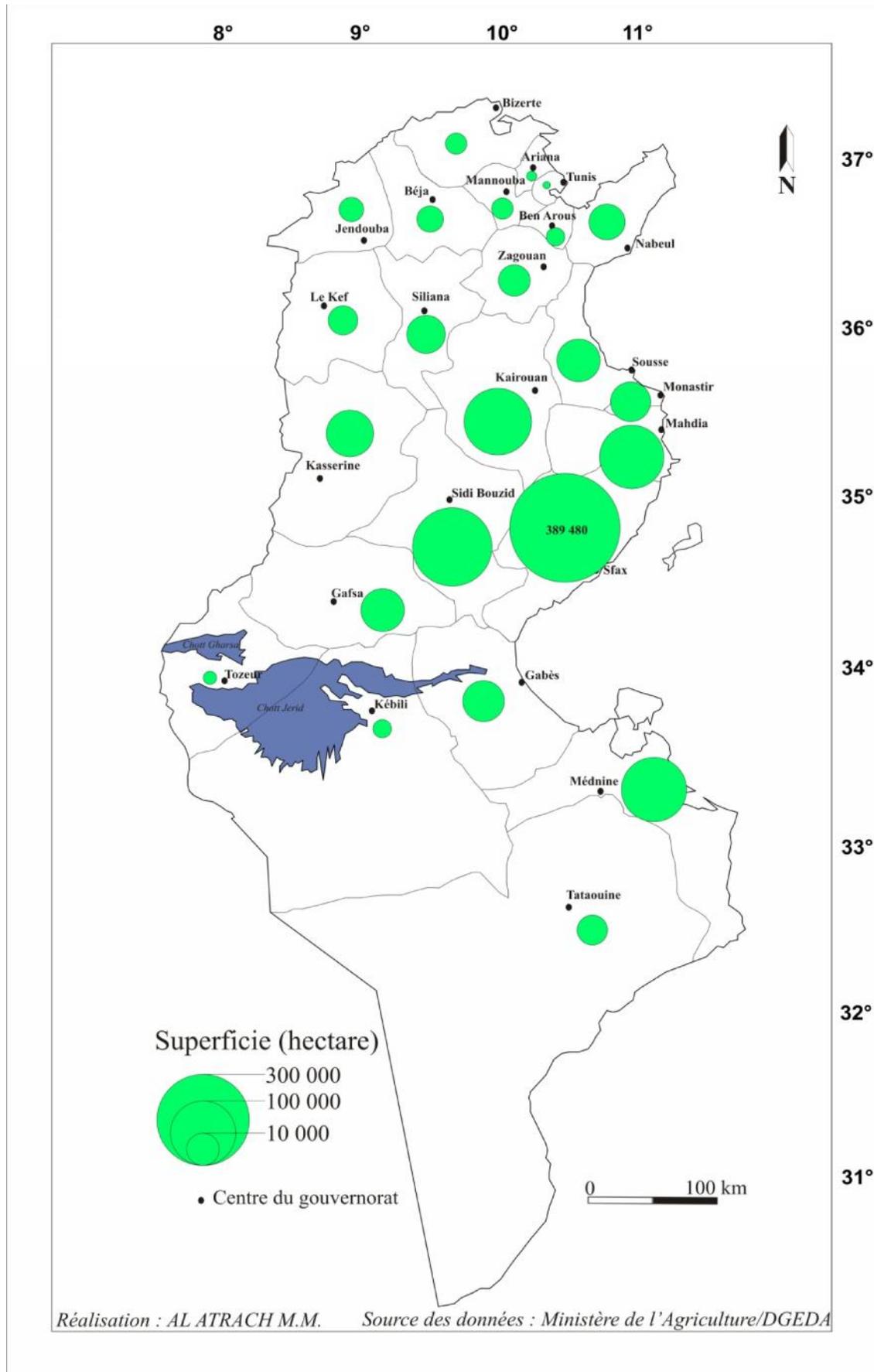


Figure 60. Répartition des surfaces arboricoles en 2004/2005 en Tunisie.

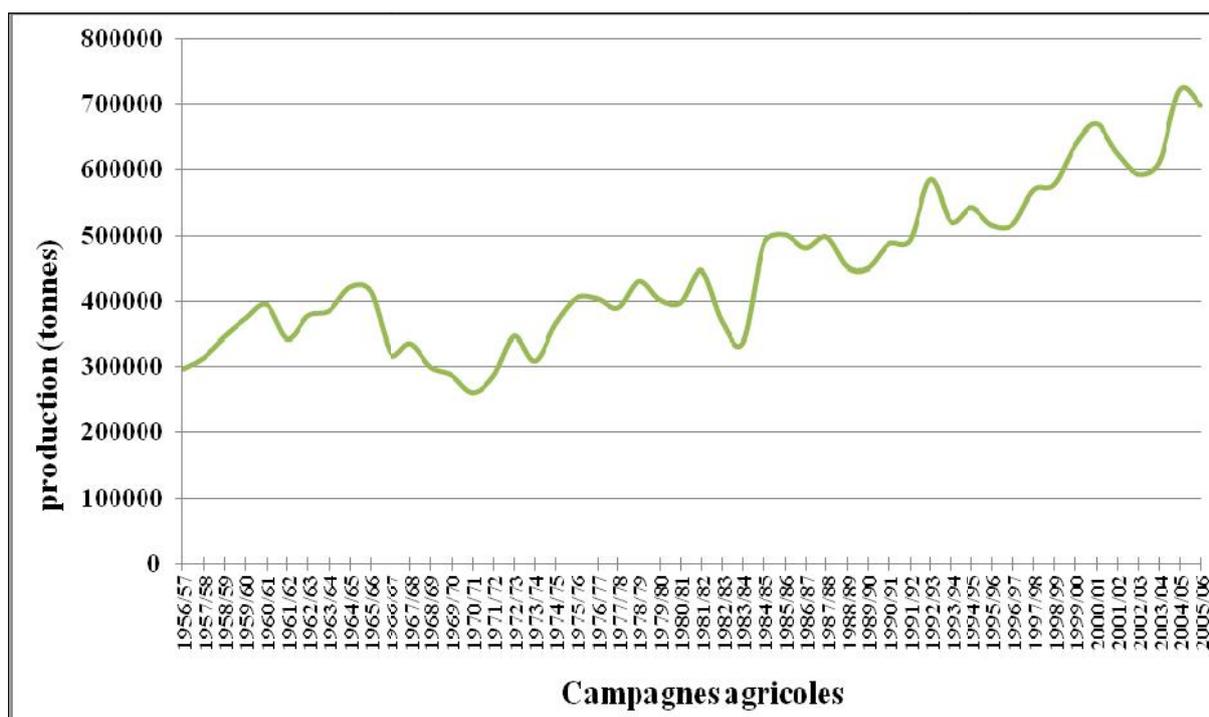


Figure 61. Evolution de la production du secteur arboricole entre 1956 et 2005 en Tunisie (source : Ministère de L'agriculture/DGPA).

Les cultures fruitières sont les plus difficiles et les plus chères à assurer : il faut garantir la perte de qualité puisque les fruits se consomment le plus souvent tels quels alors que les autres fruits subissent une transformation. En outre, ces cultures fruitières concentrent des fortes valeurs marchandes à l'hectare, et le coût de l'assurance grimpe parallèlement.

### 3.3. Chutes de grêles et maturation des cultures

La géographie des cultures en Tunisie amplifie-t-elle le risque grêle ? Seul le rapport entre la répartition des chutes de grêle pendant la maturation d'une culture et la répartition géographique de cette même culture, peut nous aider à répondre à cette question.

#### 3.3.1. La céréaliculture

Quand le blé et l'orge arrivent à maturité, généralement entre le mois d'avril et le mois de juillet, la fréquence maximale du nombre moyen de jours de grêle s'observe souvent au Nord-ouest et au Centre-ouest du pays. Les maxima moyens sont enregistrés notamment dans les stations de Bni Mtir, Ain Drahem, El Féija, Le Kef, Thala, et Kasserine avec plus d'un jour de grêle pour chacune (figure 62).

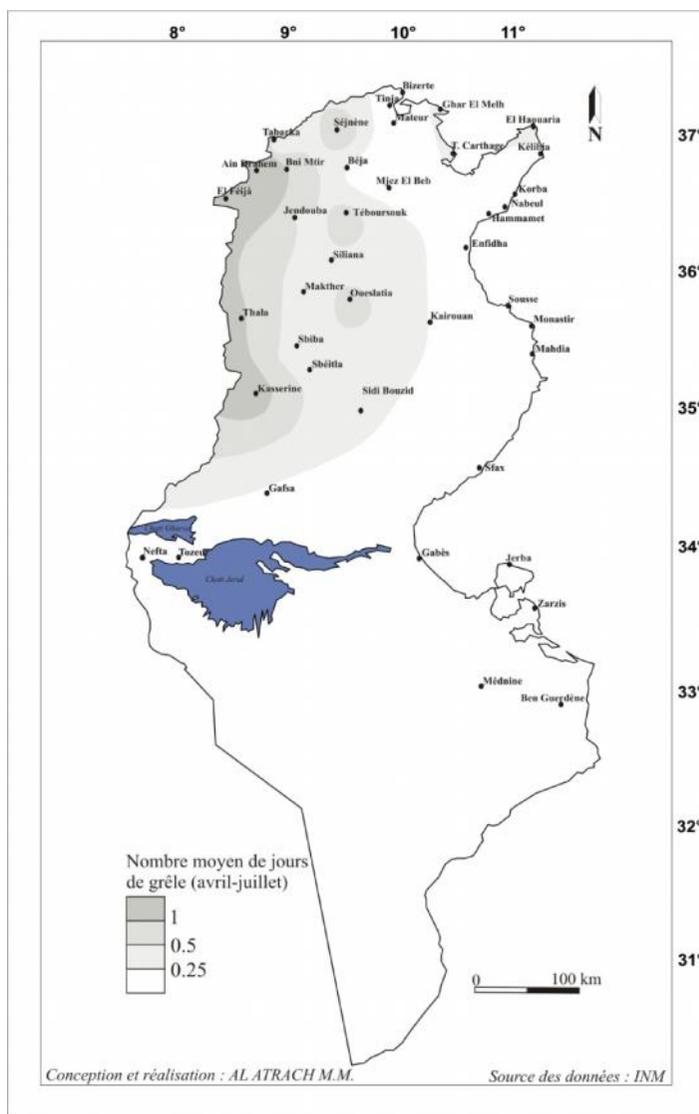


Figure 62. Répartition des chutes de grêle pendant la maturation des céréales (blé et orge).

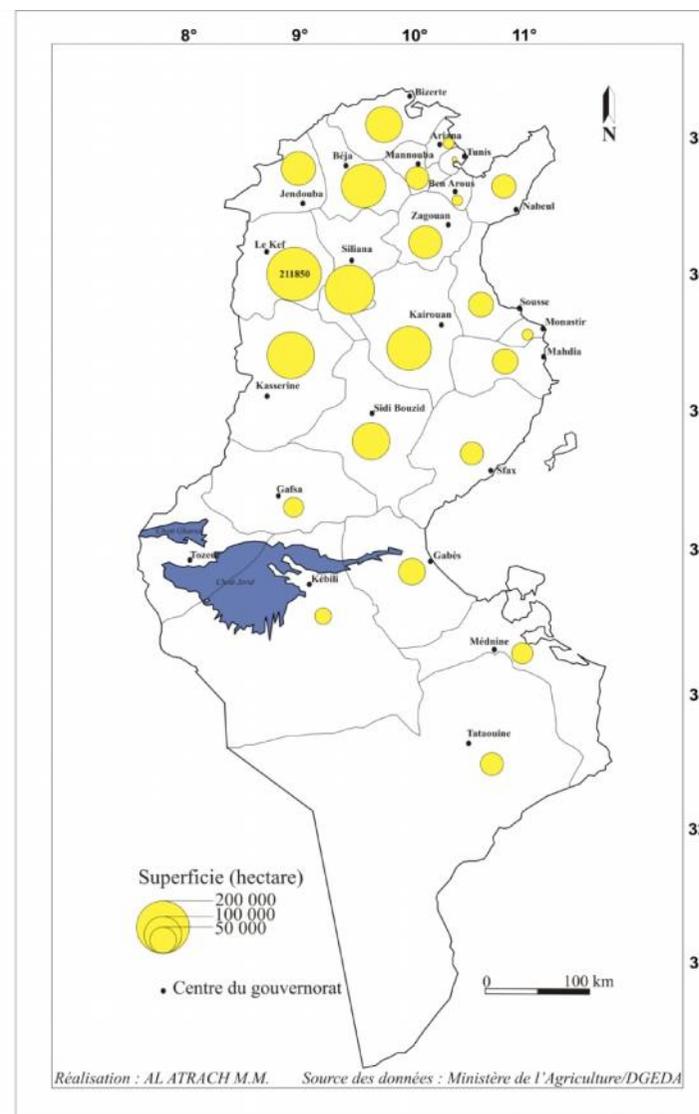


Figure 63. Répartition des superficies cérésières par gouvernorat en 2005 en Tunisie.

Dans ces deux régions de l'Ouest de la Tunisie se trouve plus de la moitié des superficies céréalières de tout le pays, soit 872 410 hectares pour la campagne 2005/2006, et tout particulièrement dans les gouvernorats du Kef, Siliana, Béja et Jendouba du Nord-ouest et de Kasserine au Centre-ouest (figure 63). Le soir du dimanche 20 mai 1990, de violents orages de grêle (de 12 à 15 millimètres de diamètre) sont passés sur de nombreuses localités des gouvernorats du Kef, Béja et Kasserine causant des dégâts notamment sur les grandes cultures. Plusieurs secteurs ont été considérés comme zones sinistrées. Au Kef, particulièrement à El Ksour, au Sers et à Dahmani, 40 000 hectares de céréales et de périmètres irrigués ont été endommagés de 40 à 100%. Plus de 13 000 hectares du même type de culture ont été totalement ravagés dans le gouvernorat de Kasserine surtout à l'Oued Darb (complexe agricole de Kasserine). Enfin, à Mjez El Beb au gouvernorat de Béja situé plus au nord, 10 000 hectares de blé ont été endommagés de 20 à 100%<sup>44</sup>.

La fréquence moyenne de jours de grêle baisse d'ouest en est tout comme la superficie des cultures céréalières. Le blé et l'orge de l'est du pays se trouvent ainsi à l'abri du risque-grêle. Par ailleurs, nous devons garder en mémoire les dégâts importants de l'orage du mercredi 10 mai 2000 dans le gouvernorat de Zaghuan (au Nord-est) notamment dans la délégation d'El Fahs (photos 24 et 25 plus haut).

### 3.3.2. Les oliviers

Entre le mois d'octobre et le mois de janvier, les olives atteignent peu à peu leur stade de maturation. Tout le long de cette période, la fréquence moyenne du nombre de jours de grêle s'observe aux extrêmes nord de la Tunisie, notamment celles du Nord-ouest (figure 64). En effet, les maxima moyens des jours de grêle s'enregistrent dans les stations d'Ain Drahem, Bni Mtir et Sejnène avec plus de 3 jours pour chacune. Dans le reste du pays, le phénomène de la grêle demeure totalement absent.

Plus de 60% des superficies d'oliviers de la Tunisie, soit 902 590 hectares, se trouvent dans les régions du Centre-est et du Sud-est, particulièrement dans le gouvernorat de Sfax puis ceux de Kairouan et de Médenine (figure 65).

---

<sup>44</sup> D'après les données du journal de « la presse »/Archive Nationale.

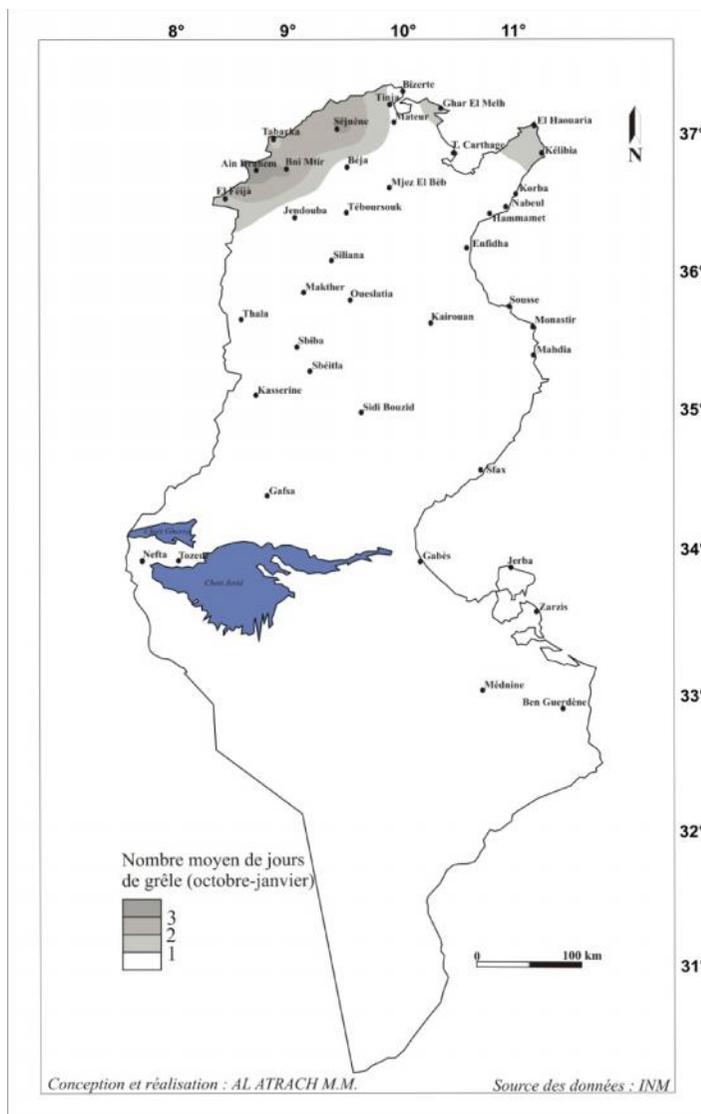


Figure 64. Répartition des chutes de grêle pendant la maturation des olives.

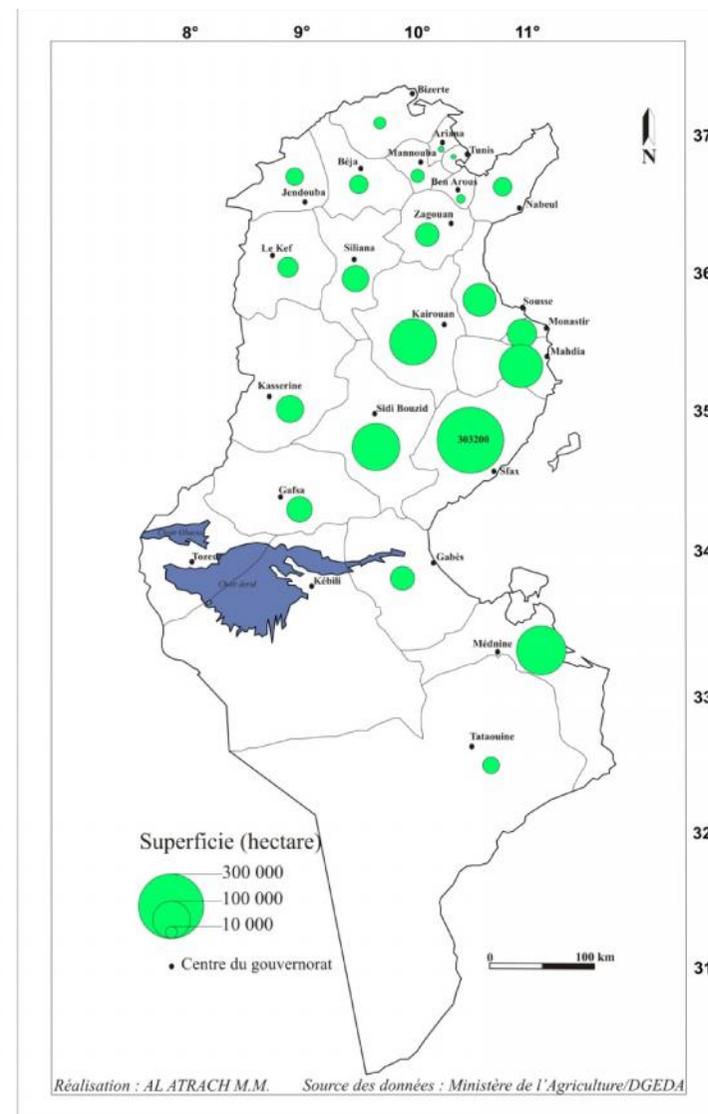


Figure 65. Répartition des superficies des oliviers par gouvernorat en 2005 en Tunisie.

Les oliveraies de la Tunisie se trouvent donc généralement à l'abri du risque-grêle et demeurent moins exposés à cet aléa en comparaison, par exemple, à la céréaliculture. Cependant, les chutes de grêle précoces (au stade de fleuraison) peuvent causer des dégâts parfois de grande ampleur : les jeudi et mercredi 06 et 12 mai 1993, de violents orages de grêle ont éclaté sur le gouvernorat de Kairouan, causant des dégâts de 10 à 100% sur 6127 hectares d'oliviers<sup>1</sup>. Les rapports des experts ont déclaré une chute critique des fleurs des oliviers, 4 322 agriculteurs sinistrés, et une valeur des dégâts de 1 265 650 DT.

### *3.3.3. Les vignobles*

A partir du mois de juin, les vignes commencent leur stade de fructification et les fruits atteignent peu à peu leur maturation complète au mois d'octobre ou novembre, où ils seront prêts pour la récolte. Durant ces six mois, la fréquence moyenne de jours de grêle se trouve plus importante d'abord dans les régions du golfe de Tunis et du Cap bon au Nord-est du pays, puis dans les Hautes Steppes tunisiennes au Centre-ouest (figure 66). Les maxima moyens de jours de grêle s'observent dans les stations de Tunis-Carthage, El Haouaria, Kélibia au Nord-est et de Kasserine au Centre-ouest avec plus de 1,5 jours pour chacune.

Les plus vastes surfaces des vignobles se concentrent dans la région du nord-est avec plus de 21 300 hectares, soit 72% de toutes les surfaces viticoles en Tunisie (figure 67). La région du Cap Bon (le gouvernorat de Nabeul) est la première en termes de surface avec 13 890 hectares. Dans le reste du pays, l'activité de ce type de culture demeure assez importante dans la région du Sud-est, notamment dans les gouvernorats de Gabès (2 700 hectares) et de Médenine (1880 hectares).

Il est clair que les vignobles du Nord-est du pays notamment ceux du Cap Bon sont les plus exposés à l'aléa de la grêle. De plus, la pratique des cépages tardifs laisse les raisins sur pieds parfois même jusqu'à décembre ou janvier. Ainsi, cela prolonge la durée d'exposition de cette culture au risque-grêle.

Plus au sud du pays, les vignobles de la région du sud-est se trouvent, par ailleurs, totalement à l'abri du risque-grêle. Aussi, la pratique des cépages précoces (jusqu'au mois d'octobre) réduit le temps d'exposition des vignes aux chutes de grêle.

---

<sup>1</sup>D'après les données du Commissariat Régional pour le Développement Agricole de Kairouan.

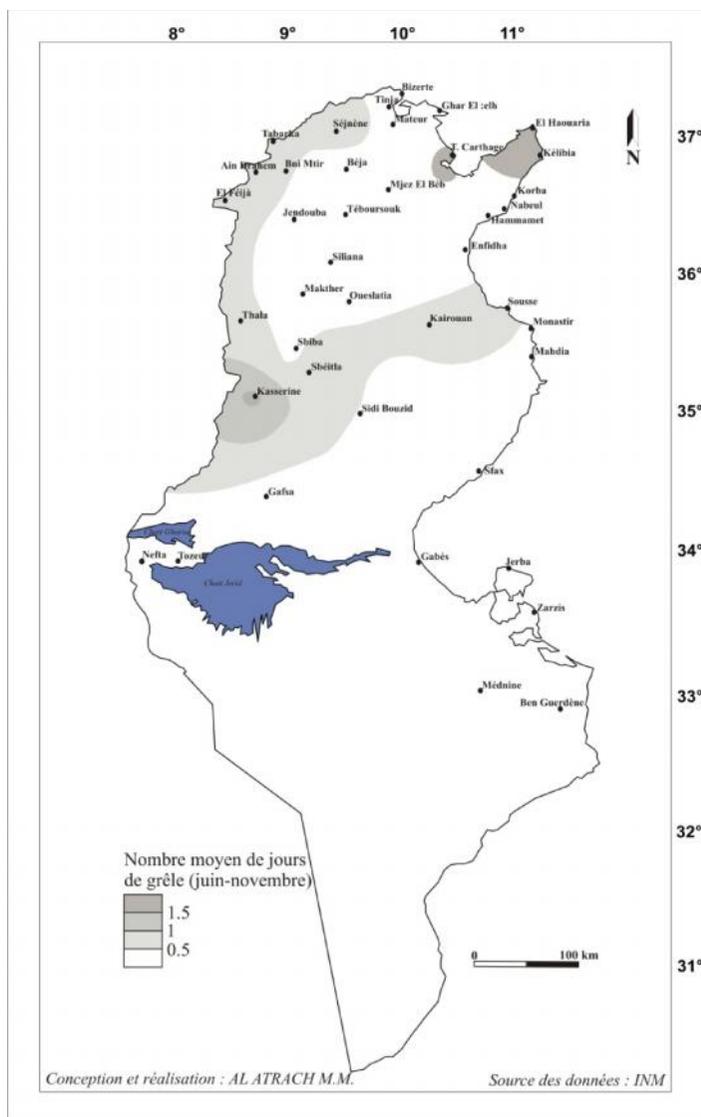


Figure 66. Répartition des chutes de grêle pendant la maturation des vignes.

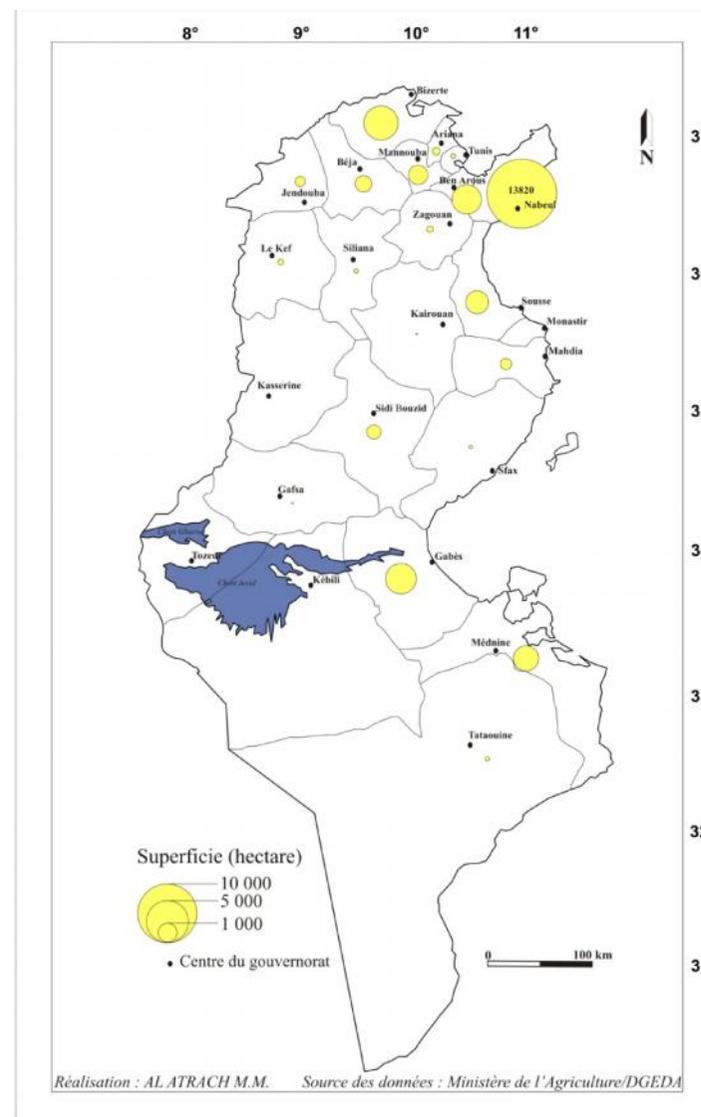


Figure 67. Répartition des superficies des vignobles par gouvernorat en 2005 en Tunisie.

#### 3.3.4. Les abricotiers

Cet arbre fruitier arrive généralement à maturité entre les mois d'avril et de juillet. Durant ces quatre mois, les chutes de grêle atteignent leur fréquence moyenne maximale à l'Ouest du pays, notamment dans les régions du nord (Ain Drahem et El Féija) et du centre (Thala et Kasserine) avec plus d'un jour de grêle (figure 68). Ailleurs, cette fréquence moyenne diminue en allant vers l'Est de la Tunisie avec une valeur de 0,25 jour.

Les superficies d'abricotiers se concentrent dans la région des basses steppes au Centre-est, puis un peu dans les Hautes Steppes plus à l'Ouest du pays (figure 69). Le gouvernorat de Kairouan est le premier en terme de superficie avec environ 4 000 hectares, soit presque 50% du total des surfaces de Tunisie.

Ce sont les abricotiers de la région des Hautes Steppes au centre-ouest du pays, où ce phénomène est présent chaque année, qui sont les plus vulnérables au risque-grêle. Les jeudi et vendredi 02 et 10 mai 2002, on a enregistré des chutes de grêle au gouvernorat de Kasserine causant des dégâts de 70 à 100% sur 309 hectares d'abricots, notamment à Sbeïtla et à Sbiba.

Par contre, pour les abricotiers des Basses Steppes plus à l'est, le risque-grêle semble un peu minorisé puisqu'on observe à peine 1 jour de grêle tous les quatre ans (0,25 jour). Par ailleurs, les archives du Commissariat Régional pour le Développement Agricole du Kairouan rapportent que 600 hectares d'abricotiers ont été endommagés par la grêle de 25 à 50% le dimanche 31 juillet 1994. De même, d'autres dégâts de 10 à 70%, ont été enregistrés sur 2 440 hectares les dimanche et lundi 01 et 02 juin 1997 à Sbikha, Oueslatia et El Ala du même gouvernorat.

#### 3.3.5. Les agrumes

Quelle que soient les variétés, précoces (*Clémentine* et *Maltaise*) ou tardives (*Valencia late* et *Navel*), les agrumes atteignent leur stade de maturité entre octobre et mai. Au cours de cette période, les chutes de grêle sont le plus fréquente au Nord du pays avec des maxima moyens supérieurs à 5 jours dans les extrêmes nord-ouest (Sejnène et Bni Mtir) et parfois supérieurs à 7 jours à Ain Drahem (figure 70). Ce phénomène est aussi important au Nord-est de la Tunisie, notamment au Cap Bon (gouvernorat de Nabeul) avec plus de 3 jours en moyenne, et plus localement au Centre-ouest à Thala et Kasserine (entre 1 et 3 jours). Il est à noter, en outre, que ce sont les particules de grésil, dont les diamètres sont inférieurs ou égaux à 5 mm, qui tombent le plus fréquemment pendant cette période de l'année.

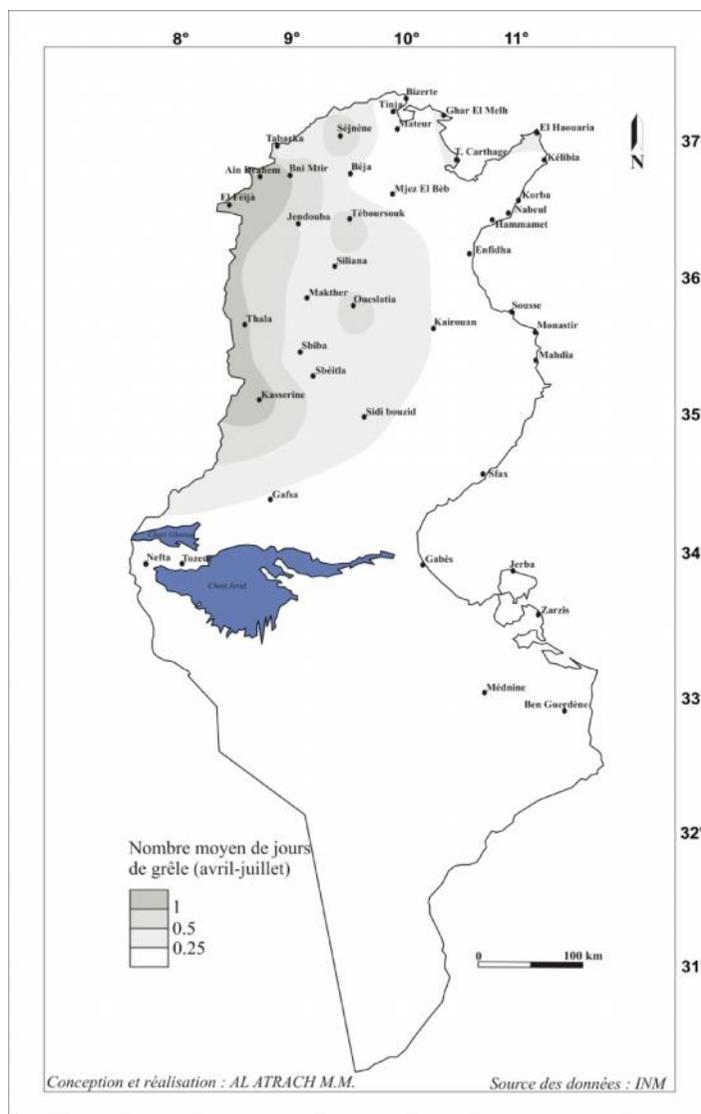


Figure 68. Répartition des chutes de grêle pendant la maturation des abricots.

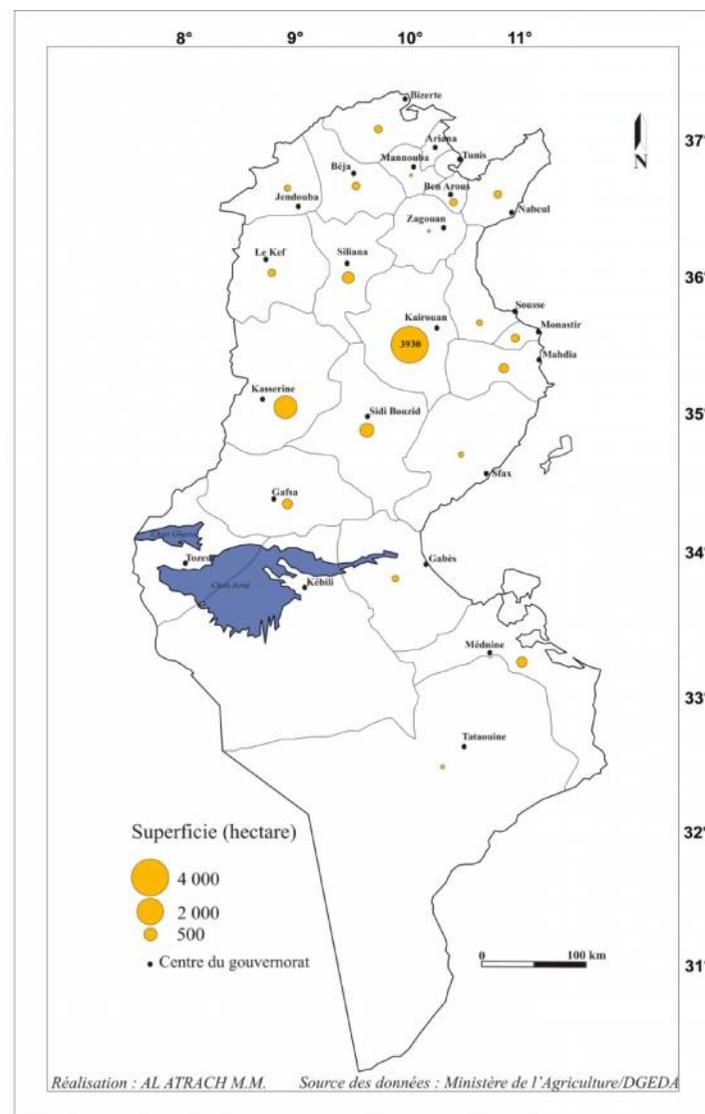


Figure 69. Répartition des superficies des abricotiers par gouvernorat en 2005 en Tunisie.

Quant aux surfaces d'agrumes, elles prennent souvent de l'importance dans le Nord de la Tunisie avec 18 030 hectares, soit presque 95% du total des superficies, dont 13 750 hectares se trouvent seuls au Cap Bon (gouvernorat de Nabeul). Les 1 070 autres hectares s'étendent sur le reste du pays notamment à Kairouan au Centre-est (figure 71).

La superposition des deux cartes de la figure n° 64 montre bien que les agrumes de Nord de la Tunisie sont les plus vulnérables à l'aléa de la grêle, notamment celles de la région du nord-est. Au cours de l'année 1982, les agrumes du gouvernorat de Nabeul, premiers en termes de surface et de production en Tunisie, ont beaucoup soufferts des effets de la grêle. Au total 7 chutes de grêle, observées particulièrement dans les stations d'El Haouaria, Kélibia et Hammamet, ont causé une chute de production de 25% entre 1981 et 1982 (respectivement de 220 000 et 165 000 tonnes). De plus, les variétés qui font l'originalité de cette région sont souvent des variétés tardives (*Navel* et *Valencia late*), puisqu'elles restent sur pieds jusqu'en mai et sont donc plus longtemps exposées aux chutes de grêle.

Par ailleurs, les agrumes du gouvernorat de Kairouan au Centre-est, se trouvent éloignés des zones à grêle, outre que les variétés cultivées dans cette région sont souvent des variétés précoces (*Clémentine*), elles ne restent pas longtemps sur pieds (jusqu'à mars).

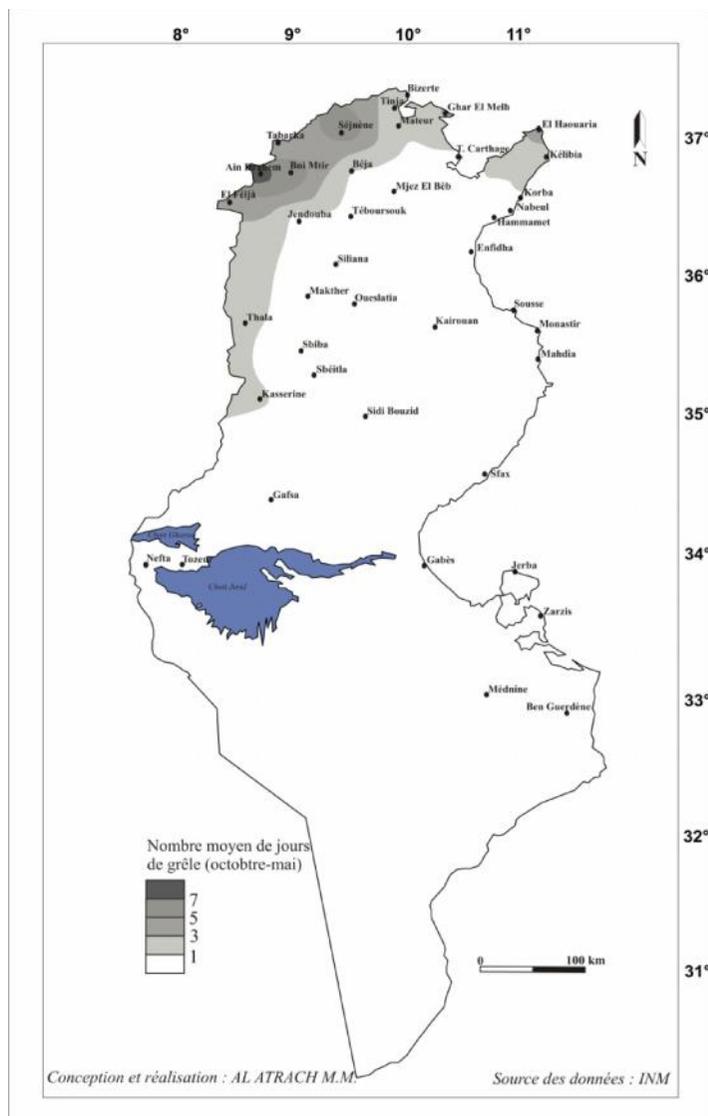


Figure 70. Répartition des chutes de grêle pendant la maturation des agrumes.

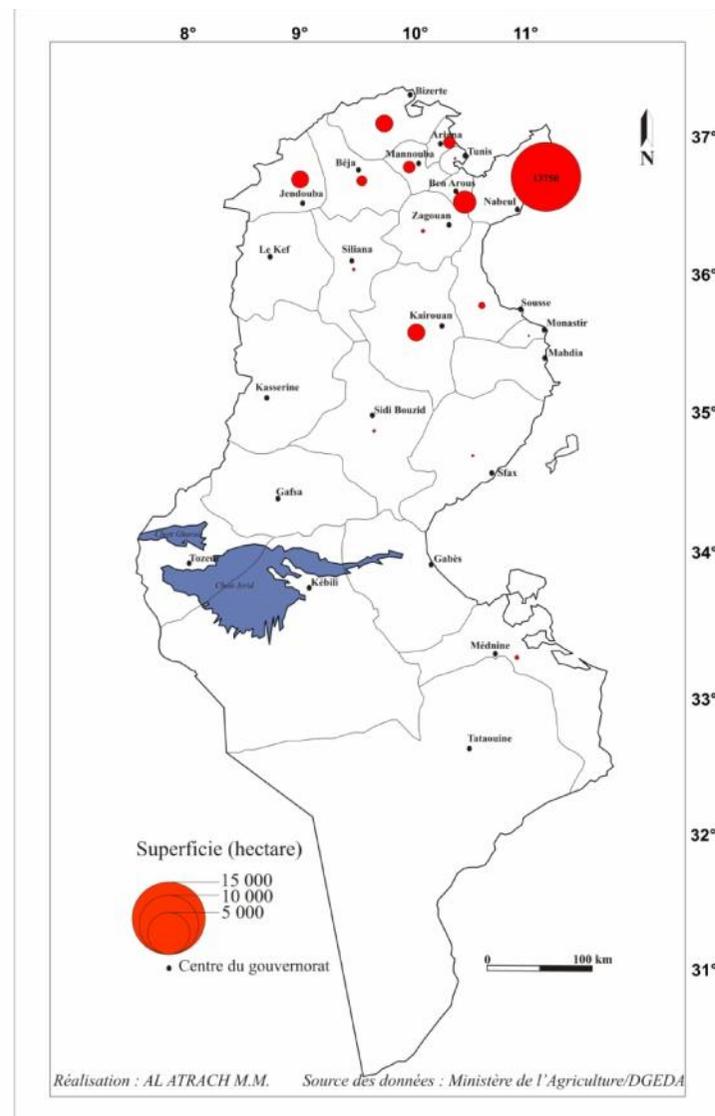


Figure 71. Répartition des superficies d'agrumes par gouvernorat en 2005 en Tunisie.

### *3.3.6. Les amandiers verts*

Par rapport aux autres arbres fruitiers, les amandiers se caractérisent par une durée d'exposition aux chutes de grêle courte. Les amandes vertes ne restent sur pieds que du mois de mai au mois de juillet. Durant ces trois mois, les fréquences moyennes maximales des jours de grêle s'observent au Centre-ouest du pays dans les stations de Kasserine et Thala avec environ 1 jour pour chacune (figure 72).

La plupart des champs d'amandiers se trouvent au Centre-est du pays. En effet, les surfaces atteignent 134 880 hectares dans les gouvernorats de Sfax, Sidi Bouzid et Kairouan, soit environ 70% des toutes les surfaces de Tunisie (figure 73).

En tenant compte de la géographie des amandiers et de la physiologie des graines des amandes bien protégées dans leurs coques, la vulnérabilité de cet arbre fruitier au risque-grêle demeure très faible. Cependant, les chutes de grêle précoces du mois du mai (début de la fructification des amandiers) peuvent causer de graves dégâts. Le soir du lundi 18 mai 1998, 300 hectares d'amandiers verts ont été sinistrés par des orages de grêle d'Ouest, de 50 à 100%, à Sidi Ali Ben Oun du gouvernorat de Sidi Bouzid. Les jeudi et vendredi 02 et 10 mai 2002, des orages de grêle très violents de direction sud-ouest/nord-est ont éclaté sur le gouvernorat de Kasserine et ont causé de grands dégâts sur plus de 1 300 hectares d'amandiers verts, notamment à Sbeitla, Thala et El Ayoun.

### *3.3.7. Les grenadiers*

La culture des grenadiers préfère toujours les plaines ouvertes. En Tunisie, les principales surfaces de grenadiers se trouvent tout le long d'un axe Nord/Sud à l'Est du pays. Le gouvernorat de Gabès au Sud, puis ceux de Sidi Bouzid au Centre et Nabeul et Béja au Nord, sont les premiers en termes de surface avec 5 120 hectares, soit plus de la moitié de toutes les surfaces de Tunisie (figure 75).

Les grenadiers arrivent à maturité pendant l'automne et le début d'hiver, généralement du mois de septembre au mois de décembre. Pendant cette période, les maxima de la fréquence moyenne de jours de grêle s'enregistrent dans les stations de Sejnène et Ain Drahem aux extrêmes nord-ouest du pays avec plus de 2 jours pour chacune (figure 74). D'autres foyers d'augmentation de la grêle (1 jour en moyenne) sont observés au Cap Bon (El Haouaria), au Sahel (Sousse) et dans les Hautes Steppes (Kasserine).

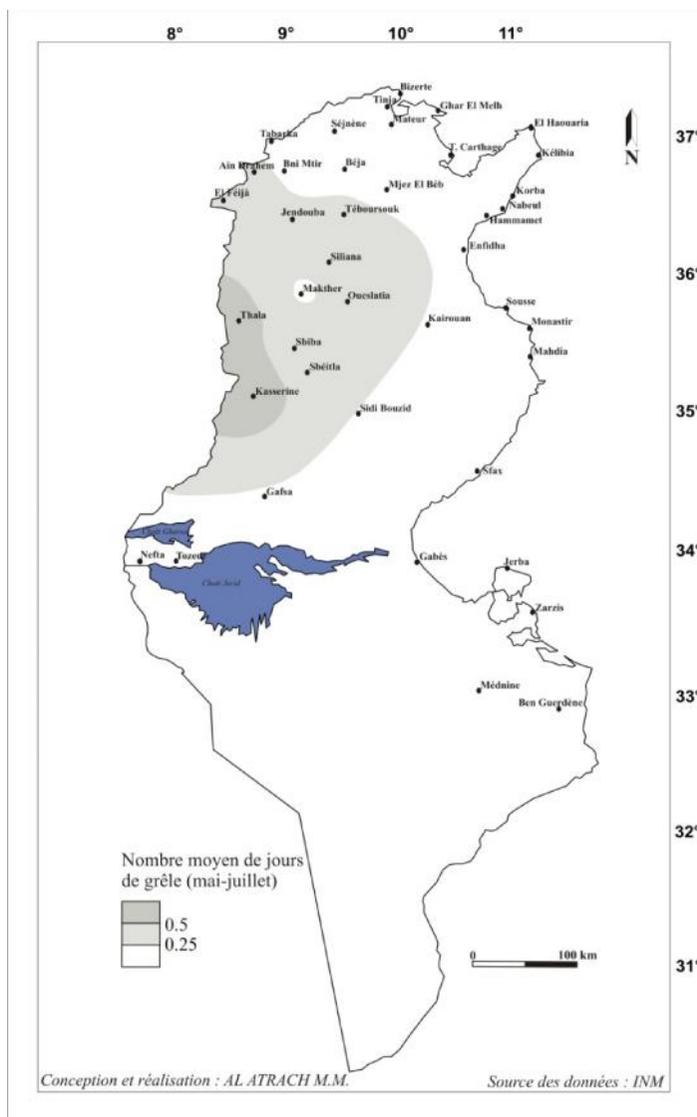


Figure 72. Répartition des chutes de grêle pendant la maturation des amandiers.

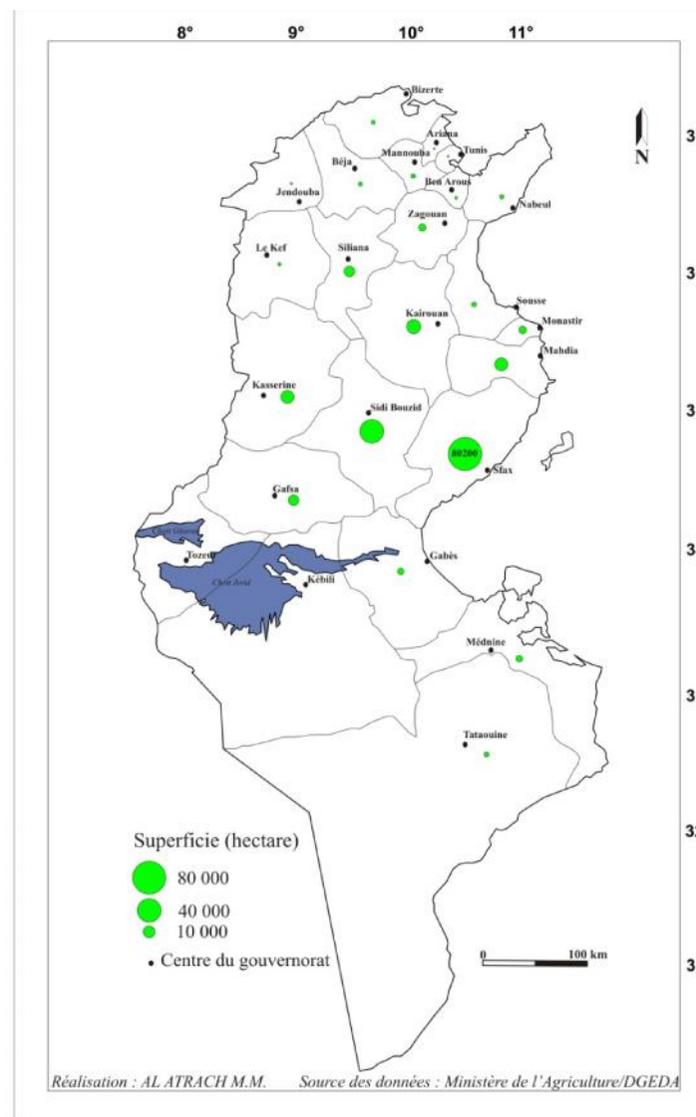


Figure 73. Répartition des superficies des amandiers par gouvernorat en 2005 en Tunisie.

D'une manière générale, excepté les 2 000 hectares des gouvernorats de Nabeul et Béja, les grenadiers tunisiens, en particulier ceux du Centre-est et du Sud-est où se concentrent les vastes surfaces, sont souvent peu vulnérables à l'aléa de la grêle. Néanmoins, des chutes de grêle précoces peuvent provoquer des dégâts de grande ampleur : le soir du dimanche 31 juillet 1994, des orages de grêle sont survenus à Sbikha et Hajeb Layoun du gouvernorat de Kairouan et ont touché 190 d'hectares de grenadiers. Un 1/3 est totalement détruit, le reste est sinistré à hauteur de 50 à 100%.

### *3.3.8. Les dattiers*

Pendant la période de la maturation des dattes, généralement entre le mois d'octobre et celui de janvier, les maxima moyens de jours de grêle sont enregistrés particulièrement aux extrêmes nord de la Tunisie, notamment dans les hauts reliefs de la région du nord-ouest (les stations d'Ain Drahem, Bni Mtir et Sejnène). Ils atteignent des valeurs de plus de 3 jours. Dans le reste du pays, le phénomène de la grêle est totalement absent (figure 76).

Or, les palmeraies ne se trouvent que dans la moitié sud du territoire, dans les gouvernorats de Kébili, Tozeur, et Gafsa (Sud-ouest) et ceux de Gabès, Médenine et Tataouine (Sud-est). Les superficies des dattiers atteignent 33 210 hectares dont presque 50% se trouve seule dans le gouvernorat de Kébili (figure 77).

Généralement, les dattiers tunisiens ne subissent aucun effet de l'aléa de la grêle. Leur géographie les exclut du risque de ces précipitations. En revanche, ce sont les autres types de précipitations qui les menacent, particulièrement les pluies, notamment celles de la saison d'automne. Parfois, les pluies du début de la saison agricole (de septembre à janvier) peuvent endommager les récoltes de dattes, et par conséquent causer des pertes de leur valeur marchande.

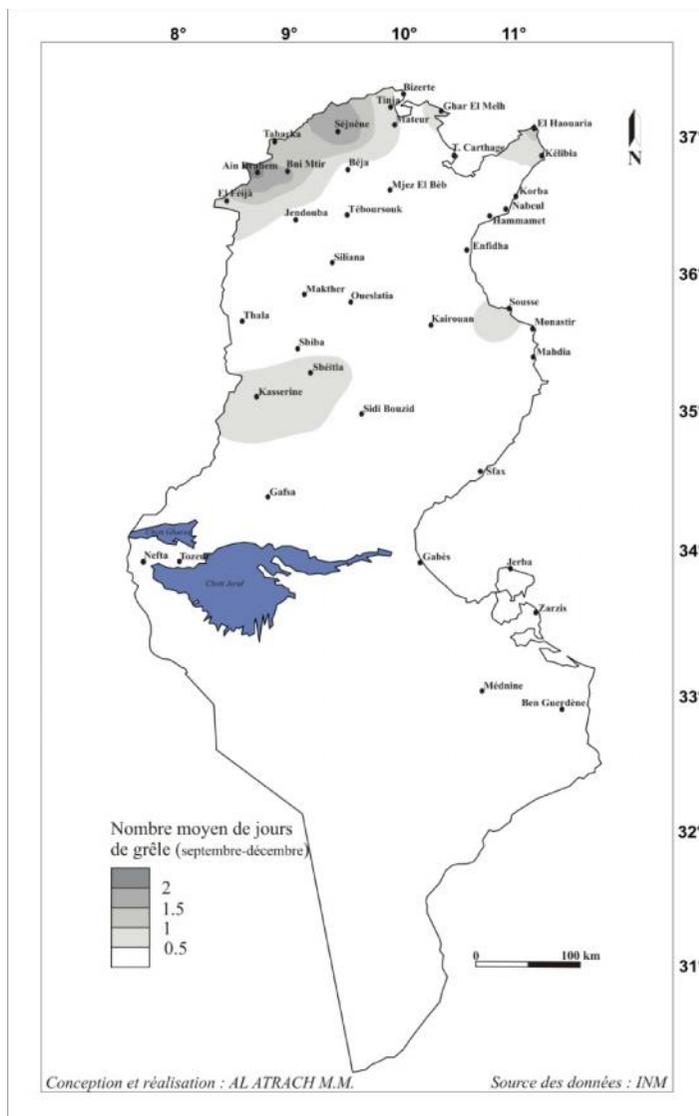


Figure 74. Répartition des chutes de grêle pendant la maturation des grenades.

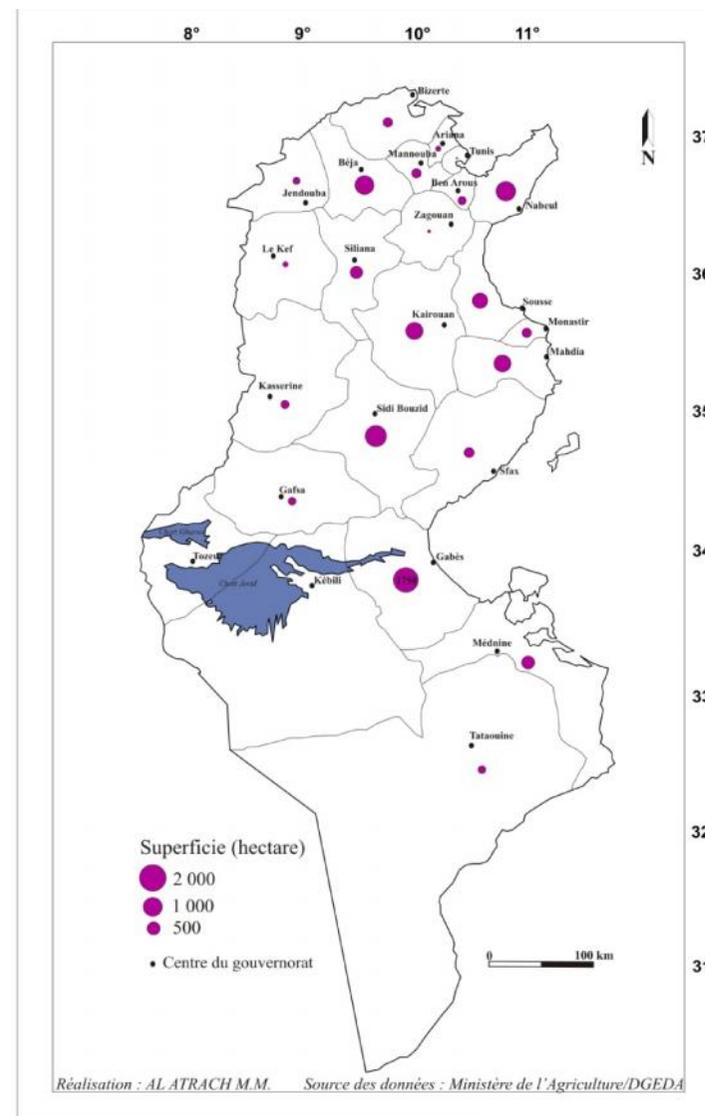


Figure 75. Répartition des superficies des grenadiers par gouvernorat en 2005 en Tunisie.

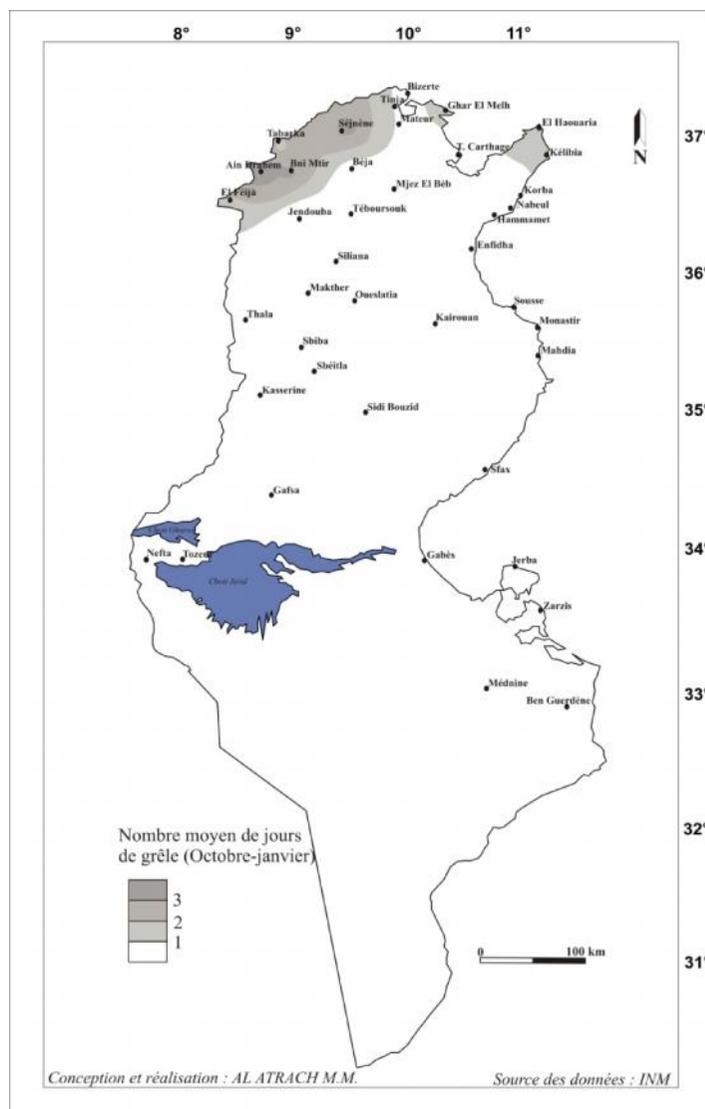


Figure 76. Répartition des chutes de grêle pendant la maturation des dattes.

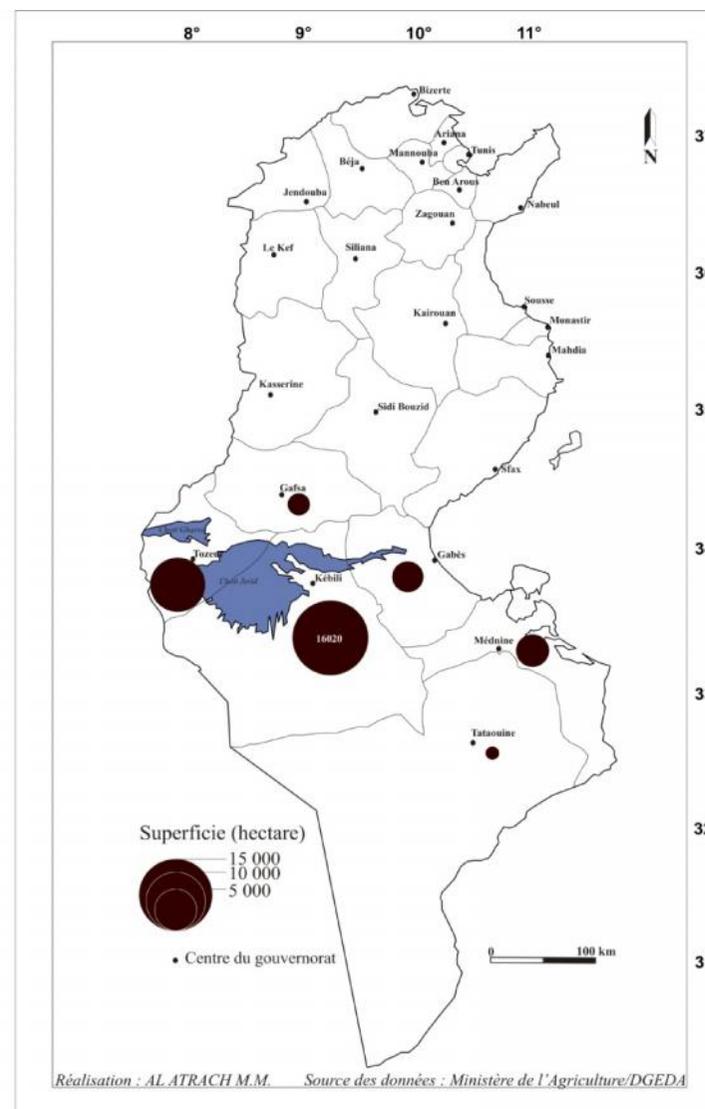


Figure 77. Répartition des superficies des dattiers par gouvernorat en 2005 en Tunisie.

### 3.3.9. Les pruniers

Les pruniers détiennent la surface arboricole moindre en Tunisie puisqu'elle est inférieure à 3 360 hectares, dont environ 80% (2 640 hectares) se trouvent au Nord du pays, particulièrement dans les gouvernorats de Nabeul, Béja, Le Kef, Bizerte et Jendouba (figure 79). Dans le reste du pays, cette activité agricole n'a pas une grande importance. Généralement, c'est pendant le long été méditerranéen de la Tunisie, du mois de juin au mois de septembre, que les prunes arrivent à maturité.

Au cours de ces quatre mois, le phénomène de la grêle dessine un important noyau de sa fréquence maximale dans la région des Hautes Steppes au Centre-ouest, et précisément dans la station de Kasserine avec plus de 1,5 jours de grêle en moyenne (figure 78).

Concernant la vulnérabilité des pruniers à l'aléa de la grêle, elle est en règle générale très réduite ; quoique les pruniers de l'intérieur du pays, cultivés sur quelques centaines d'hectares seulement, puissent parfois en être les victimes. A titre d'exemple, une chute de grêle très précoce a eu lieu le jeudi 18 mai 2000 à Errhiba et Guettis du gouvernorat de Gafsa au Sud-ouest, causant la destruction totale de 350 pieds de pruniers. De même, le jeudi 02 mai 2002, 2 hectares de pruniers ont été entièrement ravagés par la grêle à Sbeïtla, dans le gouvernorat de Kasserine.

### 3.3.10. Les pêchers

Les superficies des champs de pêchers en Tunisie atteignent 17 180 hectares. Ce type d'arbres fruitiers est cultivé le plus souvent dans le Nord et le Centre du pays. On y compte 15 980 hectares, soit plus de 93% du total des surfaces (figure 81). Les premiers gouvernorats en terme de superficies, sont ceux de Ben Arous, Mannouba et Bizerte au Nord, puis Mahdia, Sfax, Monastir et Kasserine au Centre. Le Sud tunisien, ne comprend que 1 200 hectares de champs, soit une surface inférieure à la seule part de Ben Arous.

Généralement, les pêches arrivent à maturité du mois de mai au mois de septembre. Pendant ces cinq mois, on observe une augmentation de la fréquence moyenne de la grêle dans la partie ouest du Centre du pays, avec un maximum de presque 2 jours au niveau de la station de Kasserine (figure 80). Le phénomène de la grêle est moins important dans le Sud du pays, mais aussi dans les stations du Nord et du Nord-est.

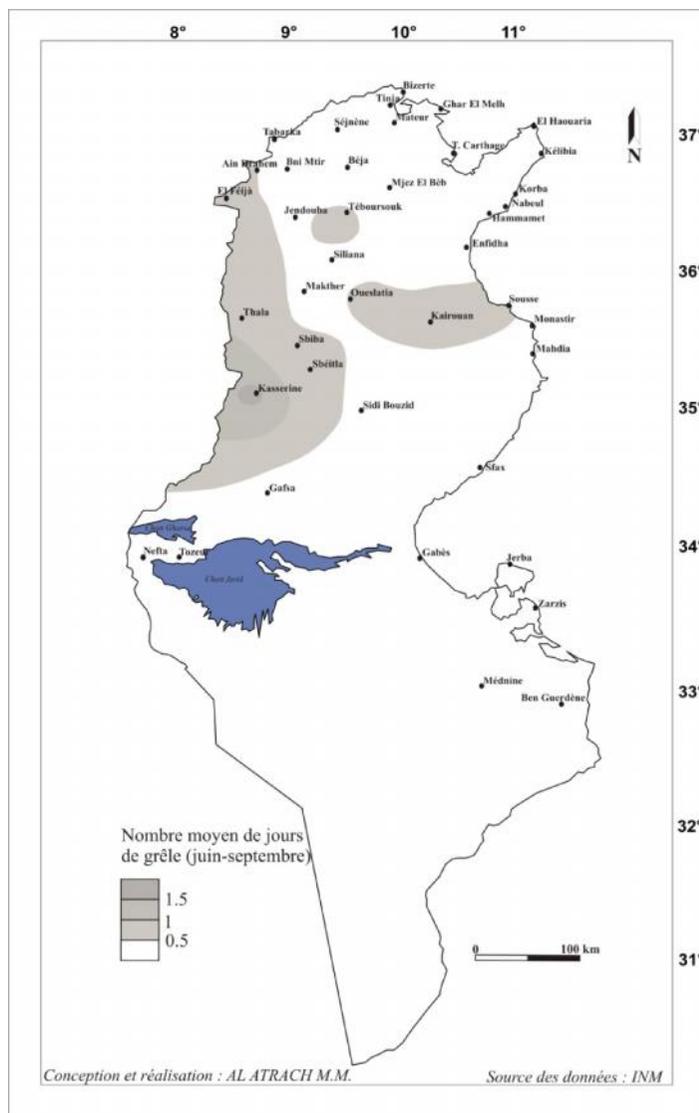


Figure 78. Répartition des chutes de grêle pendant la maturation des prunes.

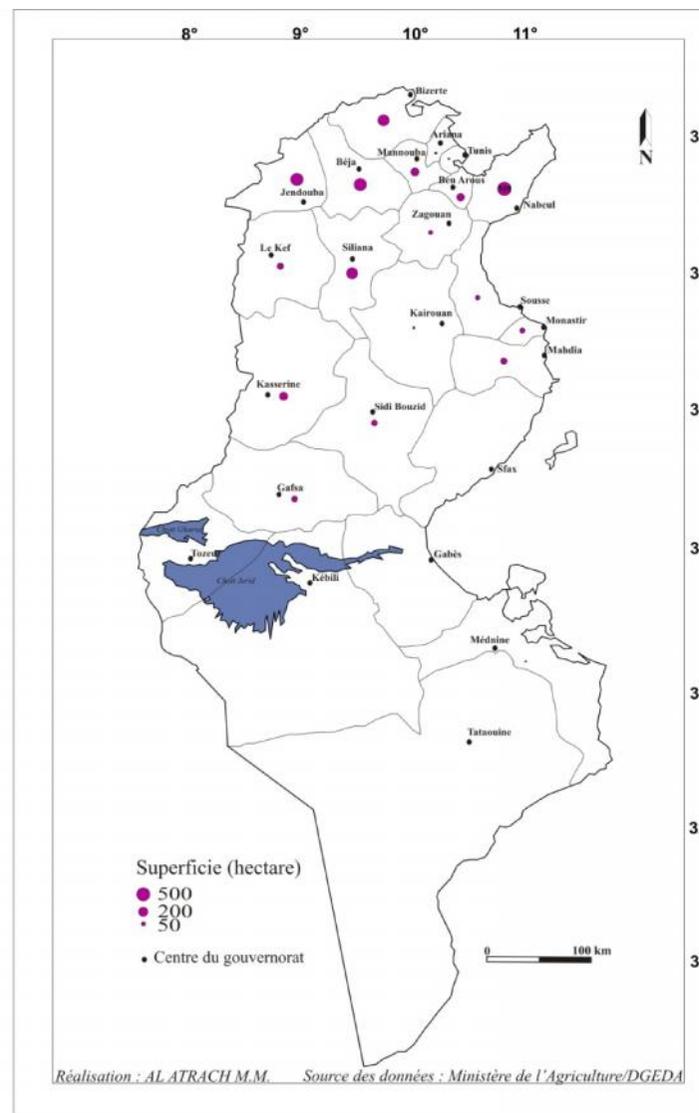


Figure 79. Répartition des superficies des pruniers par gouvernorat en 2005 en Tunisie.

Les pêchers les plus vulnérables au risque de la grêle sont ceux du Centre du pays, notamment dans la région des Hautes Steppes. Les deux chutes de grêle des jeudi et vendredi 02 et 10 mai 2002 ont causé des dégâts sur 411 hectares de pêchers à Sbiba et Sbeïtla du gouvernorat de Kasserine. Les dommages ont été évalués à hauteur de 50 à 80%.

A Gafsa, la fréquence de la grêle entre mai et septembre semble moins importante (pas plus de 0,5 jour en moyenne), mais le soir du mercredi 19 septembre 2007 à 17h00, une chute de grêle guidée par un orage d'Ouest a éclaté sur Guettis et a ravagé entièrement quelques dizaines d'hectares de pêchers (photo 23). La perte de la valeur marchande a été évaluée aux 2/3.

Par ailleurs, les champs de pêchers du Nord de la Tunisie se trouvent totalement à l'abri du risque-grêle, notamment au Nord-est où se concentrent la majorité de ces cultures.



Photo 23. Effets de la chute de grêle du 19/09/2007 sur les pêches du Guettis (Gafsa ; cliché : AL ATRACH M.M.)

### 3.3.11. Les pistachiers

Le pistachier est une espèce qui préfère l'altitude (600 à 1200 mètres) et le froid (200 à 1000 heures de froid inférieures à 7°C), il a une grande résistance à la sécheresse et une parfaite adaptation aux conditions de salinité. En Tunisie, on le trouve le plus souvent dans les régions arides et semi-arides le long de l'axe qui relie les gouvernorats de Gafsa et Kasserine à l'Ouest avec ceux de Sidi Bouzid et Sfax vers l'Est. Dans ces gouvernorats on en compte 21 770 hectares, soit environ 87% des pistachiers. Avec ses 8 200 hectares, le gouvernorat de Gafsa est le plus important (figure 83).

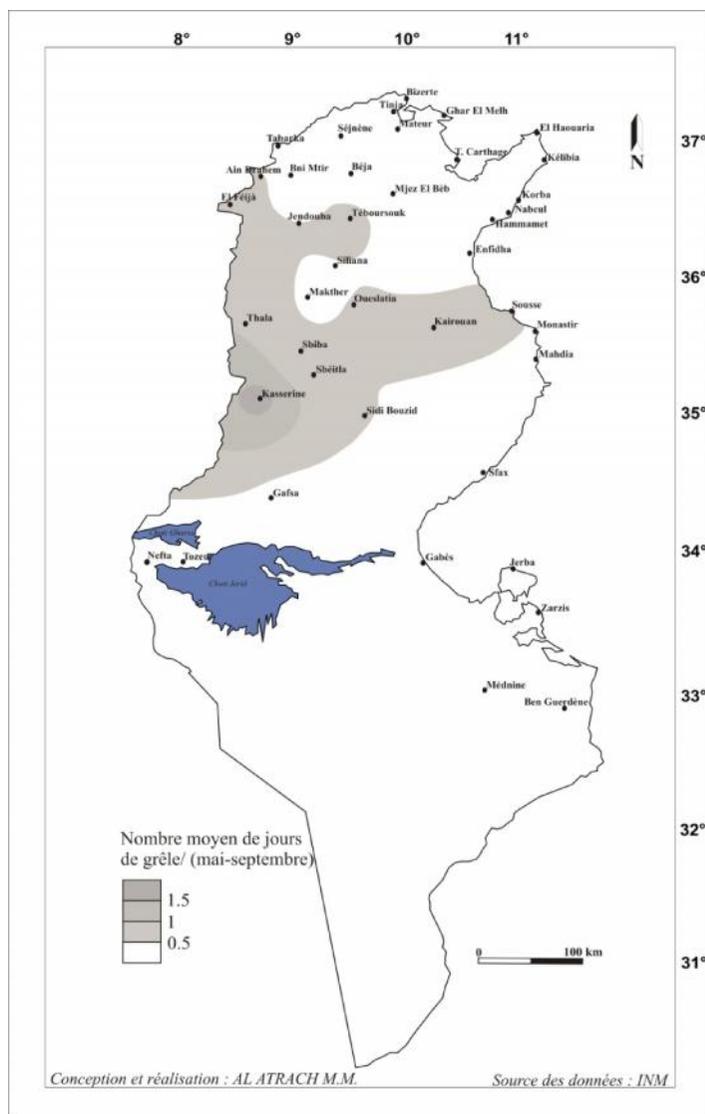


Figure 80. Répartition des chutes de grêle pendant la maturation des pêches.

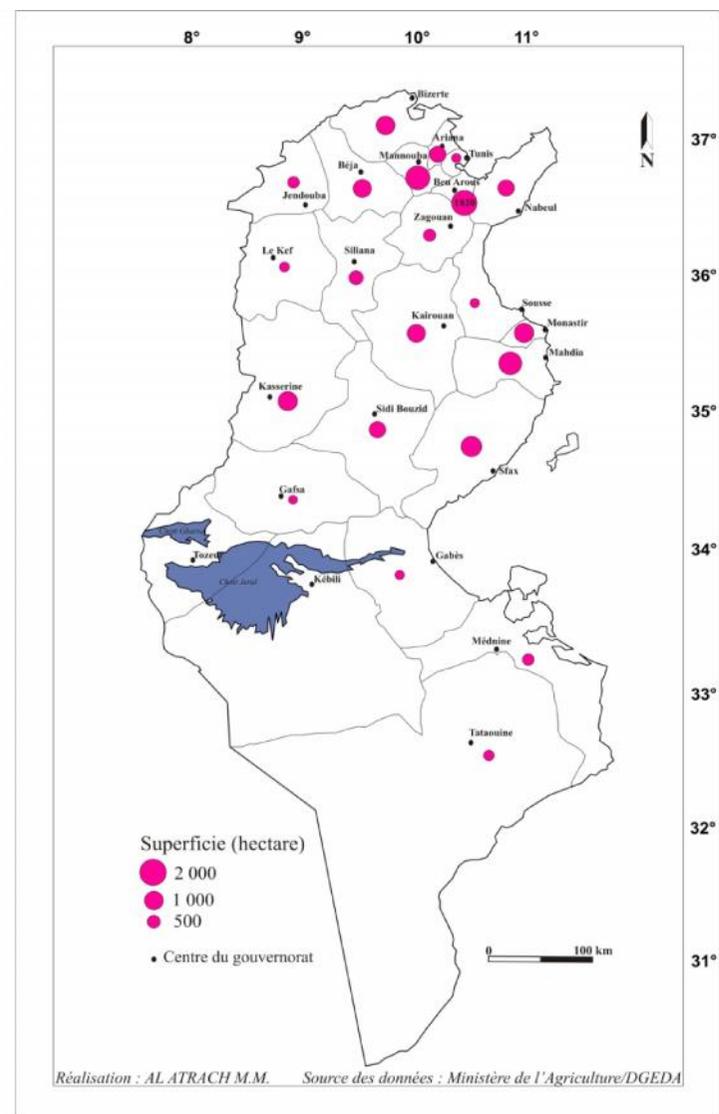


Figure 81. Répartition des superficies des pêchers par gouvernorat en 2005 en Tunisie.

Les pistaches mûrissent entre avril et juillet. Durant cette période, la fréquence maximale moyenne de la grêle s'observe au Nord-ouest et au Centre-ouest du pays puis elle baisse vers l'Est (figure 82). Des maxima moyens de plus d'un jour de grêle sont enregistrés dans les stations d'Ain Drahem et El Féija ainsi qu'à Kasserine.

Parmi les quatre premiers gouvernorats en surfaces de pistachiers, il n'y a qu'à Sfax où cet arbre fruitier se trouve tout à fait à l'abri du risque-grêle. En entrant vers l'intérieur du pays, à Sidi Bouzid, Gafsa et Kasserine, cet arbre souffre parfois des effets des chutes de grêle. Au cours de l'année 1994/1995, les chutes de grêle ont totalement endommagé 825 hectares de pistachiers à Kasserine causant une perte de production de 3 100 tonnes.

De même à Gafsa, si la grêle est peu fréquente entre avril et juillet avec à peine 0,25 jour/an, les traces de ce phénomène se manifestent parfois. Le jeudi 18 mai 2000, des orages de grêle provenant du Nord-ouest sont passés sur le gouvernorat de Gafsa, causant des dégâts à hauteur de 50 à 100% sur 932,5 hectares de pistachiers. Les rapports ont déclaré qu'environ 700 agriculteurs étaient sinistrés et que le coût des dommages s'élevait à environ 164 000 DT.

### 3.3.12. *Les pommiers et les poiriers*

Les pommiers et les poiriers sont très courants en Tunisie. Leur superficie totale de 42 140 hectares, les place en troisième position après les oliviers et les amandiers. Les plus vastes étendues se trouvent dans le Nord (23 660 hectares) et dans le Centre (14 050 hectares). A l'échelle des gouvernorats, c'est celui de Kasserine qui est le plus important avec 6 340 hectares, soit plus de 15% de l'ensemble (figure 85).

Les pommes et les poires mûrissent entre mai et septembre, à l'instar des pêchers. Durant les cinq mois de l'été méditerranéen, le phénomène de la grêle marque sa présence en particulier au Centre du pays, on compte ainsi environ deux jours de grêle en moyenne (figure 84) dans les Hautes Steppes au Centre-ouest du pays (dans la station de Kasserine). Dans les régions du Haut Tell et du Centre-est, le nombre moyen de jour de grêle varie entre 0,5 et 1 jour. Enfin, le phénomène de la grêle demeure totalement absent dans le reste du pays.

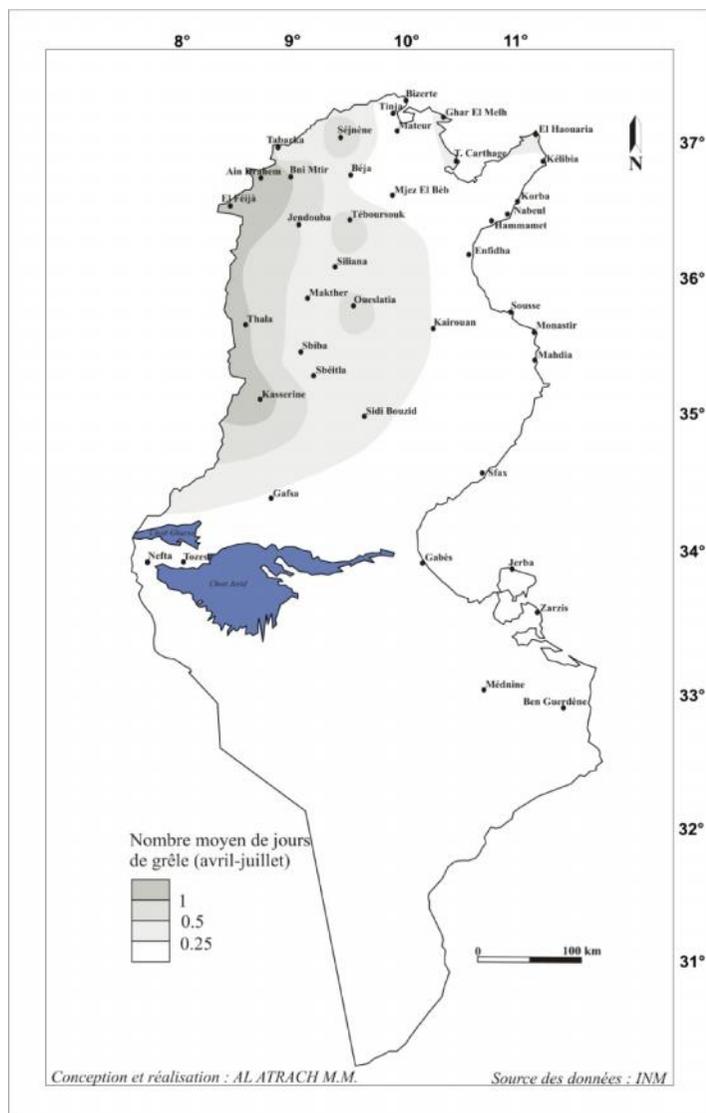


Figure 82. Répartition des chutes de grêle pendant la maturation des pistaches.

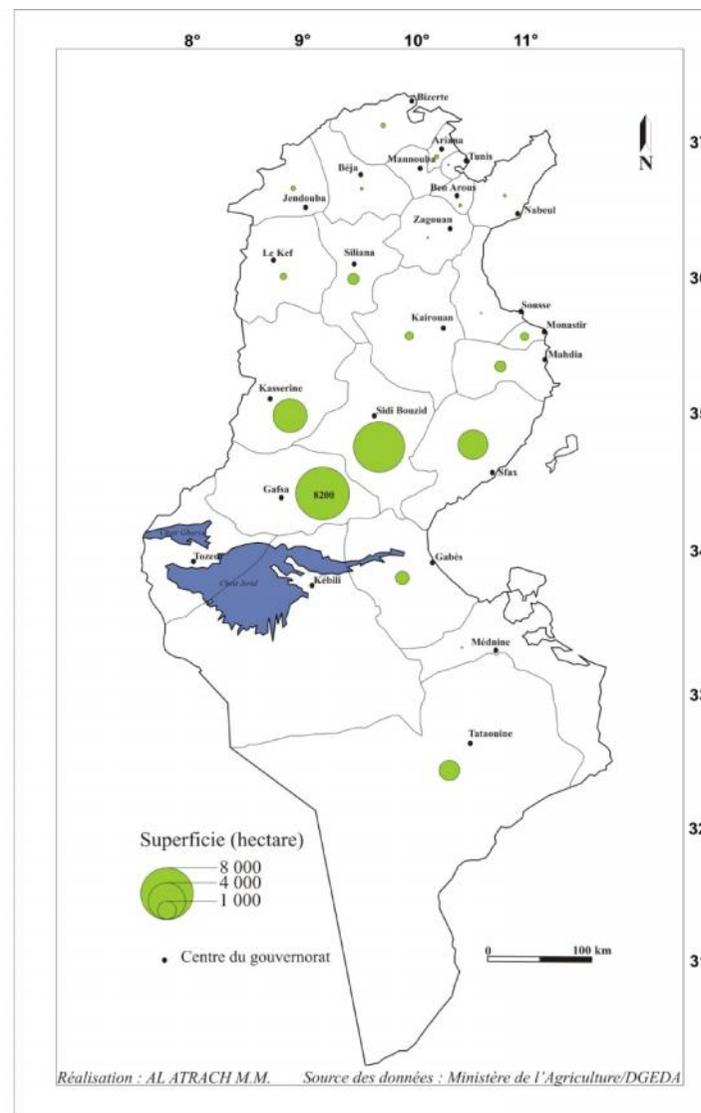


Figure 83. Répartition des superficies des pistachiers par gouvernorat en 2005 en Tunisie.

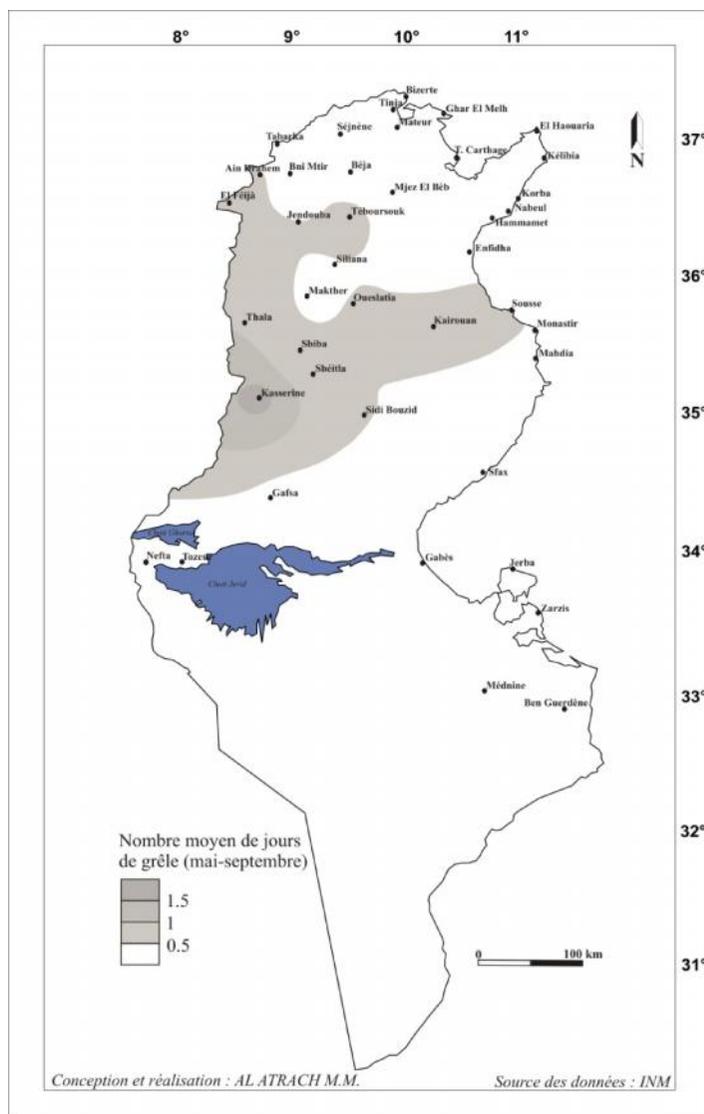


Figure 84. Répartition des chutes de grêle pendant la maturation des pommes et des poires.

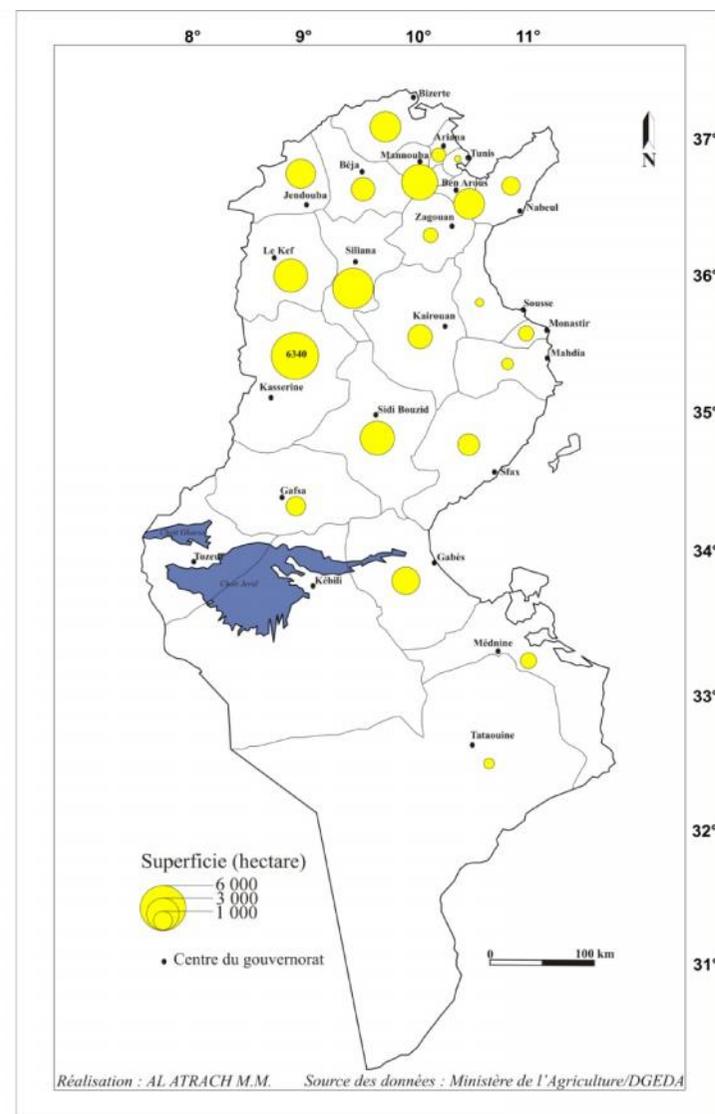


Figure 85. Répartition des superficies de pommiers et de poiriers par gouvernorat en 2005 en Tunisie.

La comparaison entre les deux cartes de la figure indique que les pommiers et les poiriers du Centre sont les plus vulnérables au risque-grêle alors que ceux du Nord se trouvent, loin d'être menacés par ce phénomène. Le lundi 11 août 1997, un orage de grêle provenant de l'Ouest du pays a éclaté dans le gouvernorat de Kasserine et a endommagé la totalité de la centaine d'hectares de pommiers (photo 24 et 25) et de poiriers appartenant à 62 agriculteurs.



**Photo 24. Effets de la chute de grêle du 24/08/2008 sur les poiriers de Foussana (cliché : CTAMA).**



**Photo 25. Effets de la chute de grêle du 24/08/2008 sur les pommiers de Foussana (cliché : CTAMA).**

### **3.4. La pomme : une culture à vulnérabilité maximale**

#### **3.4.1. Un arbre fruitier à longue exposition aux chutes de grêle d'été**

Les pommes arrivent à maturité entre mai et septembre et parfois cette période se prolonge jusqu'à octobre. Les zones où les pommes sont le plus touchées par la grêle sont le Centre du pays, notamment dans les Hautes Steppes. La station de Kasserine, la plus exposée à la grêle pendant ces cinq ou six mois, enregistre un maximum moyen de jours de grêle allant jusqu'à 2 jours. Or, les pommeraies les plus étendues se concentrent aussi à Kasserine (figure 87) et représentent 5 730 hectares soit environ le ¼ de la totalité. Ce sont aussi les plus vulnérables au risque-grêle.

D'une année à l'autre, on observe dans le tableau 18 que les agriculteurs sont régulièrement touchés par la grêle: les chutes de grêle des 02 et 10 mai 2002 ont causé des dégâts à hauteur de 100% sur les 2 515 hectares de pommiers en cours de maturation. Parmi eux, pas moins de 2000 hectares sinistrés se trouvent dans la délégation de Sbiba. Les rapports ont mentionné aussi une chute de la production de plus de 9 000 tonnes.

Années	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Superficies endommagées (hectares)	585	70	238	1890	?	858	636	2972
Proportion des dégâts (%)	20 à 100	30 à 100	40 à 100	50 à 100	?	30 à 100	50 à 100	20 à 100

Tableau 18. Effets de la grêle à Kasserine (source : CRDA de Kasserine).

Les pommiers des gouvernorats du Kef, Siliana, Kairouan et de Sidi Bouzid sont moins vulnérables au risque-grêle que ceux de Kasserine, en effet, leur fréquence de grêle varie entre 0,5 et 1 jour. Dans le reste du pays, il apparaît que cette culture n'est pas exposée à l'aléa de la grêle (figure 86).

#### 3.4.2. Des exigences en qualité en hausse

Les pommes se vendent et se consomment fraîches. La recherche d'une bonne qualité et l'objectif "zéro défaut" constituent donc un des facteurs d'augmentation de la vulnérabilité. Cette exigence est dictée par les consommateurs sourcilleux et par la hausse de la concurrence sur les marchés d'exportation. Cette exigence ne tolère pas la moindre tavelure ou blessure sur les produits. Les effets des grêlons sur les pommes rendent ces produits impropres à la vente.

Tous ces facteurs dictés par une haute exigence de qualité font de la pomme un fruit particulièrement vulnérable à la grêle. D'ailleurs, elle s'est trouvée au cœur de la crise-grêle de 2002.

## 4. Les pratiques culturales influencent-elles le risque-grêle ?

### 4.1. Les cépages tardifs du Nord-est

Un cépage, une variété de plante nommée vigne, donne un type précis de raisin. Il existe différents cépages, à raisin blanc, noir, préférant la chaleur ou le froid, poussant sur des sols calcaires ou argileux. Le vin est défini par une combinaison cépage-terroir (biologie, géologie et météo) magnifiée par le savoir-faire du viticulteur qui rend infinies les possibilités vinicoles.

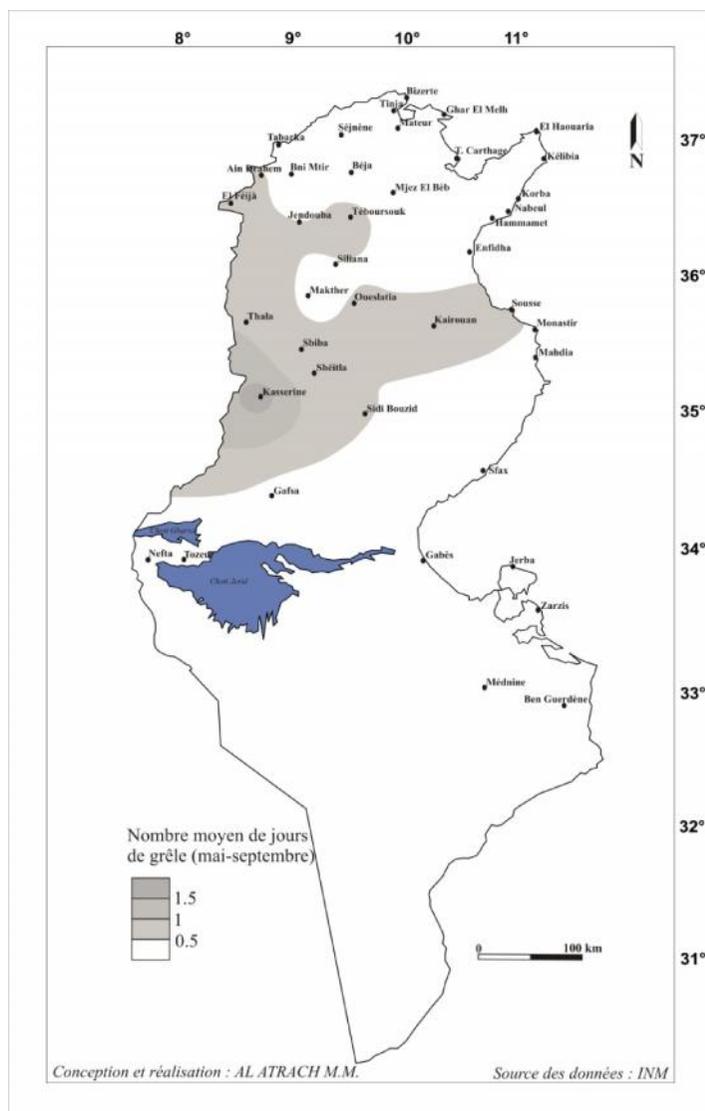


Figure 86. Répartition des chutes de grêle pendant la maturation des pommes.

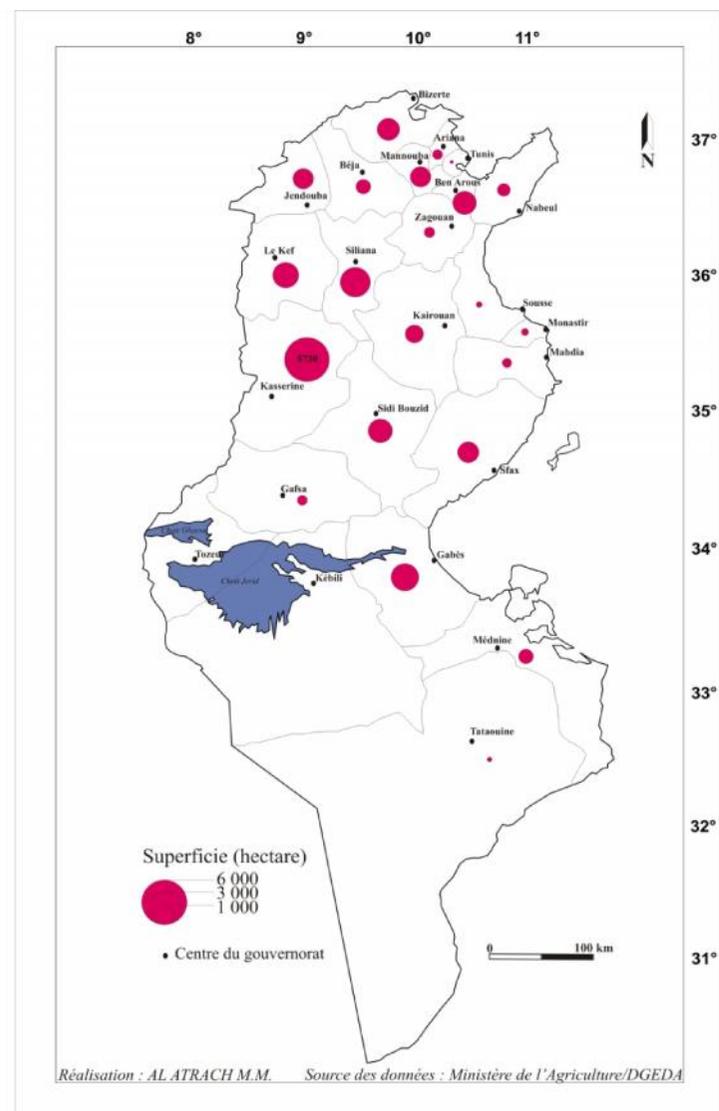


Figure 87. Répartition des superficies des pommiers par gouvernorat en 2005 en Tunisie.

On trouve, généralement, les cépages précoces productifs entre juin août (figure 88). Ils sont caractéristiques des champs des vignobles du Centre et du Sud du pays (le gouvernorat de Gabès en particulier). Il y a aussi les cépages de saison (du mi-août au mois d'octobre) et les cépages tardifs productifs uniquement du mi-novembre au mois de décembre. Ces deux derniers types sont présents dans le Nord de la Tunisie notamment dans la région du Cap Bon (gouvernorat de Nabeul) et dans la région de Tunis (gouvernorat de Ben Arous).

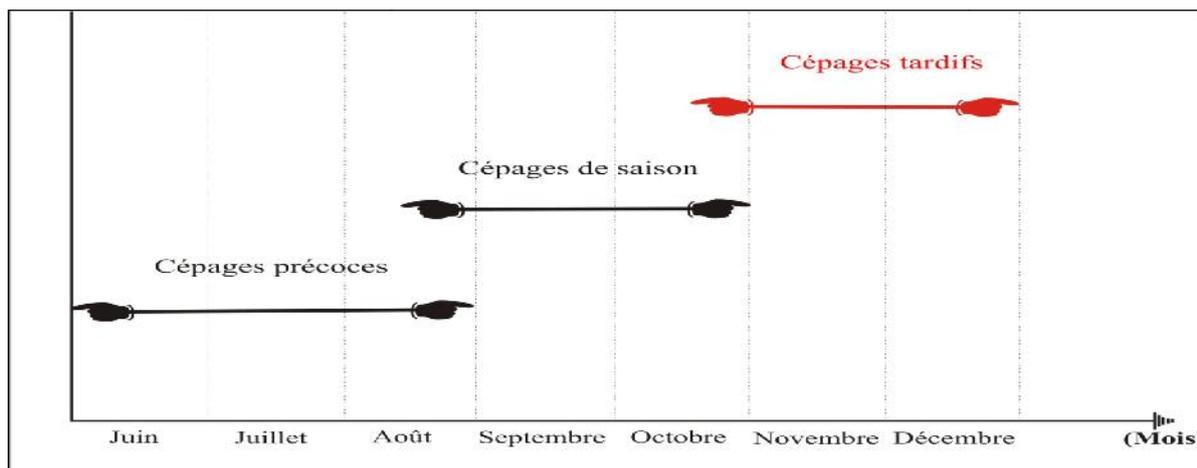


Figure 88. Périodes des cépages en Tunisie (source : Gi Fruits).

Les cépages de saison et les cépages tardifs du Nord-est sont les plus exposés à la grêle. Leur production qui s'étale de septembre à décembre coïncide avec l'augmentation de la fréquence mensuelle moyenne des chutes de grêle dans la région concernée (figure 89). Les valeurs moyennes de chutes de grêle passent de presque 1 jour entre septembre et octobre à plus de 3 jours à décembre.

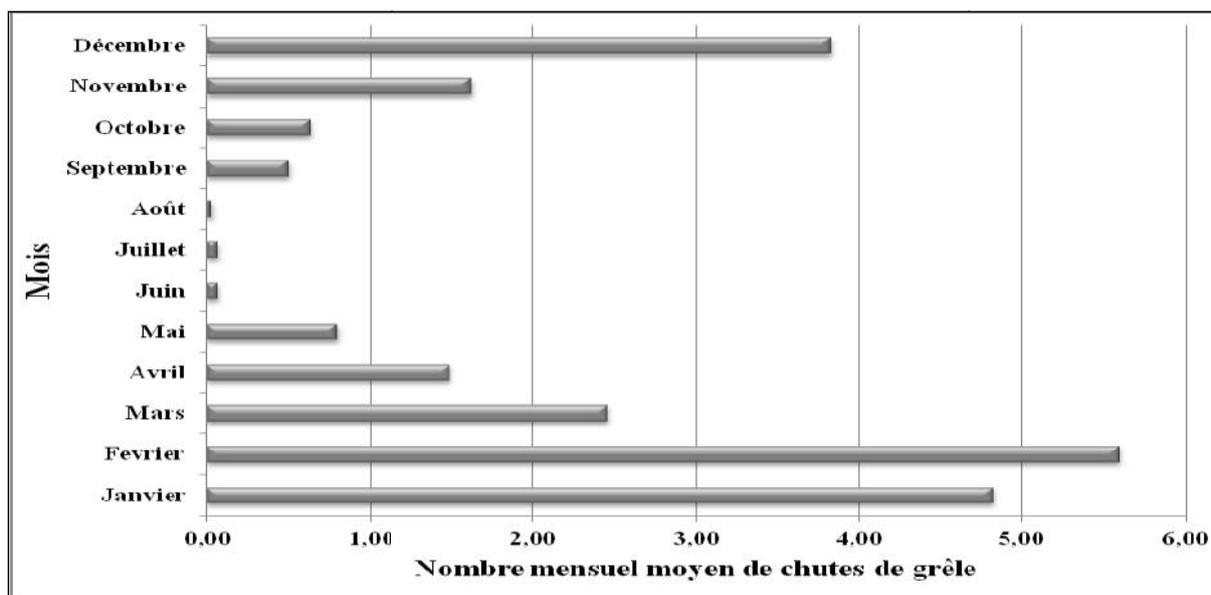


Figure 89. Nombre mensuel moyen de chutes de grêle dans les stations du Nord-est de la Tunisie entre 1976 et 2005 (Source des données : INM).

#### 4.2. L'influence exercée par l'orientation des rangs des vignes

L'orientation des rangs influe aussi sur les dégâts : selon que la grêle les " prend " en long ou en travers (photo 26), une autoprotection peut jouer en fonction du mode de plantation (espacement dans les rangs et entre les rangs), la taille et le feuillage a alors un rôle d'écran plus ou moins influent. Il arrive fréquemment, que deux parcelles contigües de quelques ares voient leurs dommages varier du simple au double, uniquement parce que les rangs de l'une sont perpendiculaires à ceux de l'autre.



Photo 26. L'influence exercée par l'orientation des rangs des vignes.

#### 4.3. Les variétés de pommes tardives du Centre-ouest plus exposées au risque grêle

Les variétés tardives très exposées aux chutes de grêle intéressent aussi les pommiers situés dans la région du Centre-ouest, notamment dans le gouvernorat de Kasserine (figure 90). La superficie totale des pommiers était de 5 730 hectares en 2010. Or, 5 427 hectares, soit environ 95%, sont des variétés tardives dont la récolte s'effectue vers la fin septembre ou durant le mois d'octobre (*Golden Delicious* et *Richared*). Les 303 hectares (5%) restant sont des variétés précoces dont la récolte n'a jamais lieu après juillet (*Aziza*, *Zina* et *Chahla*).

Les délégations qui se trouvent à Sbiba et à Foussana, sont les premières en terme de production et en terme de surfaces de pommiers; en effet, on dénombre 4 100 hectares de pommeraies, soit presque les  $\frac{3}{4}$  de la superficie totale de tout le gouvernorat. On remarque aussi que 3 870 hectares sont des variétés tardives, soit environ 95%.

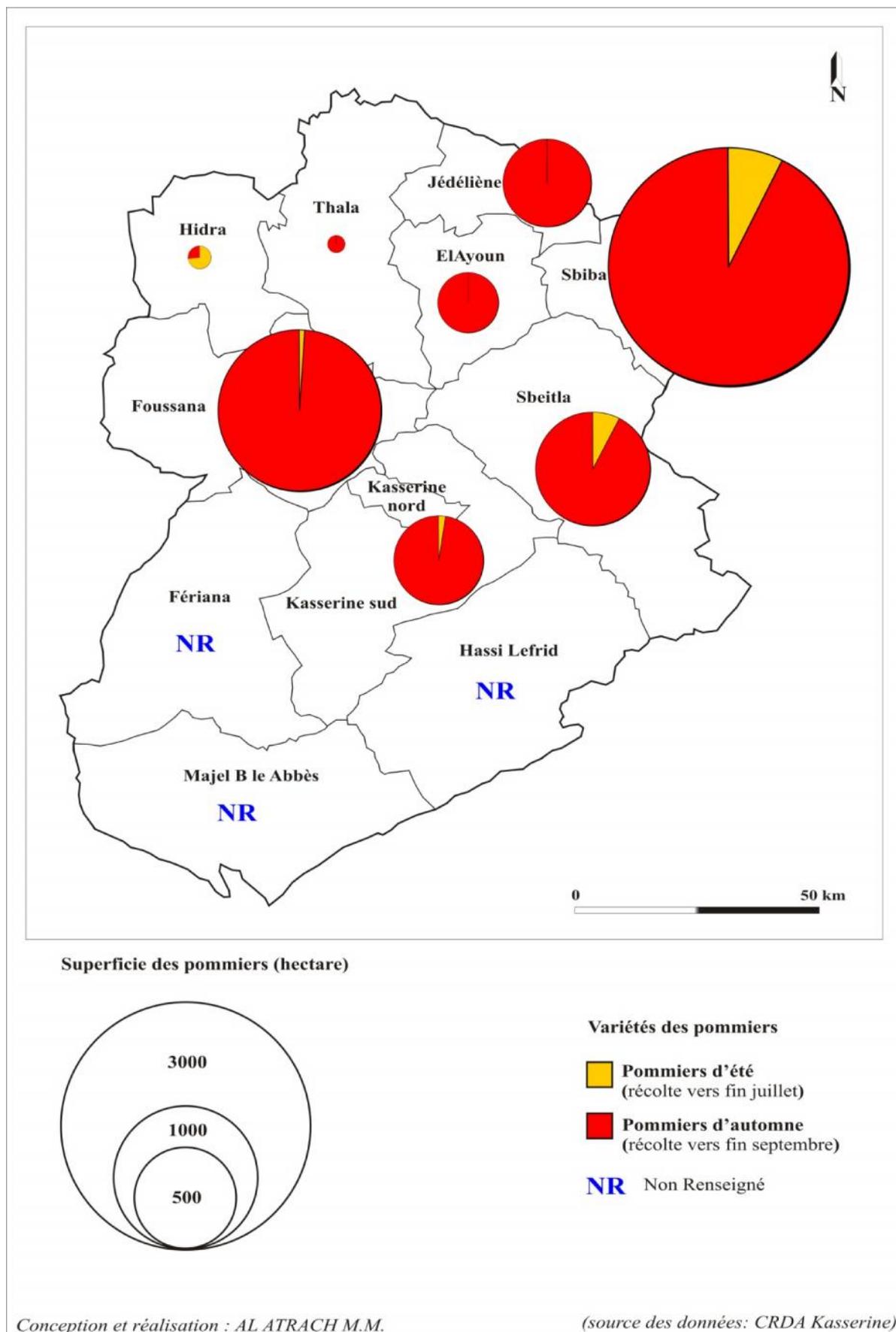


Figure 90. Répartition des superficies et des variétés des pommes par délégation au gouvernorat de Kasserine en 2010.

Dans les délégations de Sbeïtla et Kasserine on observe la même situation : les variétés de pommiers tardifs gardent l'avantage sur les autres. Par ailleurs, dans les délégations de Jédéliène, Thala et El Ayoun, on ne compte que 475 hectares de pommiers (8,3% seulement de la superficie totale du gouvernorat), mais il n'y pousse que des variétés à récolte tardive.

Les variétés de pommiers à récolte tardive conservent les fruits sur pieds jusqu'aux mois de septembre ou octobre, cela augmente donc leur durée d'exposition aux chutes de grêle, notamment celles d'été. En outre, la région du Centre-ouest, fortement productrices en pomme s'avère être le passage obligé des trajectoires de grêle.

### **5. Répartition des cultures amplifie le risque-grêle**

L'implantation des cultures coïncide avec la géographie de la fréquence moyenne des chutes de grêle (tableau 19). Ainsi, la géographie de ces cultures amplifie le risque-grêle. Les cultures les plus vulnérables (fruits) sont situées dans les régions où les chutes de grêle sont les plus fréquentes (hiver), ou les plus intenses (été). L'été par exemple, les fruits nécessitent de la chaleur pour parvenir à maturation; cependant les hautes températures favorisent aussi localement le déclenchement d'orages.

Les cultures céréalières, bien qu'elles ne soient exposées que trois mois aux chutes de grêle dommageables et soient physiologiquement moins sensibles, leur répartition dans les différentes régions de la Tunisie révèle une nette disparité sur le plan de leur vulnérabilité. Or, ce sont dans les vastes étendues du Haut Tell (Le Kef, Siliana et Jendouba) et des Hautes Steppes (Kasserine) que se concentrent les maxima estivaux moyens de jours de grêle. En revanche, dans le reste du pays, cette culture se trouve aussi importante mais moins vulnérable au risque-grêle. C'est, en fait, la fréquence moyenne de la grêle qui est devenue de plus en plus faible, notamment au Nord du pays (Béja, Bizerte et Zaguouan) et dans les Basses Steppes (Kairouan et Sidi Bouzid).

Quant aux cultures fruitières, elles sont pratiquées partout en Tunisie. Cependant leur géographie révèle elle aussi de grandes disparités entre les différentes régions du territoire. Les vignobles du Nord-est du pays, notamment celles de la région du Cap Bon, sont les plus exposées et constituent les plus vastes surfaces viticoles.

Régions naturelles	Gouvernorats	Vulnérabilité agricole				
		Forte		Faible		
Les côtes du Nord-est	Bizerte				Céréaliculture, Vignes, Agrumes, Poiriers, Pruniers et Pommiers	
	Mannouba	Vignes et Agrumes			Poiriers et Pommiers	
	Ariana	Vignes et Agrumes			Poiriers et Pommiers	
	Tunis	Vignes et Agrumes			Poiriers et Pommiers	
	Ben arous	Vignes et Agrumes			Poiriers et Pommiers	
	Nabeul	Vignes, Agrumes et Grenadiers			Poiriers et Pommiers	
Les plaines du Nord	Béja		Pommiers	Céréaliculture, Pruniers, Pêchers et Poiriers	Agrumes et Grenadiers	
	Zaghouan				Céréaliculture et Pommiers	
	Jendouba		Pommiers et Pruniers	Céréaliculture, Pêchers et Poiriers	Agrumes	
Le Haut Tell	Le Kef	Céréaliculture	Pommiers, Pruniers, Pêchers et Poiriers	Pistachiers		
	Siliana	Céréaliculture	Pommiers, Poiriers et Pruniers	Amandiers, Pêchers et Pistachiers	Grenadiers	
Les régions côtières centrales	Sousse				Oliviers, Agrumes, Grenadiers et Poiriers	
	Monastir				Oliviers, Grenadiers, Pistachiers et Poiriers	
	Mahdia				Oliviers, Amandiers, Grenadiers et Pistachiers	
	Sfax				Oliviers, amandiers, Pistachiers, Poiriers et Pommiers	
Les Hautes Steppes	Kasserine	Pommiers, Céréaliculture, Abricotiers, Amandiers, Pruniers, Pêchers, Pistachiers et Poiriers				
	Gafsa		Pistachiers	Amandiers, pruniers, Pêchers, Poiriers et Pommiers		Dattiers
Les Basses Steppes	Kairouan		Pommiers	Pêchers, Pistachiers et Poiriers	Céréaliculture, Oliviers, Abricotiers, Amandiers, Grenadiers, Agrumes,	
	Sidi Bouzid		Pistachiers	Pêchers, Pruniers, Poiriers et Pommiers	Céréaliculture, Oliviers Amandiers et Grenadiers	
Les côtes du Sud	Gabès			Pommiers	Vignes, Grenadiers, Pistachiers et Poiriers	Dattiers
	Médénine				Vignes, Oliviers, Poiriers et Pommiers	Dattiers
Les extrêmes sud et sud-ouest	Tozeur					Dattiers
	Kébili					Dattiers
	Tataouine				Pistachiers	Dattiers

Tableau 19. Vulnérabilité des cultures aux chutes de grêle en Tunisie.

Les agrumes, culture très présente dans la région du Nord-est, a une situation semblable à celle des vignobles et un même niveau de vulnérabilité, bien que, les agrumes semblent moins fragiles que les vignes. De plus, la pratique des variétés tardives amplifie sans doute la vulnérabilité de ce type de culture méditerranéenne. Les autres superficies d'agrumes du Nord (Bizerte et Béja) et du Centre (Kairouan) se trouvent, par ailleurs, à l'abri du risque-grêle.

Les arbres fruitiers à pépins, plantés sur tout le territoire, sont très exposés et tout-à-fait vulnérables. La pomme, fruit caractéristique des régions intérieures du pays, constitue le principal enjeu macroéconomique du risque-grêle. Les pommes des Hautes Steppes (Kasserine en détient plus du ¼) sont les plus sensibles et les plus vulnérables en effet, d'une année à l'autre, on observe toujours d'importants dégâts liés à la grêle. Ils se sont trouvés au cœur de la crise qui a frappé le système de gestion du risque-grêle en 2002.

Hormis celles de la région du Haut Tell (Le Kef et Siliana) directement sujettes aux chutes de grêle dommageable l'été, on observe que les poires se trouvent, peu vulnérables au risque grêle, comme dans le Nord-est (Ben Arous et Bizerte) et au Centre-est (Sidi Bouzid et Monastir).

La vulnérabilité des fruits à noyau (pêchers, abricotiers et pruniers) est liée à la géographie de ces cultures selon la répartition spatiale des chutes de grêle. Les pêchers du Nord et du Centre, les abricotiers des Basses Steppes et les pruniers du Nord sont peu vulnérables à la grêle d'été, alors que dans les Hautes Steppes (Kasserine) la situation est très critique.

Les dattiers, les amandiers et les oliviers, sont les seules cultures fruitières à ne subir que très faiblement les effets de la grêle. Tout le Sud tunisien, très rarement grêlifère, offre aux dattiers l'opportunité d'être totalement à l'abri du risque-grêle. Les amandiers et les oliviers, pratiqués essentiellement dans le Centre-est, sont aussi peu touchés par la grêle que ce soit les olives en hiver ou les amandes en été.

## **Conclusion**

La vulnérabilité se détermine par des paramètres propres aux différents types de cultures (la physiologie des plantes) et par d'autres qui conditionnent l'environnement de ces cultures (exposition temporelle et géographique au risque-objet). On distinguera :

- une vulnérabilité conjoncturelle déterminée par l'expertise après réalisation du risque, c'est-à-dire après la chute de grêle, et dans ce cas, les dégâts sont habituellement à la charge de l'agriculteur.

- une vulnérabilité structurelle qui peut être déterminée *a priori* et reste spécifique à chaque culture.

Dans le cas de la vulnérabilité agricole, et suite à la variation des facteurs qui interviennent, les cultures ne présentent pas le même risque à l'aléa de la grêle. En fonction de la vulnérabilité des cultures, une hiérarchie s'instaure traduisant l'acuité du risque-objet (figure 91).

Un autre aspect de la vulnérabilité s'explique par la durée d'exposition des cultures à l'aléa grêle ; cette durée varie selon le type de culture ainsi qu'avec la répartition des cultures en fonction des zones de chutes de grêle dommageable.

L'échelle de sensibilité des cultures ci-dessous est le résultat des différents aspects de vulnérabilité des cultures. Cette échelle, établie par les assureurs, répartit les cultures en plusieurs classes très précises qui traduisent les degrés de sensibilité des produits agricoles sur pied (tableau 20).

La classification des sensibilités des cultures a pour finalité l'établissement par les assureurs d'une tarification du risque-grêle. Cette tarification, qui varie selon les classes et les régions (géographie des cultures), est utile pour déterminer les taux de cotisation.

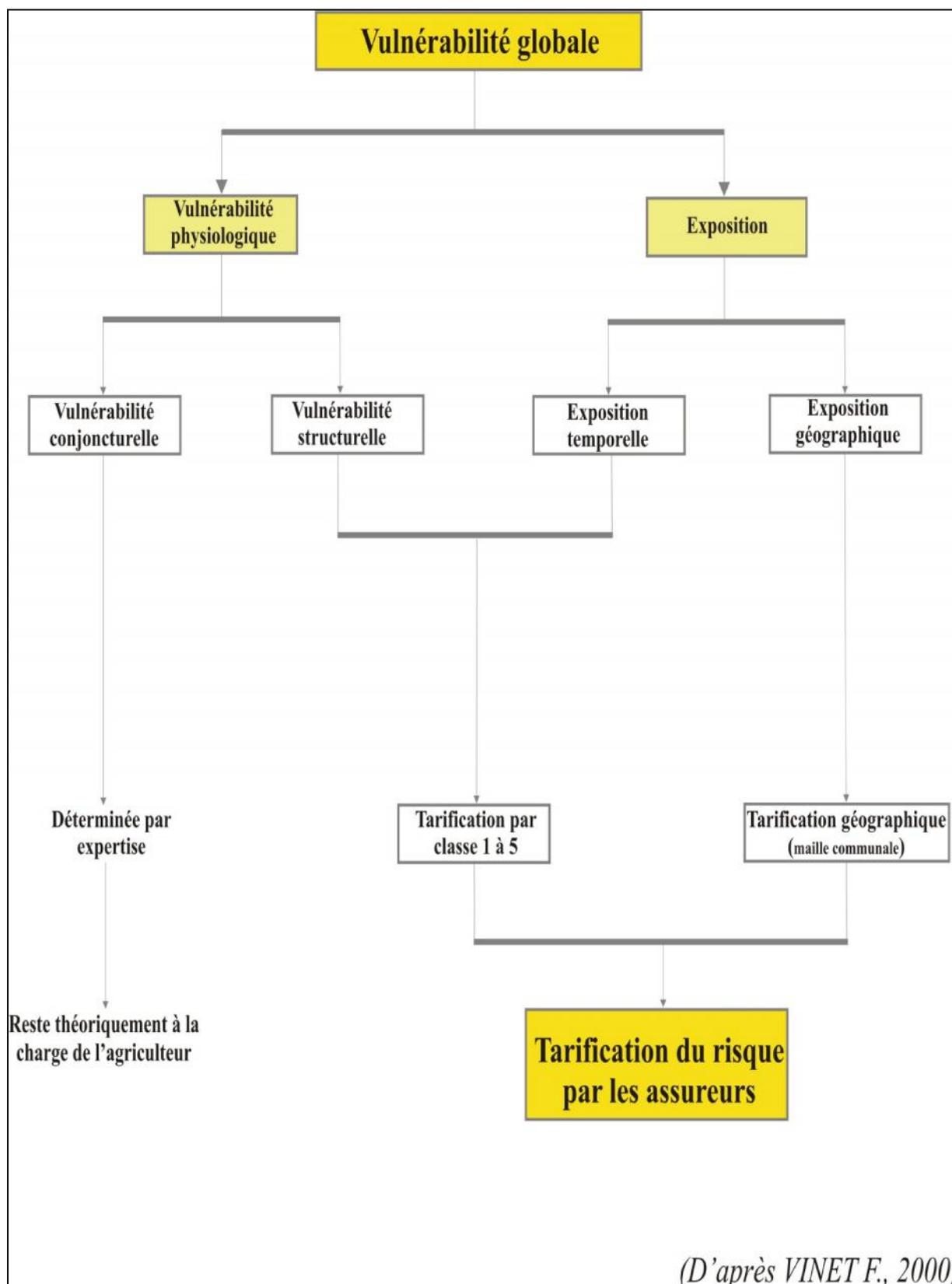


Figure 91. De la vulnérabilité des cultures à la tarification.

Classe	Type de culture	Variétés	Prix unitaire (DT)	
Classe 1	Blé	Blé dur	29.500 (le quintal)	
		Blé tendre	27.000 (le quintal)	
Classe 2	Autres céréales	Orge	17.000 (le quintal)	
		Triticales	18.000 (le quintal)	
Classe 3	Olives	Olives à l'huile	0.400 (le quintal)	
		Olives de table	0.850 (le quintal)	
Classe 4	Légumes	Tomates	0.100 à 0.200 (le quintal)	
		Poivres	0.250 (le quintal)	
		Pastèques	0.300 (le quintal)	
		Melons	0.300 (le quintal)	
Classe 5	Arbres fruitiers	Agrumes	0.350 à 0.500 (le kilogramme)	
		Vignes	de table	600.000 (la tonne)
			de cuve	350.000 (la tonne)
		Abricots	0.500 (le kilogramme)	
		Prunes	0.500 (le kilogramme)	
		Pêches	0.600 (le kilogramme)	
		Pommes	0.600 (le kilogramme)	
		Poires	0.600 (le kilogramme)	
		Grenades	0.400 (le kilogramme)	
		Pistaches	4.000 (le kilogramme)	
Amandes	3.000 (le kilogramme)			

Tableau 20. Echelle de sensibilité des cultures d'après les assureurs dans le gouvernorat de Kasserine (Centre-ouest) pour la campagne agricole 2004/2005 (source : CTAMA de Kasserine)

## Chapitre 5. Les dégâts de la grêle

### Introduction

En Tunisie, les dégâts de grêle sont très rarement étudiés et demeurent peu connus, bien que l'agriculture subisse certaines années des dommages aux coûts très élevés. Cette lacune s'explique, soit par l'insuffisance de suivi du phénomène par les organismes en question, soit par l'absence de mesure comme les grêlimètres.

Les données de l'assurance-grêle demeurent donc le moyen de mesure le plus fiable. Par ailleurs, en réalité, ce moyen ne prend pas en charge toutes les cultures, et même pour une seule culture il ne prend pas toutes les superficies exploitées, ni tous les dommages car une partie des dommages restent à la charge des assurés. Ce n'est donc qu'une vision très partielle des dommages dont nous pouvons disposer au travers des données assurancielles.

Dans notre évaluation des dommages dus à la grêle, nous présenterons, d'abord, les moyens de mesures des dégâts de grêle, puis, nous nous référerons aux cultures concernées par l'assurance en essayant d'identifier la part annuelle du produit agricole détruite par les chutes de grêle. Enfin, nous étudierons la répartition géographique des dégâts de grêle dans les régions tunisiennes et si cette répartition reflète la géographie des chutes de grêle ?

### 1. Dégâts de grêle et ses mesures

#### *1.1. Le grêlimètre : une bonne approche de mesure de l'intensité de la grêle*

Le grêlimètre est un appareil simple mis au point par des chercheurs canadiens, qui permet d'enregistrer la trace des impacts de grêlons arrivant au sol. Il est constitué d'un piquet métallique de 1,50 m de haut supportant, une tôle horizontale sur laquelle est disposée une plaque peinte en blanc en polystyrène extrudé de 30 cm x 40 cm (photo 27). Après la chute de grêle, les impacts de grêlons sont rendus visibles par un encrage noir de la plaque au rouleau d'imprimerie, de façon à faire ressortir les cuvettes d'impact (photo 28).



Photo 27. Glêlimètre en place (Source : [www.anelfa.asso.fr](http://www.anelfa.asso.fr))

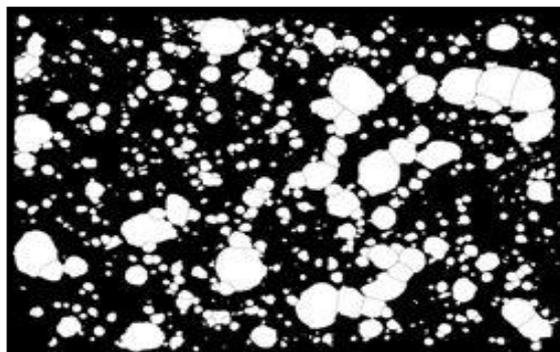


Photo 28. Encrage en noir d'une plaque grêlimétrique (Source : [www.anelfa.asso.fr](http://www.anelfa.asso.fr)).

Le dépouillement est effectué par scanner, et un étalonnage permet de déterminer le diamètre de chaque grêlon à l'origine d'un impact (photo 29). A partir de 5 mm de diamètre, on peut ensuite déterminer par cumul le nombre de grêlons tombés dans différentes gammes de dimension, leur nombre total, leur masse correspondante et leur énergie cinétique ...etc.



Photo 29. Dépouillement par scanner des diamètres des Grêlons (Source : [www.anelfa.asso.fr](http://www.anelfa.asso.fr)).

Parmi les paramètres les plus significatifs d'une chute de grêle, on note le diamètre des plus gros grêlons, le nombre total de grêlons de diamètre supérieur à 7 mm (donc susceptibles de provoquer des dommages aux végétaux), et surtout l'énergie cinétique globale de la chute de grêle. Cette énergie est la somme de l'énergie cinétique individuelle de chaque grêlon. Comme les tremblements de terre, les cyclones ou les tornades, dont les intensités sont repérées sur des échelles internationales et permettent de spécifier les dommages et de procéder à des comparaisons, la grêle est un phénomène tellement violent qu'il semblerait utile de lui attribuer également une échelle d'intensité. Dans ce sens, beaucoup de chercheurs ont pris en charge l'étude de la trace et l'intensité de la grêle au sol dont BRETHET C. et al, (2013), DESSENS J. (1978, 1980 et 1998), FARNELL C. et al (2009), GRIFFITH MM. et al, (1974) et PALENCIA C. et al, (2009).

L'ANELFA<sup>46</sup> a proposé une échelle basée sur la mesure de près de 4000 chutes de grêle enregistrées en France sur ses réseaux de grêlimètres<sup>47</sup> depuis 1988. Le résultat final de cette mesure se traduit dans le tableau 21 qui représente l'échelle de l'intensité des grêlons après leur chute.

Classe ANELFA	A0	A1	A2	A3	A4	A5
<b>Diamètre maximal des grêlons</b>	< 1 cm	1 – 1.9 cm	2 – 2.9 cm	3 – 3.9 cm	4 – 4.9 cm	5 cm
<b>Terme usuel</b>	Grésil, petit pois	Bille, grain de raisin, cerise	Œuf de pigeon, pièce de 2 €	Noix, balle de ping-pong	Œuf de poule, balle de golf	Pêche, pomme, orange, balle de tennis
<b>Energie cinétique moyenne</b>	10 J.m <sup>2</sup>	50 J.m <sup>2</sup>	200 J.m <sup>2</sup>	500 J.m <sup>2</sup>	800 J.m <sup>2</sup>	?
<b>Dommmages</b>	Accidents de la route, fleurs coupées	Dommmages aux vignes, vergers, tabac	Dommmages importants aux céréales, légumes, arbres	Dommmages à 100% sur toute culture, vitres cassées, voitures endommagées	Paysage d'hiver, animaux tués, personnes blessées, avions au sol endommagés	Evènement extrêmement dangereux, risque mortel
<b>Couverture moyenne du sol</b>	0.1	0.15	?	0.35	0.35	?

Tableau 21. Echelle d'intensité des chutes de grêle (Source : [www.anelfa.asso.fr](http://www.anelfa.asso.fr)).

### 1.2. Peut-on estimer l'aléa à partir des dommages sur les cultures ?

Après avoir déterminé la part des dommages dus à d'autres causes que la grêle, l'expert, d'après ces traces, et en fonction du stade végétatif au moment de la chute, et d'après ses propres connaissances ou son expérience des réactions spécifiques des plantes à la grêle, sera en mesure d'avoir une idée précise de l'intensité, de la taille, du nombre et de la direction des grêlons.

<sup>46</sup> ANELFA : Association Nationale d'Etude et de Lutte contre les Fléaux Atmosphériques.

<sup>47</sup> La conception physique de cette échelle a été présentée à la troisième Conférence Européenne sur les Orages Violents qui a eu lieu à Leon (Espagne) du 9 au 12 novembre 2004, elle est décrite en détail dans l'article de DESSENS, J., BERTHET C., and SANCHEZ J.L., (2007)- *A point hailfall classification based on hailpad measurements-*, *The ANELFA scale. Atmospheric Research.*, 83, 132-139.

### 1.2.1. L'intensité des chutes des grêlons.

L'ampleur des traces sur la plante (feuilles déchirées, fruits endommagés ou tombés, branches blessées ou cassées...etc.), permet de comprendre l'intensité des grêlons. Avec des chutes de grêle accompagnées de vents forts et de pluies, l'intensité est généralisée sur l'ensemble de la végétation. Pour le cas des arbres fruitiers, l'intensité des chutes des grêlons se traduit par des fruits tombés (photos 30, 31 et 32), des branches blessées (photo 33), feuilles déchirées (photos 34 et 35) et une masse de feuillage détruite de plus de 2/3 (photos 36, 37, 38 et 39).

Dans le cas de chutes de grêle sèches, les coups des grêlons sont ponctuels sur la végétation mais chacun peut détruire une partie importante de la plante, causant très souvent des graves cassures au niveau des branches (photos 40 et 41). Parfois les équipements agricoles sont touchés et montrent, de fait, la forte intensité des chutes des grêlons ; ce fut le cas de la chute de grêle du 02/06/2007 à Gafsa, dans le Sud-ouest tunisien, où des grêlons de plus de 20 mm de diamètre ont provoqué l'éclatement de tuyaux en polyéthylène destinés à la conduite de l'eau d'irrigation (photo 42).



Photo 30. Effets de la chute de grêle du 24/08/2008 sur les pommes du Foussana (source : CTAMA).



**Photo 31. Effets de la chute de grêle du 24/08/2008 sur les olives du Foussana (source : CTAMA).**



**Photo 32. Effets de la chute de grêle du 24/08/2008 sur les pistaches du Foussana (source : CTAMA).**



**Photo 33. Effets de la chute de grêle du 29/07/2010 sur les oliviers dans le secteur de Sbiba (cliché : AL ATRACH M.M.).**



**Photo 34. Effets de la chute de grêle du 02/06/2007 sur les pastèques du Guettis à Gafsa (cliché : CRADA de Gafsa).**



*Photo 35. Effets de la chute de grêle du 24/08/2008 sur les pommiers du Foussana à Kasserine (source : CTAMA).*



*Photo 36. Effets de la chute de grêle du 24/08/2008 sur les pommiers du Foussana à Kasserine (source : CTAMA).*



**Photo 37. Effets de la chute de grêle du 24/08/2008 sur les pommiers du Foussana à Kasserine (source : CTAMA).**



**Photo 38. Effets de la chute de grêle du 24/08/2008 sur les pommiers du Foussana à Kasserine (source : CTAMA).**



**Photo 39.** Effets de la chute de grêle du 18/05/2008 sur les arbres fruitiers du Sers au Kef (source : CTAMA).



**Photo 40.** Effets de la chute de grêle du 24/08/2008 sur les branches des pommiers du Foussana à Kasserine (source : CTAMA).



**Photo 41. Effets de la chute de grêle du 24/08/2008 sur les branches des pommiers du Foussana à Kasserine (source : CTAMA).**



**Photo 42. Effets de la chute de grêle du 02/06/2007 sur les canaux d'irrigation à Gafsa (cliché : CRDA de Gafsa).**

Pour le cas de la céréaliculture, l'intensité des chutes de grêle se traduit par des épis nettement cassés (photo 43) avec des superficies totalement ravagées (photo 44)



**Photo 43.** Effets de la chute de grêle du 10 mai 2000 à El Fahs (Gouvernorat de Zaghouan) sur les céréales (source : Ministère de l'Agriculture/DGPV).



**Photo 44.** Effets de la chute de grêle du 10 mai 2000 à El Fahs (Gouvernorat de Zaghouan) sur les céréales (source : Ministère de l'Agriculture/DGPV).

### 1.2.2. La taille des grêlons

La grêle laisse toujours des traces lorsqu'elle entre au contact de la végétation. Celles-ci sont strictement reliées aux dimensions des grêlons : les grosses traces proviennent de gros grêlons ; les petites traces de petits grêlons. Le diamètre des particules de grêle est l'indicateur le plus communément utilisée pour étudier la taille des grêlons. Pour l'ensemble de la végétation, les fruits mûres sont la partie la plus révélatrice de la taille des grêlons en cas de chute de grêle. En effet, les fruits à pépins, en particulier les pommes et les poires (photos 45, 46, 48 et 49), ceux à noyaux comme les pêches (photos 47, 50 et 51) conservent bien les empreintes de la taille des grêlons et cela, même plusieurs jours après leur chute.

Par ailleurs, pour certains types de fruits fragiles, comme les raisins, l'identification de la taille des grêlons après la chute est difficile surtout si le stade de maturation du fruit est très avancé. L'impact de la grêle provoque toujours la pourriture de toute la grappe.



Photo 45. Effets de la chute de grêle du 21 juillet 2010 à l'Oued Darb au gouvernorat de Kasserine au Centre-ouest (cliché : AL ATRACH M.M.).



**Photo 46.** Effets de la chute de grêle du 24/08/2008 sur les pommes du Foussana à Kasserine (source : CTAMA).



**Photo 47.** Effets de la chute de grêle du 11/08/1997 sur les pêches de Kasserine (cliché : CTAMA).



**Photo 48. Effets de la chute de grêle du 11/08/1997 sur les pommes de Sbiba (cliché : CTAMA).**



**Photo 49. Effets de la chute de grêle du 11/08/1997 sur les poires de Sbiba (cliché : CTAMA).**



**Photo 50.** Effets de la chute de grêle du 02/06/2007 sur les pêchers du Guettis à Gafsa (cliché : CRDA de Gafsa)



**Photo 51.** Effets de la chute de grêle du 02/06/2007 sur les pêches du Guettis à Gafsa (cliché : AL ATRACH M.M.)

Certaines cultures maraîchères (photos 52 et 53), peuvent aussi donner des indications pour l'étude de la taille des grêlons, en particulier pour les particules de grésil (moins de 5 mm de diamètre).



**Photo 52.** Effets de la chute de grêle du 11/08/1997 sur les tomates de Kasserine (cliché : CTAMA).



**Photo 53. Effets de la chute de grêle du 11/08/1997 sur les concombres dans le secteur de Kasserine (cliché : CTAMA).**

### *1.2.3. Le nombre des grêlons*

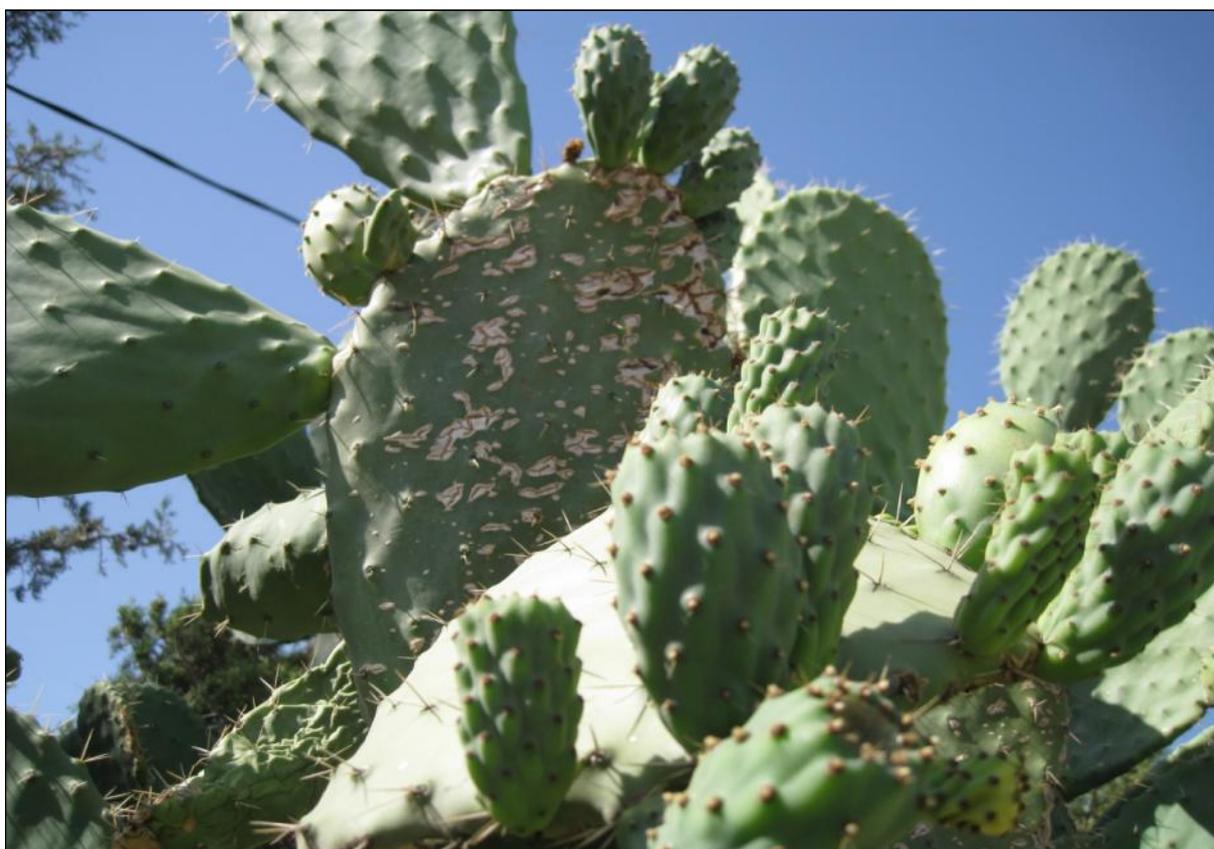
Les particules de grêle n'atteignent pas le sol d'une façon homogène et continue. Le nombre des grêlons est, en effet, difficile à identifier. Par ailleurs, on estime que : sans trace, pas de grêle ; traces espacées, peu de grêlons ; traces resserrées, beaucoup de grêlons. Le cactus, une végétation qui existe partout dans le territoire tunisien, peut nous guider pour l'étude du nombre par unité de surface. Il conserve bien les traces des grêlons pour des périodes de plusieurs jours (photo 54).

### *1.2.4. La direction des grêlons : angle du choc*

L'orientation ou l'allure des traces de la grêle sur la végétation permet de comprendre l'angle du choc des grêlons et la direction des vents qui accompagnent les chutes de grêle (photo 55). Si on compare la partie droite de la feuille du cactus profondément attaquée par les grêlons avec celle de gauche située à l'abri, on parvient à bien déterminer la direction nord-ouest du vent lors de la chute de grêle.



**Photo 54. Effets de la chute de grêle du 29/07/2010 sur le cactus du Sbiba à Kasserine (cliché : AL ATRACH M.M.).**



**Photo 55. Effets de la chute de grêle du 29/07/2010 sur le cactus du Sbiba à Kasserine (cliché : AL ATRACH M.M.).**

### 1.3. Le Cactus (le figuier de barbarie) peut remplacer les grêlimètres

Originaire du Mexique, le Fiquier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica*) est une espèce de plante de la famille des *Cactaceae*, qui s'est naturalisée dans d'autres continents, notamment le pourtour méditerranéen. C'est une plante arborescente qui peut atteindre entre 3 et 5 mètres de haut. Son organisation en cladodes, couramment appelés « raquettes », est particulière. Ces cladodes sont des tiges modifiées de forme aplatie, de 30 à 40 cm de long sur 15 à 25 cm de large et de 1,5 à 3 cm d'épaisseur. Les figuiers de barbarie nécessitent un climat chaud et une exposition bien ensoleillée et elle préfère un sol filtrant et bien drainé, de pH neutre. En Tunisie, ils sont essentiellement cultivés dans la région de Kasserine au Centre-ouest (plus de 50 000 hectares actuellement), en particulier à Bled Zalfène de la délégation de Thala (photo 56).

**"Pas de cactus, pas de dégâts"**, est la phrase la plus employées par les experts lors de la phase de l'estimation des dégâts. La feuille du cactus se présente comme la plaque en polystyrène peinte d'un grêlimètre (de 30 cm x 40 cm). Après l'impact des chutes de grêle, les feuilles du cactus gardent les empreintes des grêlons, même sur plus d'une dizaine de jours : les photos (57, 58 et 59) sont prises le matin du 08/08/2010 et la chute de grêle a eu lieu le 27/07/2010.



Photo 56. Le cactus de Bled Zalfène à Kasserine (cliché : AL ATRACH M.M.).

Les traces de cette chute de grêle sur la feuille du cactus nous permettent de comprendre plusieurs paramètres, notamment :

- la taille des grêlons (photo 57),
- le nombre de grêlons (photo 58),
- l'angle du choc des grêlons et l'allure des traces qui donnent une direction des grêlons et des vents (photo 59).

Dans d'autres endroits et avec la même chute de grêle du 27/07/2010, les traces sur les feuilles de cactus nous permettent aussi d'évaluer l'intensité des grêlons et de préciser la direction des nuages porteurs de grêle (photo 60). L'impact des grêlons couvre presque en totalité les faces des feuilles pleinement exposées. En revanche, les faces à l'abri ne manifestent aucune trace.

Le recours au cactus évite la ponctualité des mesures et des résultats souvent rapportés par les grêlimètres. En Tunisie, par exemple, le figuier de barbarie est considéré comme une pratique agricole à plusieurs vocations (fruits, fourrage, haies défensives, barrière coupe feu, lutte contre l'érosion, conquête des sols...etc.). En outre, les feuilles de ce type de plante s'orientent dans toutes les directions, ce qui permet d'observer de façon certaine les traces des grêlons quelque soit la direction des nuages de grêle.



**Photo 57. Effets de la chute de grêle du 29/07/2010 sur le cactus du Sbiba à Kasserine (cliché : AL ATRACH M.M.).**



**Photo 58. Effets de la chute de grêle du 29/07/2010 sur le cactus du Sbiba à Kasserine (cliché : AL ATRACH M.M.).**



**Photo 59. Effets de la chute de grêle du 29/07/2010 sur le cactus du Sbiba à Kasserine (cliché : AL ATRACH M.M.).**



Photo 60. Effets de la chute de grêle du 29/07/2010 sur le cactus du Sbiba à Kasserine (cliché : AL ATRACH M.M.).

## 2. Les dégâts généraux sur végétaux

On désigne par dégâts sur végétaux ceux qui interviennent sur des récoltes sur pied, des légumes, en passant par les céréales, mais aussi par les fruits à pulpes, ou encore par les raisins, qui constituent les récoltes les plus sensibles. Les prairies et les forêts sont ainsi exclues car elles sont peu concernées par la grêle et donc par l'assurance ; ce sont plutôt les dégâts dus aux tempêtes ainsi qu'à d'autres fléaux qui sont infiniment plus graves et plus répandus.

### 2.1. Les pertes directes en quantité et en qualité

Après une chute de grêle, les fruits ou les grains des végétaux peuvent être mis à terre, ce qui provoque une perte d'une partie des récoltes. Cette perte de quantité, qui demeure dans la plupart des cas irréversible, concerne singulièrement les céréales et les vignes.

D'autre part, les grêlons peuvent aussi endommager les récoltes, sans les détruire totalement. C'est notamment le cas des fruits (pompes, poires, pêches...). A ce niveau, si la chute de grêle n'a pas été trop intense, le fruit cicatrise et forme des plaques de « liège ». Il

peut, d'une manière ou d'une autre, poursuivre sa maturation même abîmé, mais il aura perdu en termes de qualité et en valeur marchande. Les pertes de qualité restent, par ailleurs, difficiles à quantifier. Les betteraves sucrières peuvent, par exemple, subir une baisse du taux de sucre avant leur récolte suite à une chute de grêle, mais il est difficile de quantifier la part de perte due à la grêle par rapport à un éventuel déficit hydrique.

## 2.2. Les pertes indirectes

Ces pertes peuvent être parfois trop lourdes sur la plante (tableau 22). Elles dépendent de la date de la chute de grêle et du type de culture.

Cultures	Perte de qualité	Perte de quantité	Dommages sur capital
<b>Céréales</b>	-----	Egrenage, échaudage, retard de végétation	-----
<b>Fruits (pommes, poires, pêchers...etc.)</b>	Talage puis déclassement des fruits	Par chute des fleurs ou des jeunes fruits (début de saison)	Altération du bois favorisant le chancre
<b>Vigne</b>	Talage ou éclatement des raisins favorisant la pourriture	Egrenage, retard de végétation par effeuillage	Eborgnage des bourgeons et des sarments de l'année suivante
<b>Racines et tubercules</b>	Pertes possibles (% de sucre pour les betteraves...)	Hachage, talage, retard de végétation	-----
<b>Légumes et fruits</b>	Talage sur légumes-fruits et légumes-feuilles	Hachage, talage, incisure	-----

Tableau 22. Les effets de la grêle sur différentes cultures (Source des données : VINET F. 2000).

### 2.2.1. Retard de croissance

La défoliation se traduit par une réduction du feuillage qui entravera, sans doute, la croissance de la plante : c'est le talage du feuillage. Une chute de grêle précoce entraînera un

retard de croissance de la plante et par conséquent des pertes de qualité, bien qu'elle puisse subsister si aucun parasite ne vient entraver sa reprise. Par type de culture, et pour les racines et les tubercules par exemple (pommes de terre, betteraves sucrières, carotte...etc.), le retard de croissance est la cause majeure de perte de 10 à 40% en teneur en sucre. La défoliation peut empêcher la croissance des fruits et des grains. Pourtant, sur les fruits, la perte de feuillage n'entraîne pas forcément une perte de quantité : s'il y a autant de fruits que de feuilles détruits, le rapport feuillage/fruit est conservé.

### 2.2.2. Les maladies

L'attaque des chutes de grêle sur les plantes peut favoriser l'incursion des maladies cryptogamiques et diminuer les récoltes. Les effets de ces maladies varient en fonction des types de culture et de la période des chutes de grêle.

#### 2.2.2.1. La tuberculose de l'olivier

Cette maladie, due au *Pseudomonas ionatsavas*, se traduit par l'apparition de petits bulbes blancs puis gris sur les branches des oliviers (photo 61 et 61 bis). Ces bulbes s'accumulent autour des blessures causées par la chute mécanique des grêlons. A un stade avancé, les branches se dessèchent et deviennent très fragiles aux vents qui peuvent les casser facilement. Dans ce cas, on ne doit pas hésiter à couper entièrement les branches affectées puis à les brûler.



Photos 61 et 61 bis (à droite). Signes de la tuberculose de l'olivier sur une branche attaquée par l'effet mécanique de la grêle à Sbiba au gouvernorat de Kasserine (Cliché de gauche : AL ATRACH M.M. le 08/08/2010 / la photo de droite est de l'AVFA / Ministère de l'Agriculture).

## 2.2.2.2. L'Oïdium (Rot-blanc)

Cette maladie, due au *Coniothyrium diplodiella*, attaque toutes les parties vertes de la plante (feuillage, branches, fleurs et fruits). Cette maladie opportuniste intervient après une attaque des grêlons sur les vignes (photos 62, 63 et 63 bis). Ses signes et ses effets se présentent comme suit (tableau 23) :

	Signes	Effets
<b>Feuillages</b>	- Des taches sur la face supérieure - Des fils blancs puis gris sur la face inférieure	Déroutement
<b>Branches</b>	Des taches blanches puis, qui en s'élargissant, deviennent grises	Dessèchement
<b>Fleurs et fruits</b>	Des cires blanches sur les fruits devenant peu à peu grisâtres	- Chute des fleurs et ses ovaires. - Dessèchement des fruits si l'attaque est précoce ou/et fissuration des fruits si l'attaque se fait au stade de leur maturation

Tableau 23. Les signes de l'Oïdium sur les différentes parties des plantes (Source : Ministère de l'Agriculture/ONAGRI).

Les vents demeurent un agent très favorable à la dispersion de cette maladie sur les autres vignes. En outre, une ambiance d'humidité élevée et de température entre 25 et 28°C favorise la prolifération de cette maladie, surtout dans les endroits ombragés.



Photo 62. Signes de l'oïdium sur les fleurs et sur l'ovaire de vigne, attaqués par l'effet mécanique de la grêle (Cliché : Ministère de l'Agriculture /AVFA).

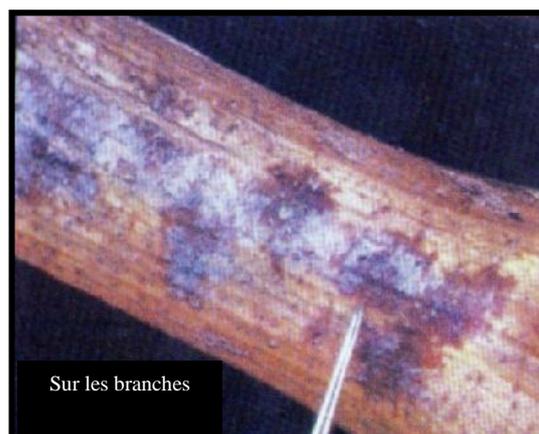
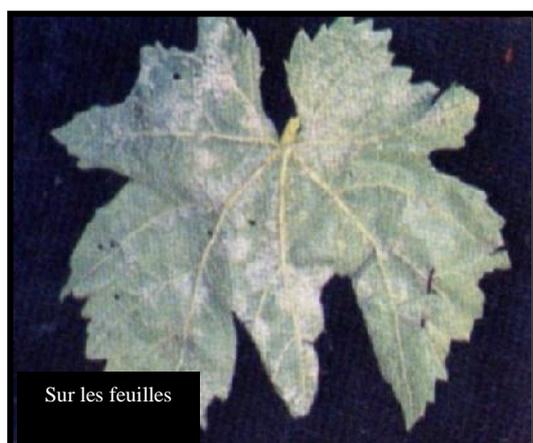


Photo 63 et 63 bis (à droite). Signes de l'oidium sur les feuilles et sur les branches de vigne, attaquées par l'effet mécanique de la grêle (Cliché : Ministère de l'Agriculture/ AVFA).

### 2.2.2.3. Le Mildiou

Comme celle de l'oidium, la maladie du mildiou affecte toute la plante dans ses différentes parties (photo 64). Ses signes et ses effets se présentent dans le tableau suivant (24) :

	Signes	Effets
<b>Feuillage</b>	- Des taches sur la face supérieure - Des taches blanches puis grises sur la face inférieure	Noircissement et dessèchement puis chute
<b>Branches</b>	Le signe caractéristique est la croissance des branches sous forme de la lettre « S »	Dessèchement puis chute
<b>Fleurs et fruits</b>	- Couverture des fleurs par une sorte de poussières grises (Rot-gris) - Des taches sombres (Rot-brun) sur les fruits	Dessèchement des fruits puis chute

Tableau 24. Les signes du mildiou sur les différentes parties des plantes (Source : Ministère de l'Agriculture/ONAGRI).



Photo 64. Signes du mildiou sur les feuilles de vigne attaquées par l'effet mécanique de la grêle (Source : Ministère de l'Agriculture / ONAGRI).

#### 2.2.2.4. La pourriture grise

Cette maladie est caractéristique des cultures des vignes. Après l'attaque des grêlons, elle prend son point de départ sur les fruits lorsqu'ils deviennent matures. Les fruits endommagés et infectés provoquent la pourriture de tout l'ensemble de la grappe. Avec des conditions thermiques et d'humidité favorables, une sorte de poussière grise s'observe peu à peu sur les branches et des tâches grises sur le feuillage. Enfin, la pourriture grise obtient le dessèchement de la quasi-totalité de la plante (photo 65).



*Photo 65. Signes de la pourriture grise sur les différentes parties de la vigne attaquées par l'effet mécanique de la grêle (Source : Ministère de l'Agriculture / ONAGRI).*

#### 2.2.2.5. L'Esca

Cette maladie se manifeste après l'effet mécanique des grêlons sur les vignes de deux manières : soit rapidement, en provoquant la mort totale de la plante en particulier pendant la saison d'été lorsque les besoins en eau sont urgents, soit lentement, et on note un dessèchement progressif mais critique du feuillage. Sur les branches, les signes de la maladie se caractérisent par des taches sombres ou noires qui se transforment peu à peu en couleur blanches jaunâtres (photo 66). L'Esca trouve son ambiance dans les grandes blessures causées par la chute des grêlons et, avec l'élévation de la température, elle se transmet aux plantes les plus âgées (plus que 10 ou 15 ans) et parfois aux plus jeunes (moins de 5 ans).

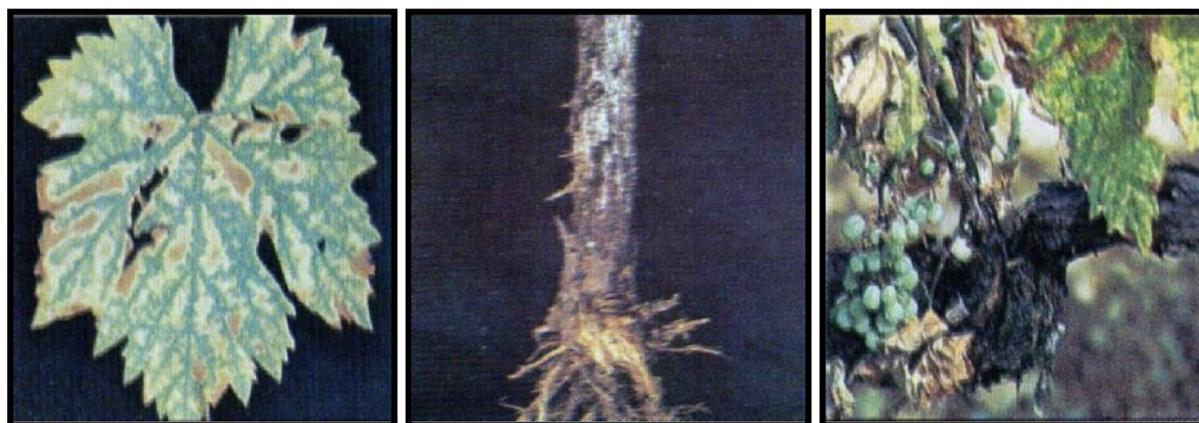


Photo 66. Signes de l'Esca sur les différentes parties de la vigne attaquées par l'effet mécanique de la grêle (Source : Ministère de l'Agriculture / ONAGRI).

### 2.2.3. pertes à long terme

A long terme, les effets néfastes des violentes chutes de grêle peuvent être observés sur les récoltes des années suivantes en détruisant les futurs sarments et les bourgeons des jeunes arbres. Par exemple, sur les vergers de la vigne, les bourgeons fructifères se forment un an avant d'éclorre, c'est pourquoi une chute de grêle peut causer des effets jusqu'à l'année suivante. Si le bois est profondément affecté (dans le cas d'une énergie de la chute des grêlons accentuée par le vent<sup>48</sup>), les récoltes peuvent s'en ressentir sur plusieurs années. A cette limite, le choix de variétés plus résistantes aux effets des chutes de grêle peut minimiser les pertes de récoltes et assurer un rendement passable l'année suivante. En tout état de cause, il est nécessaire d'éliminer les sarments trop meurtris après une chute de grêle et de les brûler totalement, ainsi que de tailler en vert. Cependant, ces différents traitements ne permettent pas d'améliorer le rendement prévu.

## 3. Les pertes indemnisées

### 3.1. Les pertes globales indemnisées

Les pertes agricoles globales indemnisées par l'assurance agricole ne représentent que 2,78% du chiffre d'affaires global du marché des assurances tunisien en 2007. Ce taux était à peine de 1,95% en 2004 (tableau 25) malgré une batterie de mesures ayant allégé le coût de la couverture des divers risques agricoles. L'assurance est toujours perçue obligatoire par la population cible comme une option liée à l'accès aux crédits bancaires et aux subventions

<sup>48</sup> L'énergie cinétique d'un grêlon de 15 millimètres de diamètre peut passer du simple au double (0.227 joule à 0.45 joule) selon que le vent est nul ou qu'il souffle à 60 km/h<sup>-1</sup> (voir « Le risque-grêle en agriculture » page 69).

étatiques. Une perception motivée essentiellement par le morcellement des terres agricoles et un manque flagrant d'une culture de prévoyance chez les agriculteurs, notamment les petits exploitants.

La moyenne annuelle des indemnités des sinistres agricoles a été de 10 millions DT entre 1996 et 2006. Pour l'année 2007, le total des règlements des sinistres agricoles a dépassé 11,5 millions DT, dont 87,5% ont été réglés par la CTAMA. Ces règlements couvrent tous les risques agricoles tels que la grêle, l'incendie des récoltes, la responsabilité civile de l'agriculteur, les risques corps de pêche et l'assurance santé pour les salariés agricoles et les exploitants.

Compagnies d'assurance	Règlements sinistres (mille DT)							
	2004	(%)	2005	(%)	2006	(%)	2007	(%)
<b>CTAMA</b>	8.798	<b>81,7</b>	7.858	<b>86,8</b>	7.345	<b>88</b>	10.018	<b>87,5</b>
<b>STAR</b>	0.794	<b>7,4</b>	0.336	<b>3,7</b>	0.088	<b>1,1</b>	0.077	<b>0,7</b>
<b>ASTREE</b>	0.634	<b>5,9</b>	0.416	<b>4,6</b>	0.493	<b>5,9</b>	0.644	<b>5,9</b>
<b>COMAR</b>	0.420	<b>3,9</b>	0.436	<b>4,8</b>	0.326	<b>3,9</b>	0.484	<b>4,2</b>
<b>LLOYD</b>	0.116	<b>1,1</b>	0.006	<b>0,1</b>	0.088	<b>1,1</b>	0.205	<b>1,8</b>
<b>Assurance BIAT</b>	-	-	-	-	-	-	0.021	<b>0,2</b>
<b>Total</b>	10.762	<b>100</b>	9.052	<b>100</b>	8.340	<b>100</b>	11.449	<b>100</b>
<b>Part dans tout le marché d'assurance</b>	<b>1,95%</b>		<b>2,03%</b>		<b>2,39%</b>		<b>2,78%</b>	

Tableau 25. Règlements des sinistres agricoles par l'assurance entre 2004 et 2007 (source des données : CTAMA).

Les statistiques de la CTAMA montrent que les agriculteurs du nord-ouest sont les plus conscients de l'assurance, avant ceux du centre et enfin ceux du sud du pays, et en raison d'une prévalence plus importante de risques climatiques (sécheresse, grêle, incendies...) dans ces régions. 70% des agriculteurs non assurés sont toutefois touchés par le risque-grêle.

Les indemnités par l'assurance agricole concernent l'arboriculture, les grandes cultures et les cultures maraichères. Pour le cas de l'arboriculture on compte, en 2007, 1 726 719 pieds assurés entre oliviers, agrumes et arbres fruitiers (figure 92) d'un total de 112 290 000, soit un taux de 1,54% seulement.

Pour les superficies agricoles assurées par la CTAMA toujours, on totalise une superficie emblavée de 1 698 620 hectares (grandes cultures, vignes et cultures maraichères) dont 4,75% seulement sont concernés par l'assurance (figure 93).

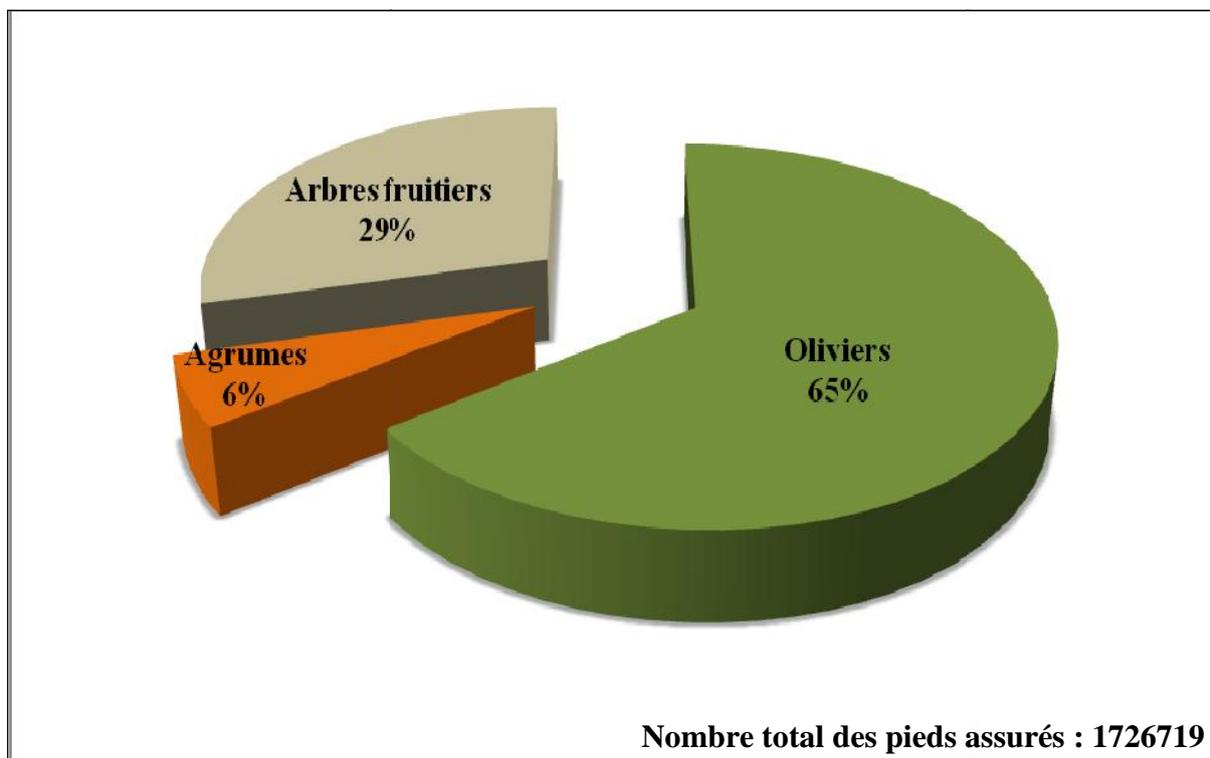


Figure 92. Les cultures fruitières concernées par l'assurance agricole en 2007 (source des données : CTAMA).

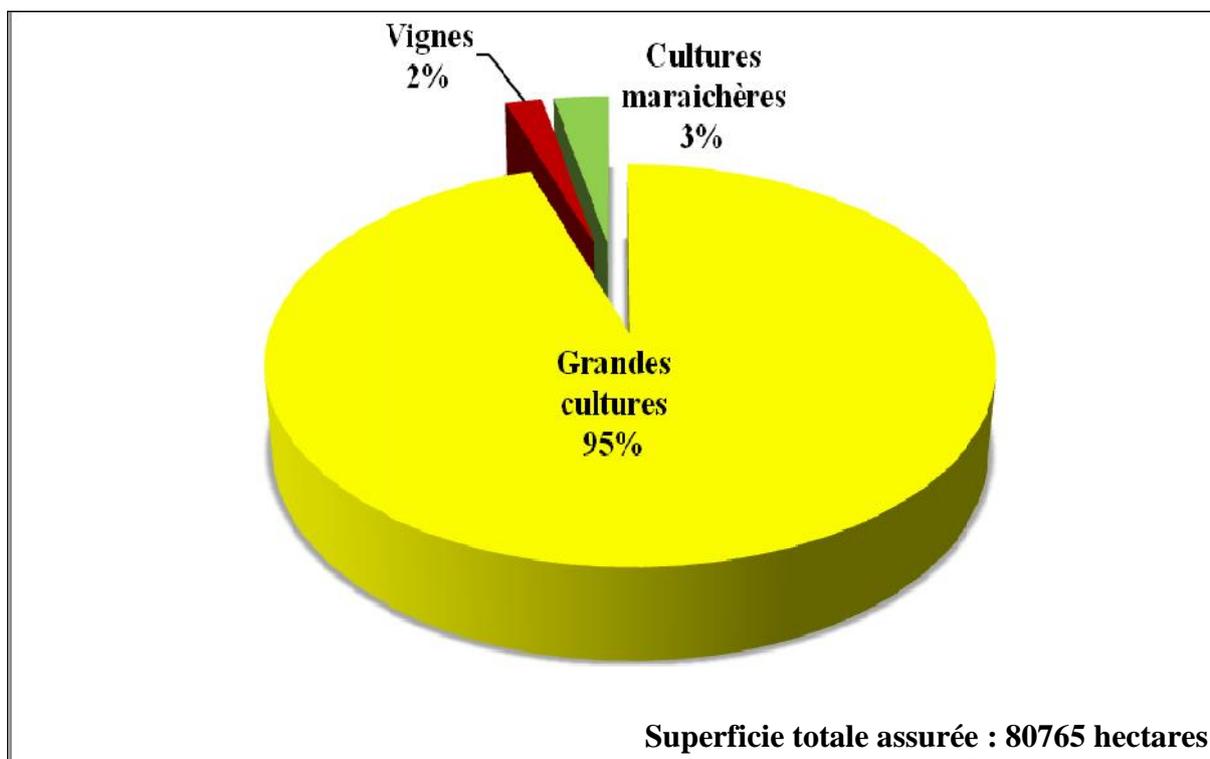


Figure 93. Les superficies agricoles concernées par l'assurance en 2007 (source des données : CTAMA).

### 3.2. Les pertes indemnisées dues à la grêle

Le chiffre d'affaire du phénomène de la grêle dans le secteur agricole a passé de 1 720 997 DT en 2006 à 2 263 009 DT en 2007, soit une évolution de presque du 1/3 (figure 94). Cette valeur prend aussi de l'importance en comparaison avec celles d'autres risques agricoles comme les incendies des récoltes ou les mortalités du bétail. En 2006 comme en 2007, le chiffre d'affaire de la grêle dépasse la somme de ceux de ses derniers risques.

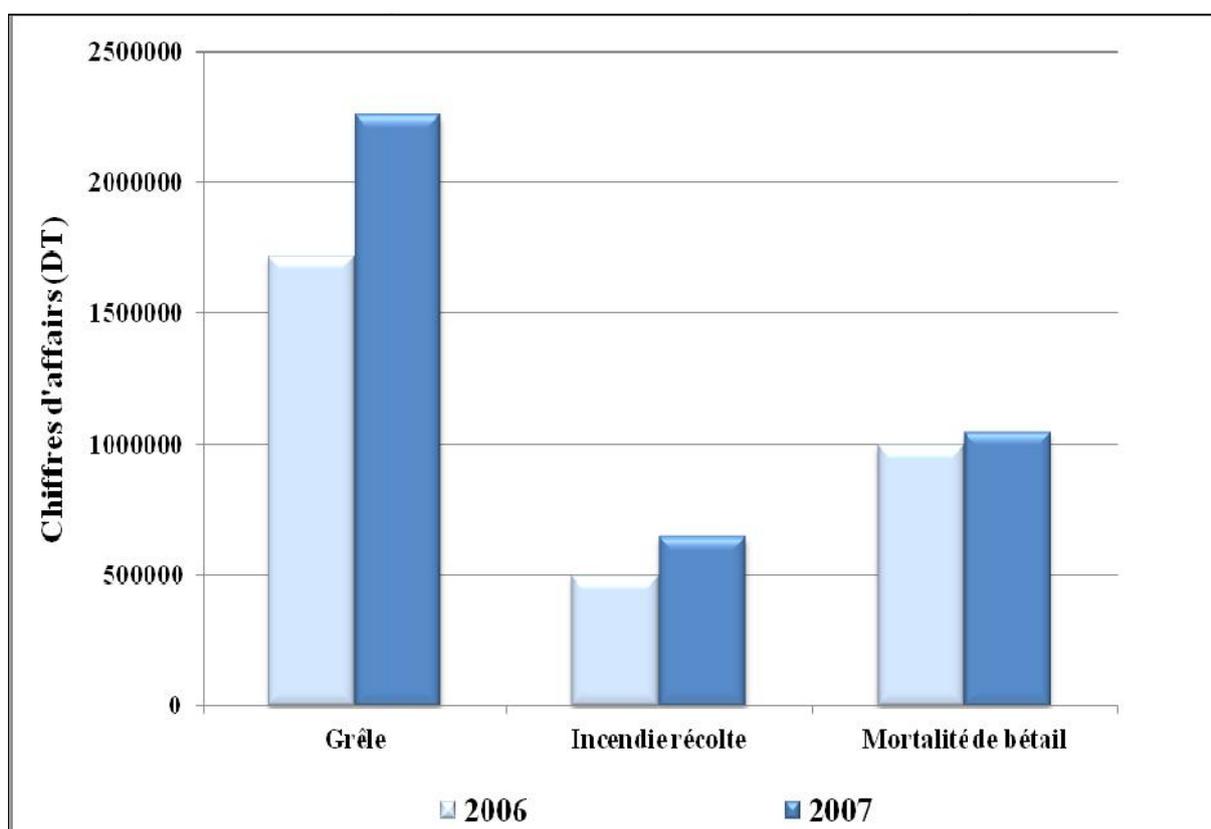


Figure 94. Evolution des chiffres d'affaires de la grêle entre 2006 et 2007 (source des données : CTAMA).

Entre 2004 et 2007, le coût des pertes dus à la grêle a passé de 879.8 mille DT à 1001.8 mille DT (figure 95). La CTAMA l'estime chaque année à un montant de 10% en moyenne du total de ses indemnisations. Si on compare le coût des pertes indemnisées dus à la grêle de l'an 2007, on constate qu'il ne représente que 44% de son chiffre d'affaire dans le portefeuille agricole.

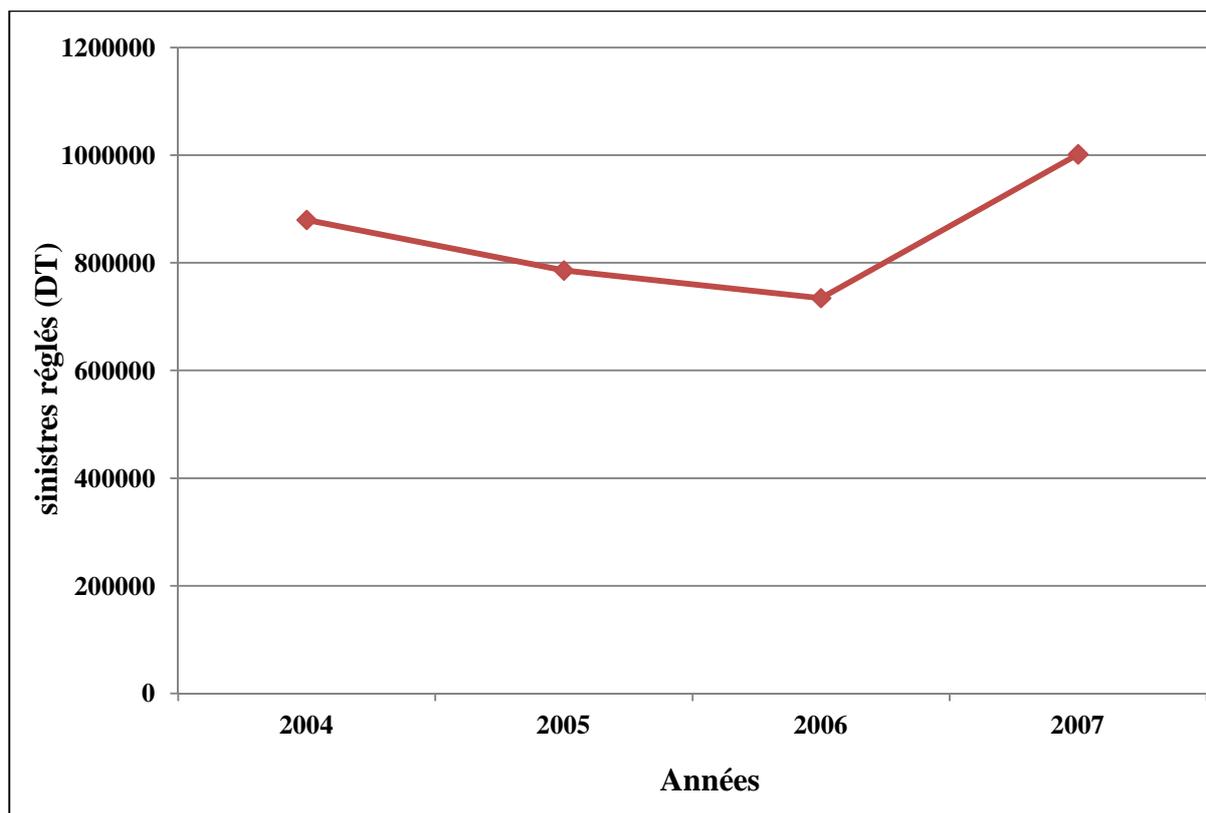


Figure 95. Règlements des sinistres-grêle par la CTAMA entre 2004 et 2007.

#### 4. Concentration géographique des dégâts de grêle (cas de l'arboriculture)

Les données des dégâts de grêle en Tunisie ont été acquises auprès de la direction nationale des études et de développement agricole du Ministère de l'Agriculture. Les données récoltées mentionnaient par gouvernorat et par délégation les paramètres suivants : superficies arboricoles existantes, superficie arboricole touchée par la grêle, nombre moyen de chutes de grêle, et des taux de dégât (par tranche). Le nombre d'années est faible (5 ans) mais les résultats confirment ce que les données des chapitres précédents ont permis d'identifier.

La géographie des taux des dégâts de grêle entre 1997 et 2001 (figure 96) révèle une nette disparité entre les régions de l'intérieur du pays et celles qui se trouvent le long des côtes. Ainsi, les forts taux des dégâts de grêle (plus de 50 et 75%) s'observent dans les régions continentales de l'ouest du pays. Par contre, dans le reste du territoire, excepté la région du Cap Bon, les superficies arboricoles se trouvent beaucoup moins endommagées par les chutes de grêle : les taux des dégâts varient généralement entre 0 et 10% des superficies.

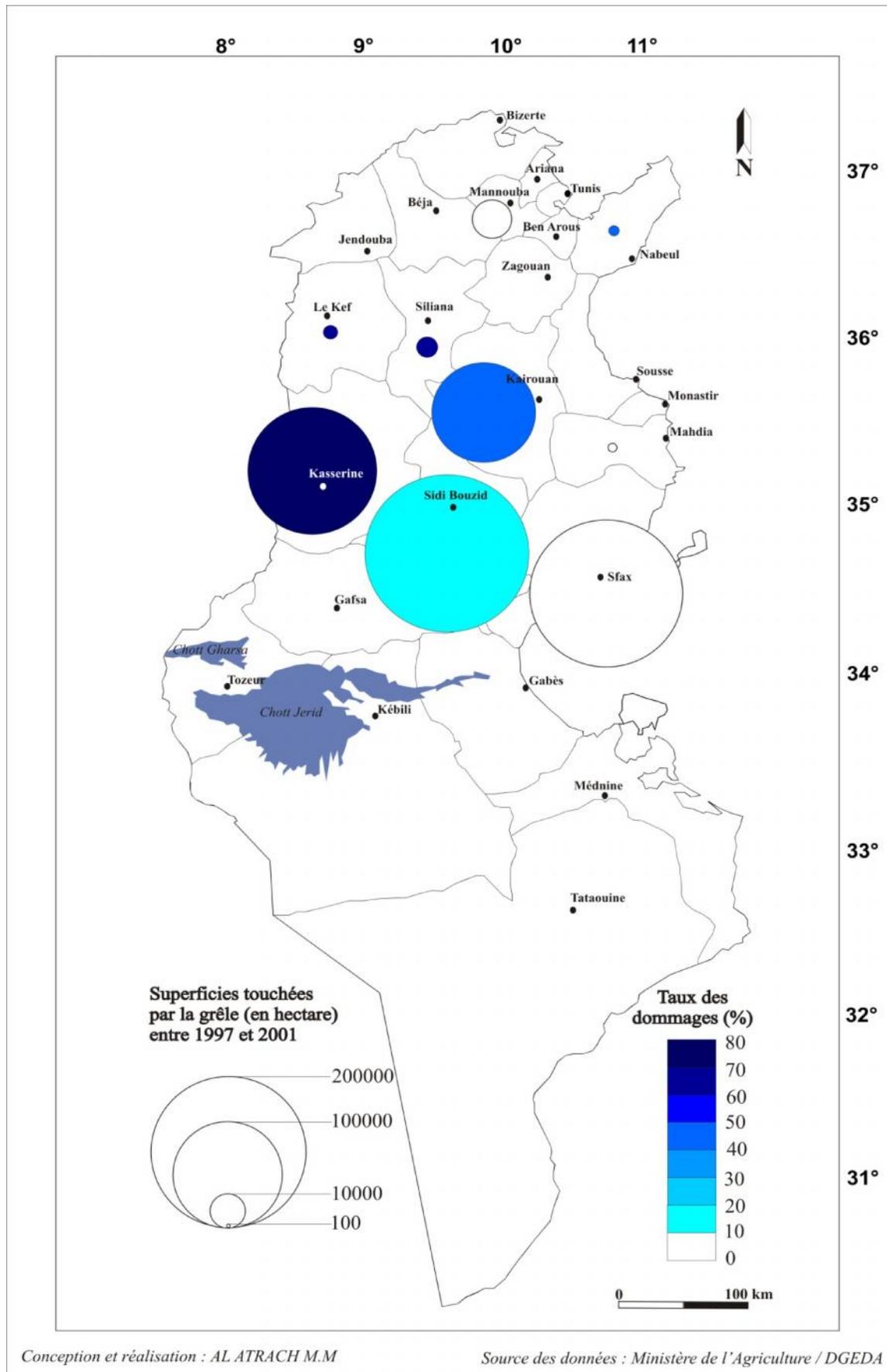


Figure 96. Taux des dégâts de grêle en Tunisie entre 1997 et 2001.

#### **4.1. Les Hautes Steppes tunisiennes : gouvernorat de Kasserine**

Les dommages de grêle ont intéressé une superficie totale de 138 058 hectares. Ils sont aperçus partout dans toutes les délégations du gouvernorat de Kasserine (figure 97 et 97 bis). Les délégations du centre et du nord du gouvernorat semblent les plus sinistrées ; les taux des dégâts dépassent toujours les 50% des totaux superficies arboricoles touchées voire même plus. Dans la partie centrale, les vastes superficies se trouvent par ordre d'importance dans les délégations de Sbeitla, Sbiba, Kasserine sud et Foussana (57736 hectares d'un total de 138058 hectares, soit environ 42%). Les dégâts touchent parfois des taux de 80% des superficies notamment à Sbiba et Foussana. Ceci est évident dans la mesure où ces quatre délégations sont les plus exposées aux chutes de grêle ; chaque année on compte en moyenne 2 à 3 jours de grêle.

Vers les délégations du nord, on observe moins de superficies arboricoles touchées, mais les taux des dégâts prennent toujours de l'importance notamment dans les délégations de Thala, et Jédéliène avec des valeurs de 60%.

Dans le sud du gouvernorat, composé des délégations de Fériana, Majel Bel Abbès et Hassi Lefrid, la grêle est présente (pas plus d'un jour de grêle en moyenne par an) sur des importantes superficies, mais avec de moindres effets. Les dégâts annuels estimés n'y dépassent pas les 20%.

Les taux des dégâts les plus élevés (80%) observés dans les délégations de Foussana, Kasserine nord et Sbiba sont confirmés par le traçage de principales trajectoires de grêle<sup>49</sup>. La première, qui est de direction nord-ouest / sud-est (n° 25), commence de la délégation de Foussana et termine vers l'extrême sud-est de la délégation de Sbeitla, en passant par l'ouverture entre Jbel Châambi et Jbel Semmama (figure 98 et photo 67). L'arboriculture pratiquée dans le Bassin de Foussana, notamment les jeunes pommiers (moins de 10 ans), se trouve directement exposée aux chutes de grêle d'été (photos 68, 69, 70 et 71). Lors du travail de terrain, tous les arboriculteurs enquêtés confirment cet acheminement de cette trajectoire.

---

<sup>49</sup> Voir figures 52 et 54 du chapitre 3.

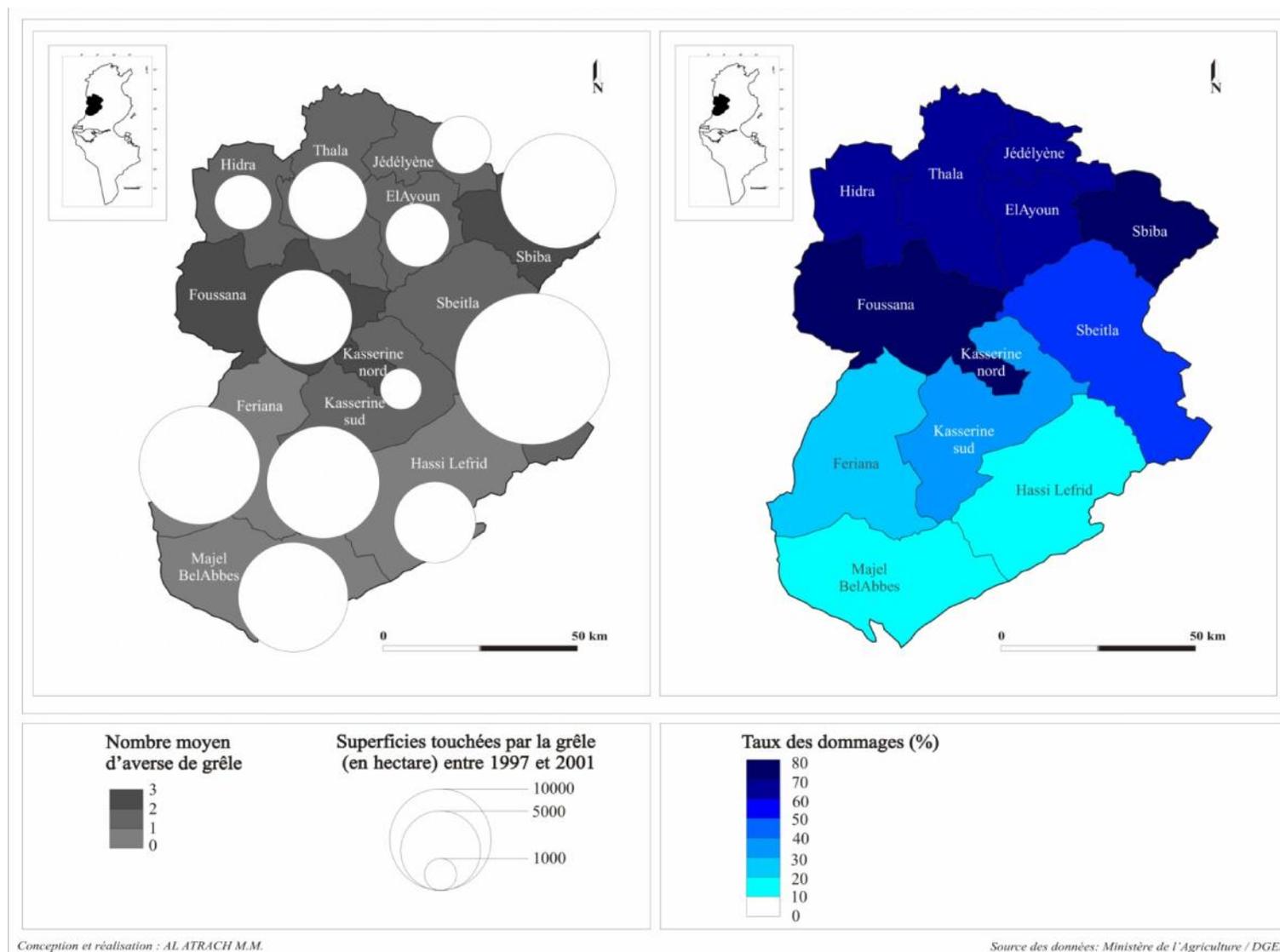


Figure 97. Superficies touchées par la grêle à Kasserine entre 1997 et 2001.

Figure 97 bis. Taux des dégâts entre 1997 et 2001.



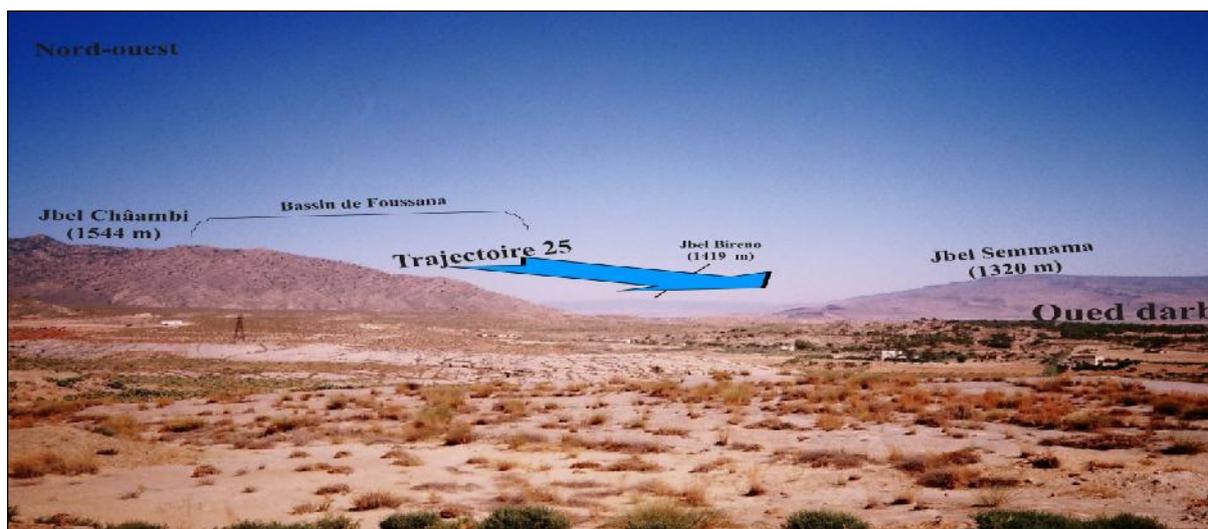


Photo 67. Principale trajectoire de grêle entre le Bassin de Foussana et Oued Darb (cliché : AL ATRACH M.M.).



Photo 68. Grêle du 24/08/2008 à Foussana (cliché : CTAMA).



Photo 69. Effets de la grêle du 24/08/ 2008 sur les jeunes pommiers de Foussana (cliché : CTAMA).



Photo 70. Effets de la grêle du 24/08/ 2008 sur les branches (cliché : CTAMA).



Photo 71. Effets de la grêle du 24/08/2008 sur les fruits de pommes (cliché : CTAMA).

Cette même trajectoire, et dès sa sortie de l'ouverture Châambi-semmama, envahit le secteur agricole de l'Oued Darb dans la délégation de Kasserine nord (figure 99). Vers le Sud-est, elle termine pratiquement dans l'ouverture Jbel Salloum-Jbel Mghila (photos 72 et 73). Les oliviers et les pommiers de ce secteur demeurent donc très sujettes aux chutes de grêle (photos 74 et 75).

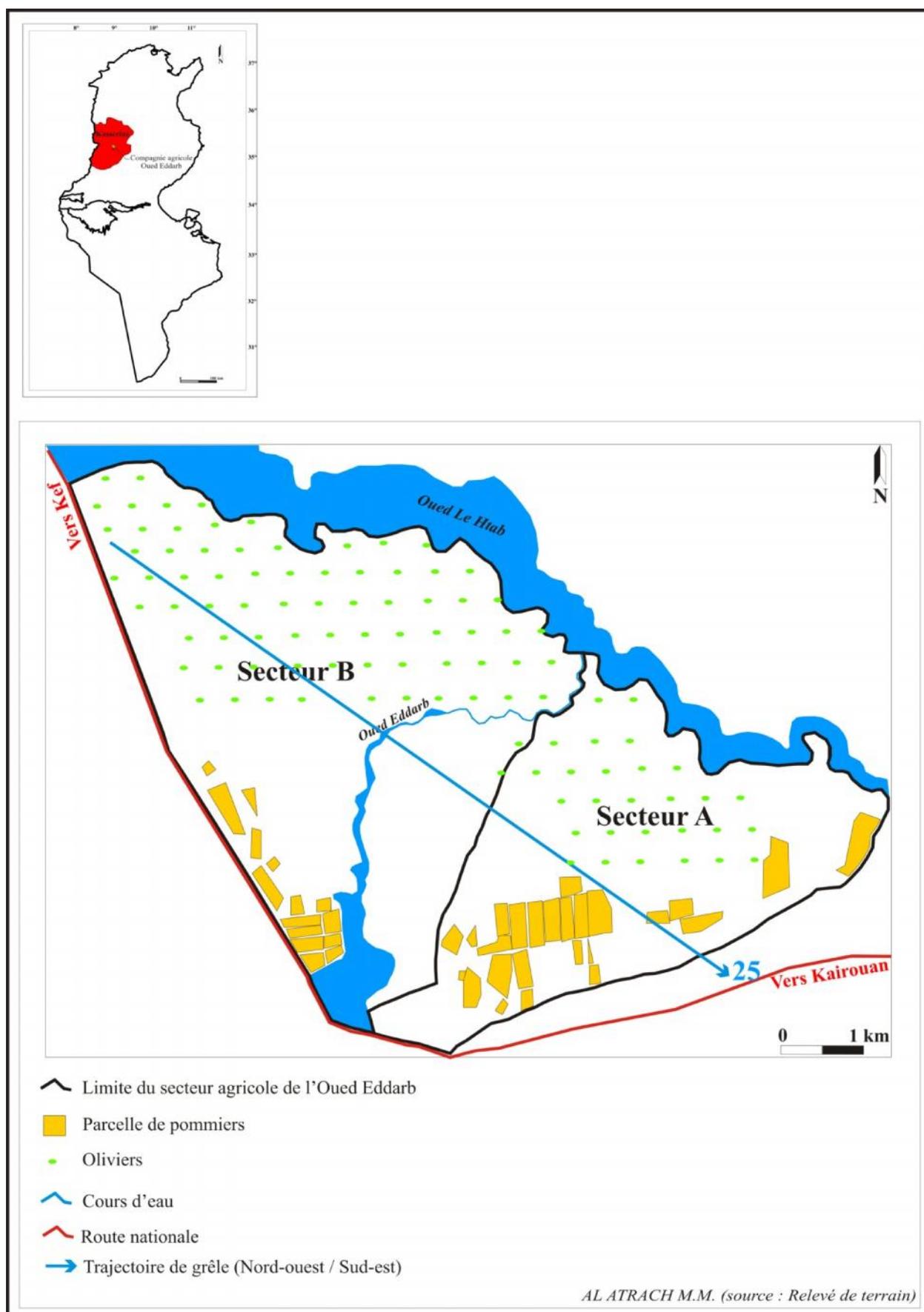


Figure 99. Secteur agricole de l'Oued Darb et trajectoires de grêle.

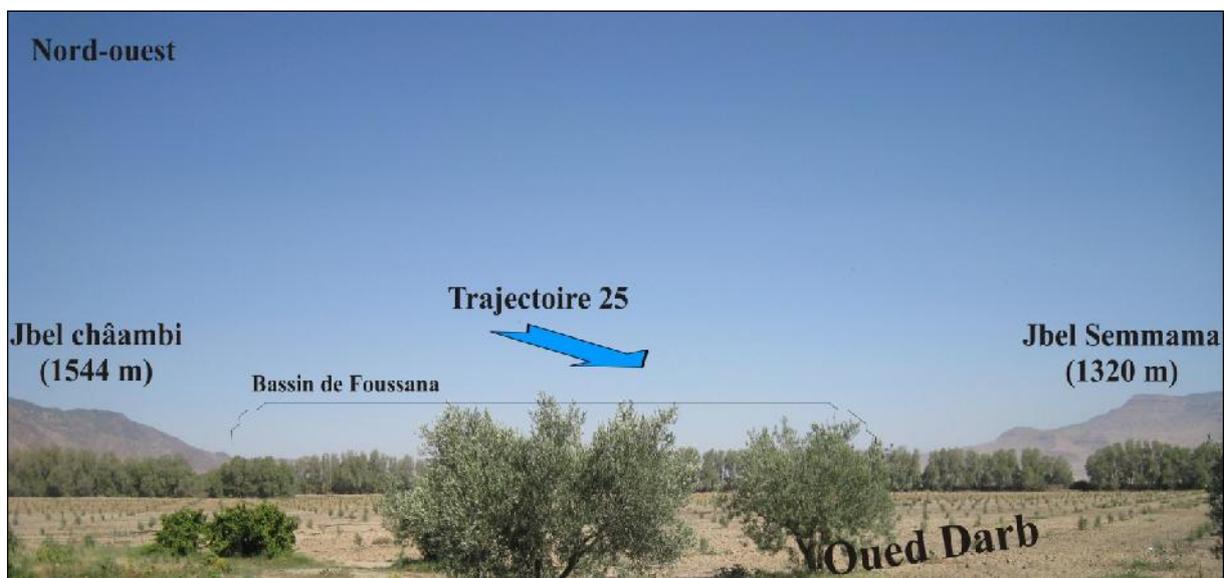


Photo 72. Sortie de la principale trajectoire de grêle de l'ouverture Châambi-Semmama vers Oued Darb (cliché : AL ATRACH M.M.).

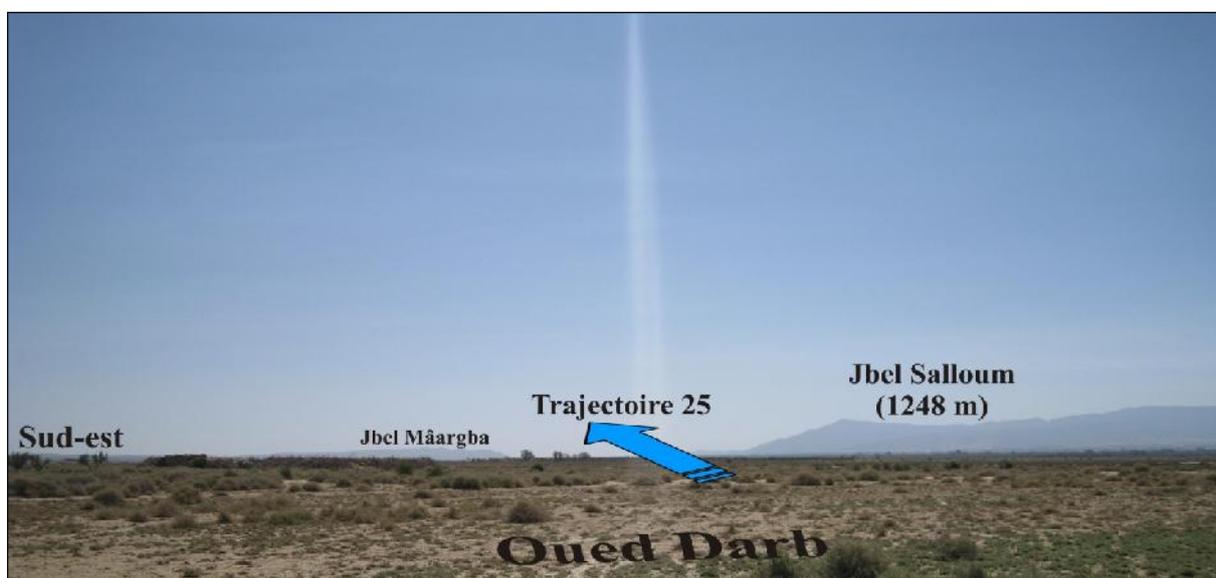


Photo 73. Terminaison de la principale trajectoire de grêle de l'Oued Darb vers l'ouverture Salloum-Mghila (cliché : AL ATRACH M.M.).



Photo 74. Effets de la grêle du 21/07/ 2010 sur les oliviers du secteur agricole de l'Oued Darb (cliché : AL ATRACH M.M.).



Photo 75. Effets de la grêle du 21/07/ 2010 sur les pommiers du secteur agricole de l'Oued Darb (cliché : AL ATRACH M.M.).

La deuxième trajectoire est de direction ouest-est (n° 20). Elle débouche dans la délégation de Sbiba, à laquelle s'ajoute trois autres grandes trajectoires, une provenant du Nord-ouest et deux du Sud-ouest. Le secteur agricole de Sbiba se manifeste comme l'*embouchure* des 2/3 des trajectoires (4 trajectoire sur 6) qui franchissent toute la région de Kasserine (figure 100). On comprend alors l'originalité du risque-grêle à Sbiba.

La trajectoire n°20 qui provient d'ouest concerne la partie sud de la délégation de Sbiba ou autrement la partie qui se trouve au sud de l'Oued Sbiba. Elle sort d'une ouverture dessinée entre Jbel Kef Ellouz et celui de Tioucha (photo 76). A cette trajectoire, on observe une autre trajectoire Sud-ouest / nord-est (photo 77) qui marque bien sa présence (n° 21, qui est confirmé par la CTAMA). Lors de l'enquête, les pommiers et les poiriers des *Daoudia*<sup>50</sup> sont les plus exposés aux chutes de grêle (photos 78 et 79).



Photo 76. Trajectoire de grêle d'ouest passant par de l'ouverture Tioucha-Kef Ellouz vers la partie sud de l'Oued Sbiba (cliché : AL ATRACH M.M.).

<sup>50</sup> Les *Daoudia* sont les habitants de la partie sud de Sbiba.

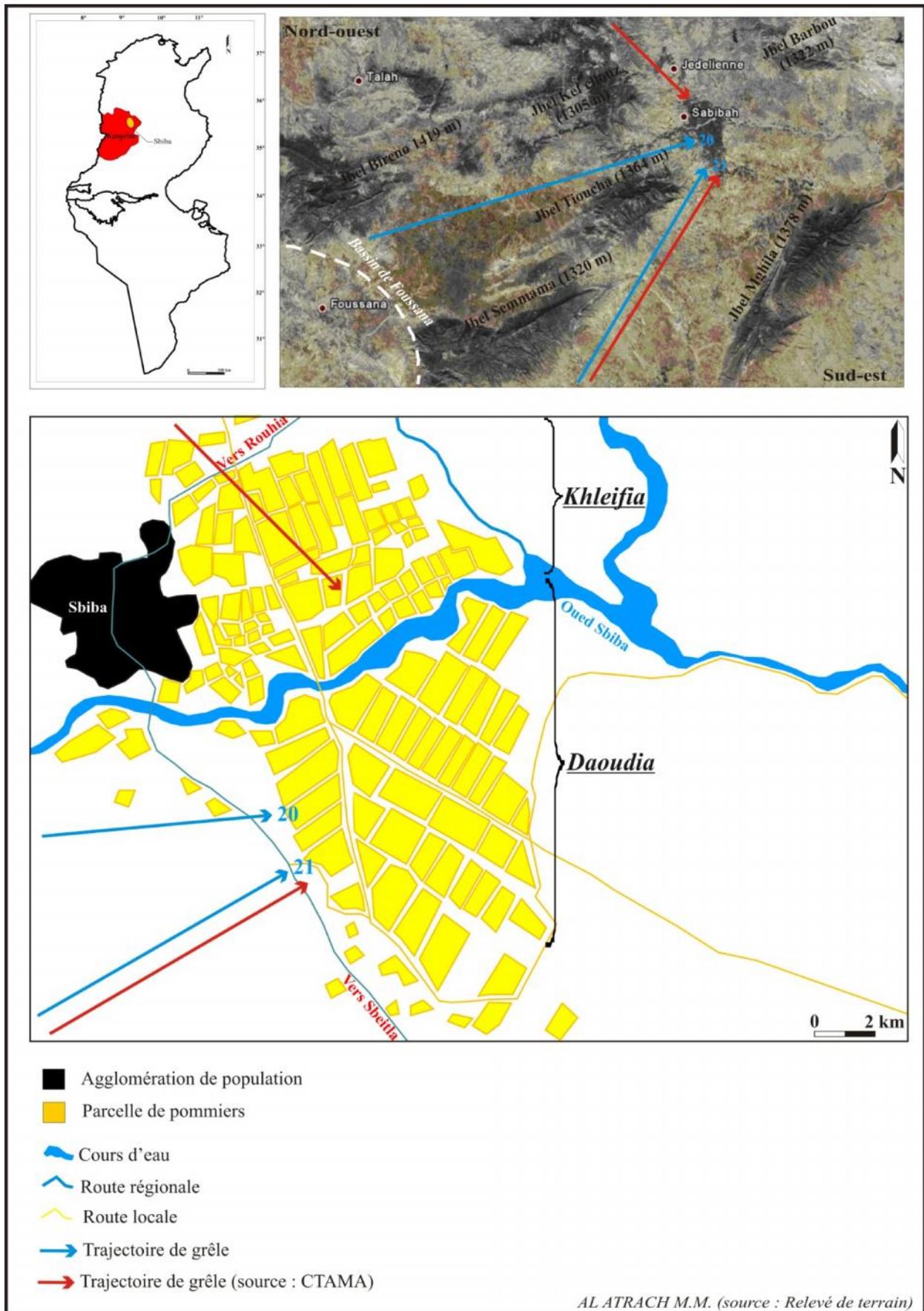


Figure 100. Secteur agricole de Sbiba et trajectoires de grêle.



Photo 77. Trajectoire de grêle du Sud-ouest passant par de l'ouverture Mghila-Tioucha vers la partie sud de l'Oued Sbiba (cliché : AL ATRACH M.M.).



Photo 78. Effets de la grêle du 11/08/1997 sur les pommiers du secteur agricole de Sbiba (cliché : CTAMA).



Photo 79. Effets de la grêle du 11/08/1997 sur les poiriers du secteur agricole de Sbiba (cliché : CTAMA).

Au nord de la délégation de Sbiba, les nuages porteurs de grêle changent de direction pour provenir du côté nord-ouest. Les pommaraies des *Khleifia*<sup>51</sup> ont souffert le plus des effets des chutes de grêle (photo 80).

<sup>51</sup> Les *Khleifia* sont les habitants de la partie nord de Sbiba.



Photo 80. Trajectoire de grêle du Nord-ouest passant par de l'ouverture Kef Ellouz-Barrou vers la partie nord de l'Oued Sbiba (cliché : AL ATRACH M.M.).

## 4.2. Le Haut Tell

### 4.2.1. Gouvernorat du Kef

Les superficies arboricoles touchées par la grêle entre 1997 et 2001 dans le gouvernorat du Kef sont de 1440 hectares. La répartition des superficies arboricoles touchées par la grêle au Kef (figures 101 et 101 bis) montre une nette disparité entre la partie est et la partie ouest. La grande part de ces superficies touchées se trouvent quasiment dans les délégations d'ouest, à savoir Nebeur, kef est, Essers, Dahmani, ksour et Kalat khasbat. Elles sont les plus sujettes aux chutes de grêle avec des moyennes de 1 à 2 jours chaque année. Les taux des dégâts sont aussi très marqués, de l'ordre de 75% des superficies touchées. La superposition des principales trajectoires de grêle confirme la forte sinistralité des délégations de l'ouest du gouvernorat<sup>52</sup>. La délégation du nord (Nebeur) est directement exposée à une trajectoire provenant du Nord-ouest (n° 4 : Voir figures 53 et 55 du chapitre 3). Par contre, les délégations de l'est du Kef, à savoir Kef est, Essers (photos 81, 81 bis et 82) et Dahmani semblent le siège de passage de deux importantes trajectoires de grêle d'ouest en est (n° 9 : Voir figures 53 et 55 du chapitre 3). Vers les extrêmes sud (à Kalat khasbat et au Ksour), la trajectoire n° 13, qui concerne les extrêmes nord du gouvernorat de Kasserine (Hidra et Thala) prend la relève.

<sup>52</sup> Voir figures 52 et 54 du chapitre 3.

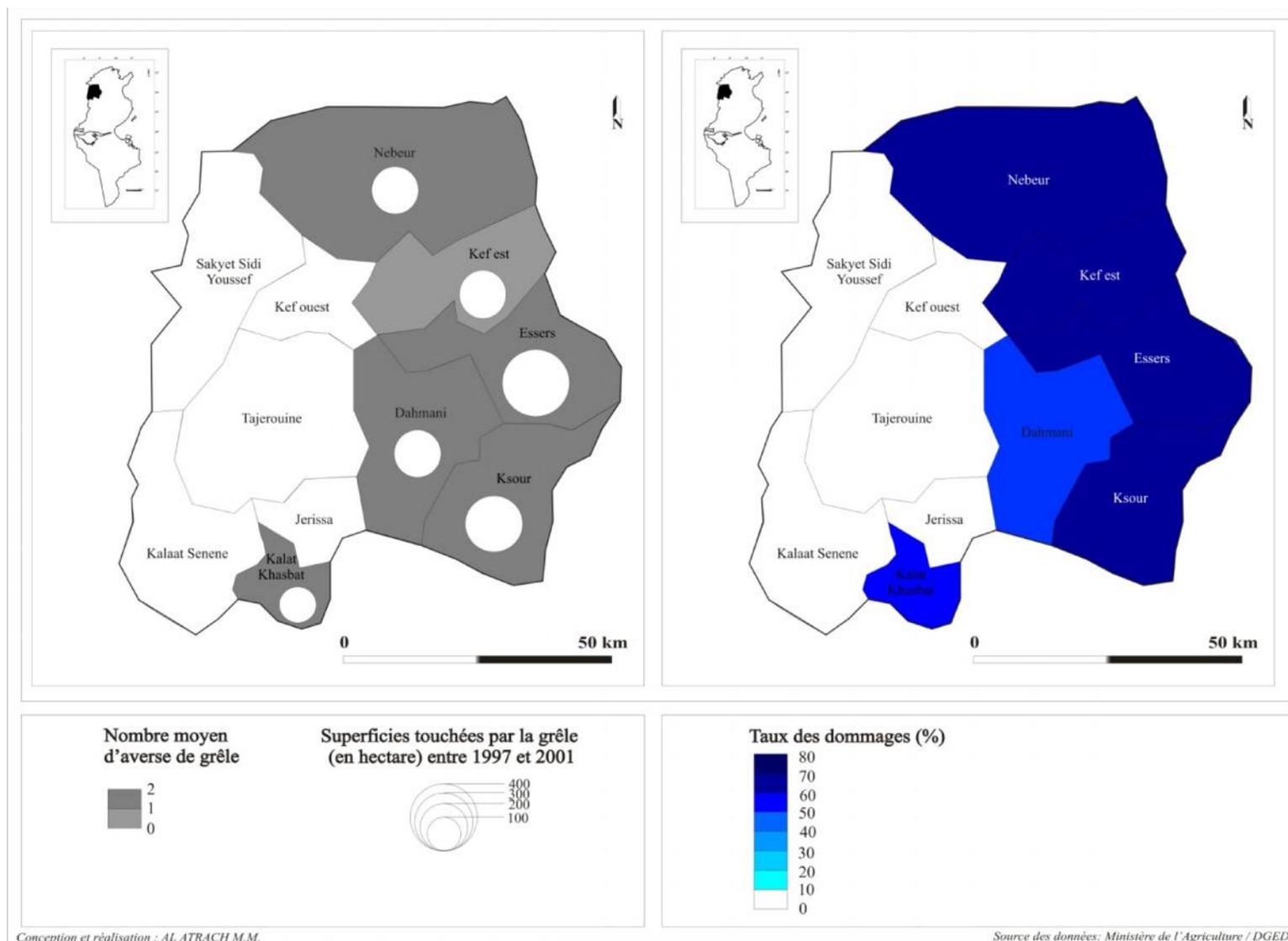


Figure 101. Superficies touchées par la grêle au Kef entre 1997 et 2001.

Figure 101 bis. Taux des dégâts entre 1997 et 2001.



**Photo 81 et 81 bis (à droite). Grêle du 18/05/2002 à Essers du gouvernorat du Kef au Nord-ouest (cliché : CTAMA).**



**Photo 82. Effets de la grêle du 18/05/2002 sur les arbres fruitiers d'Essers du gouvernorat du Kef au Nord-ouest (cliché : CTAMA).**

#### *4.2.2. Gouvernorat de Siliana*

A Siliana, la fréquence annuelle des chutes de grêle baisse par rapport aux deux gouvernorats précédents. Le nombre moyen de jours de grêle ne dépasse pas un maximum de 1 jour de grêle par an notamment dans la partie sud du gouvernorat, comme Rouhia et Kesra. Au-delà, cette fréquence diminue vers les délégations du nord pour atteindre à peine une valeur de 0,20 jour à Bou Arada et El Aroussa (figure 102 et 102 bis).

Dans ce gouvernorat, Les dégâts de grêle sont perçus sur 3660 hectares notamment dans les délégations du sud le long d'un axe sud-ouest/nord-est qui relie la délégation de Rouhia avec celle de Bargou. Dans cette partie, les dégâts dus à la grêle varient généralement entre 50 et 70% des superficies. Vers le nord, les superficies des arbres fruitiers décroissent, bien que les taux des dégâts restent encore importants en particulier à El Krib (60%).

La répartition des taux des dégâts dans le gouvernorat de Siliana se justifie clairement par le passage de trois grandes trajectoires de grêle<sup>53</sup>. Deux intéressent les quatre délégations du nord-ouest (n° 9 : Voir figures 53 et 55 du chapitre 3). Elles proviennent du secteur ouest et se manifestent comme le prolongement des mêmes trajectoires du centre du gouvernorat du Kef à l'ouest. En revanche, une nouvelle trajectoire très active, de direction sud-ouest / nord-est, fléchisse sur les délégations de la moitié sud de Siliana, de Rouhia jusqu'au Bargou, où elle marque la sinistralité la plus forte.

### ***4.3. Les Basses Steppes tunisiennes***

#### *4.3.1. Gouvernorat de Kairouan*

Dans le gouvernorat de Kairouan, on compte un total de 46 590 hectares attaqués par les chutes de grêle. Le phénomène de la grêle, à Kairouan, n'est pas assez fréquent, où on enregistre à peine 1 jour de grêle chaque deux ans. Généralement, Les chutes de ce type de précipitations fléchissent selon un axe sud / nord qui commencent avec les deux délégations de Hajeb Elayoun et Nasrallah et finit par celles Oueslatia et Sbikha (figures 103 et 103 bis).

---

<sup>53</sup> Voir figures 52 et 54 du chapitre 3.

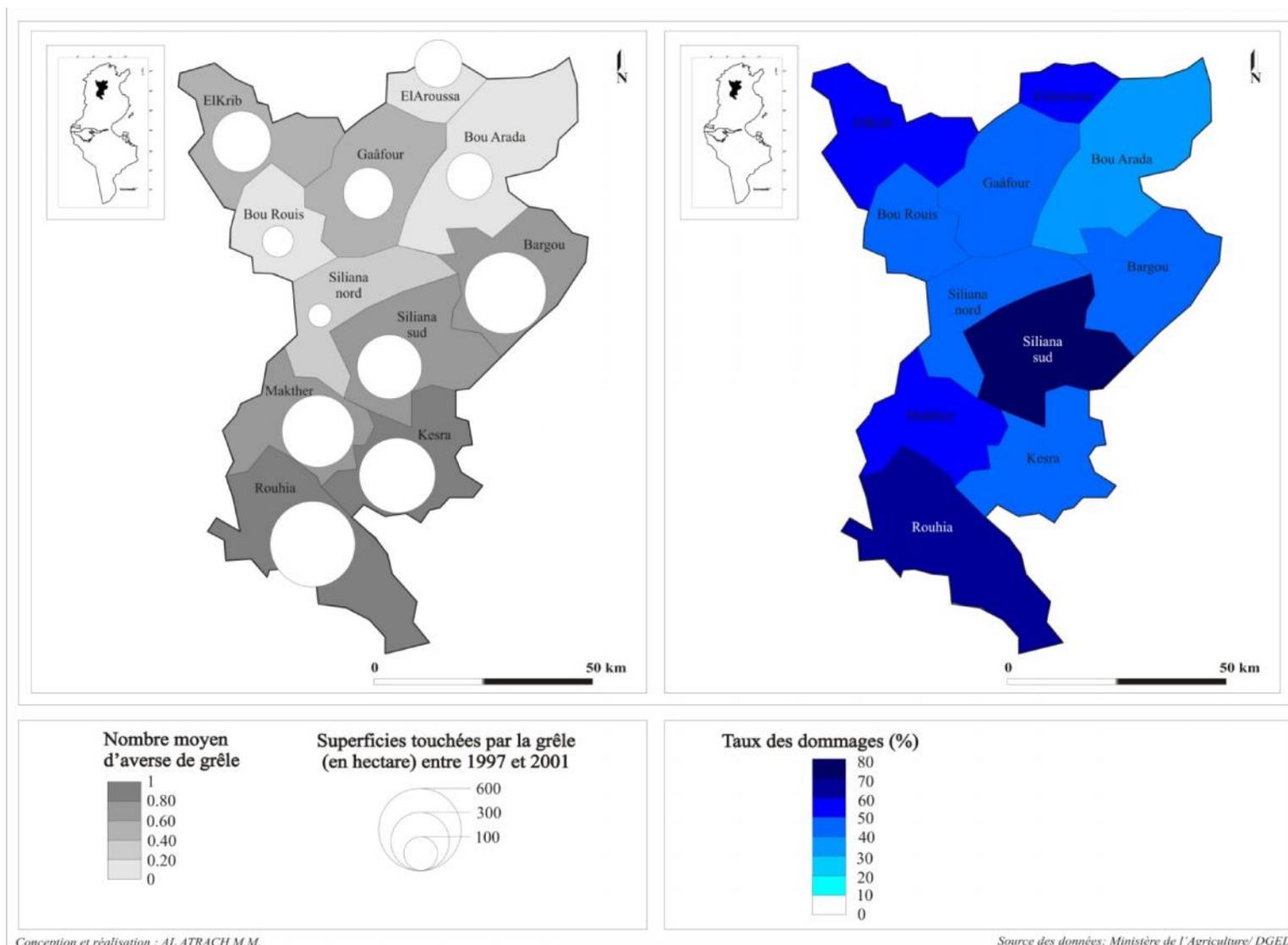


Figure 102. Superficies touchées par la grêle à Siliana entre 1997 et 2001.

Figure 102 bis. Taux des dégâts entre 1997 et 2001.

Les dégâts dus à la grêle ne touchent pas des grandes valeurs proches de celles observées dans les trois gouvernorats précédents. Les taux ne dépassent pas les 40% des superficies arboricoles comme dans la délégation de Haffouz au centre-ouest du gouvernorat qui accapare à elle seule presque la moitié des superficies touchées par la grêle avec 22220 hectares. Sauf pour les 2700 hectares de la délégation de Chbika au centre du gouvernorat où on enregistre un taux des dégâts de 70%.

Le gouvernorat de Kairouan connaît trois trajectoires de grêle préférentielles<sup>54</sup>. Une première trajectoire très importante axée du sud-ouest (les délégations de Hajeb El Ayoun et de Nassrallah) au nord-est (la délégation de Sbikha), où on enregistre les maxima de jours de grêle les taux des dégâts les plus élevés notamment à Chbika (n° 18 : Voir figures 53 et 55 du chapitre 3) qui se trouve aussi à l'intersection d'une autre trajectoire assez importante provenant de l'ouest (n° 19 : Voir figures 53 et 55 du chapitre 3). La troisième trajectoire caractérise les deux délégations d'Oueslatia et de Sbikha au nord du gouvernorat (n° 17 : Voir figures 53 et 55 du chapitre 3).

#### 4.3.2. Gouvernorat Sidi Bouzid

A Sidi Bouzid comme à Kairouan, la grêle n'est pas un phénomène fréquent chaque année. En effet, à peine 1 jour de grêle au maximum chaque deux ans notamment dans les deux délégations de Jelma et Ouled Haffouz au nord du gouvernorat (figures 104 et 104 bis).

Comme à Kasserine, les traces de la grêle ont été observées dans une superficie totale très étendue de 214 060 hectares. Par ailleurs, les taux sont beaucoup moins restreints variant entre 2% à Regueb et 30% à Sidi Bouzid ouest. La délégation d'Ouled Haffouz au Nord-est du gouvernorat dessine une exception où les dommages sont encore élevés de 65%.

A Sidi Bouzid, on reprend le prolongement sud de la principale trajectoire<sup>55</sup> (n°18 : Voir figures 53 et 55 du chapitre 3) qui a caractérisé le gouvernorat de Kairouan au nord, donc les deux délégations de Sabbala et de Jelma y semblent le siège. En outre, deux autres trajectoires préférentielles des orages fléchissant d'ouest en est (n° 27 et n° 28 : Voir figures 53 et 55 du chapitre 3) concernent presque le reste des délégations du gouvernorat.

---

<sup>54</sup> Voir figures 52 et 54 du chapitre 3.

<sup>55</sup> Voir figures 52 et 54 du chapitre 3.

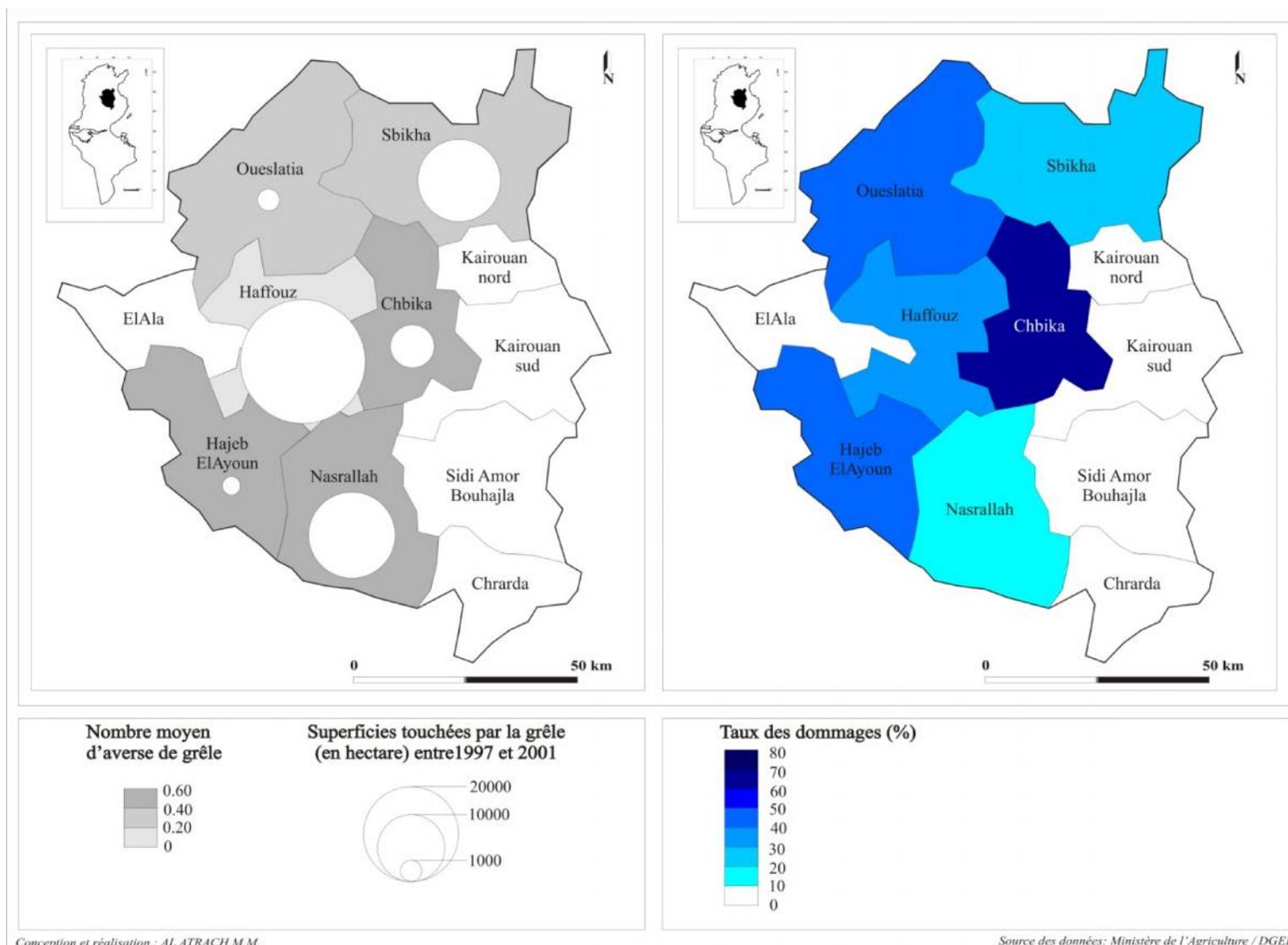


Figure 103. Superficies touchées par la grêle à Kairouan entre 1997 et 2001.

Figure 103 bis. Taux des dégâts entre 1997 et 2001.

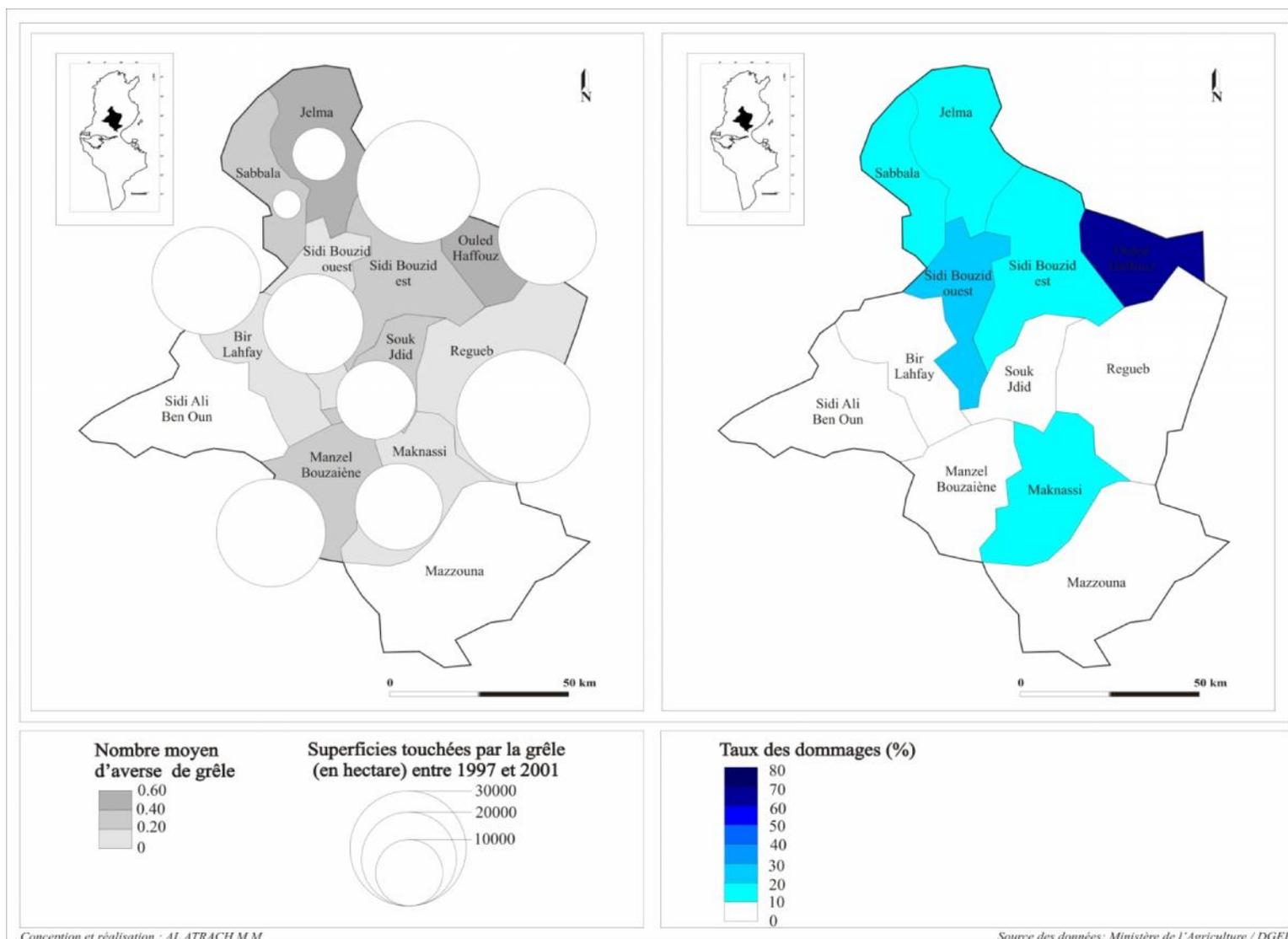


Figure 104. Superficies touchées par la grêle à Sidi Bouzid entre 1997 et 2001.

Figure 104 bis. Taux des dégâts entre 1997 et 2001.

#### 4.4. Le Cap Bon : gouvernorat de Nabeul

Loin de l'intérieur du pays, le phénomène de la grêle est présent dans la région du Cap Bon (le gouvernorat de Nabeul) au Nord-est, mais avec une fréquence moins importante. Les maxima annuels moyens n'atteignent qu'à peine 1 jour tous les trois ans (figures 106 et 106 bis). A l'échelle spatiale, ces maxima s'observent particulièrement dans la partie ouest de ce gouvernorat.

Entre 1997 et 2001, la grêle a affecté une superficie totale de 600 hectares et les taux des dommages varient de 15 à 25%, et encore plus (à 40%) notamment dans les délégations productrices en matière d'arboriculture comme Menzel Bouzelfa, Bni Khalled et Slimen.

La région du Cap Bon est envahie par une seule trajectoire de grêle très importante qui concerne toute la partie ouest et se dirige du nord vers le sud (figure 105). Les délégations de cette partie ouest notamment celles de Slimen, de Menzel Bouzelfa, de Bni Khalled, de Grombalia et de Bou Argoub se trouvent donc les plus exposées aux chutes de grêle, à laquelle s'ajoute une spécialité agricole de la région en cultures d'agrumes et de vignes (photos 83 et 83 bis).



Figure 105. Trajectoires des nuages de grêle à Nabeul (la région du Cap Bon au Nord-est).

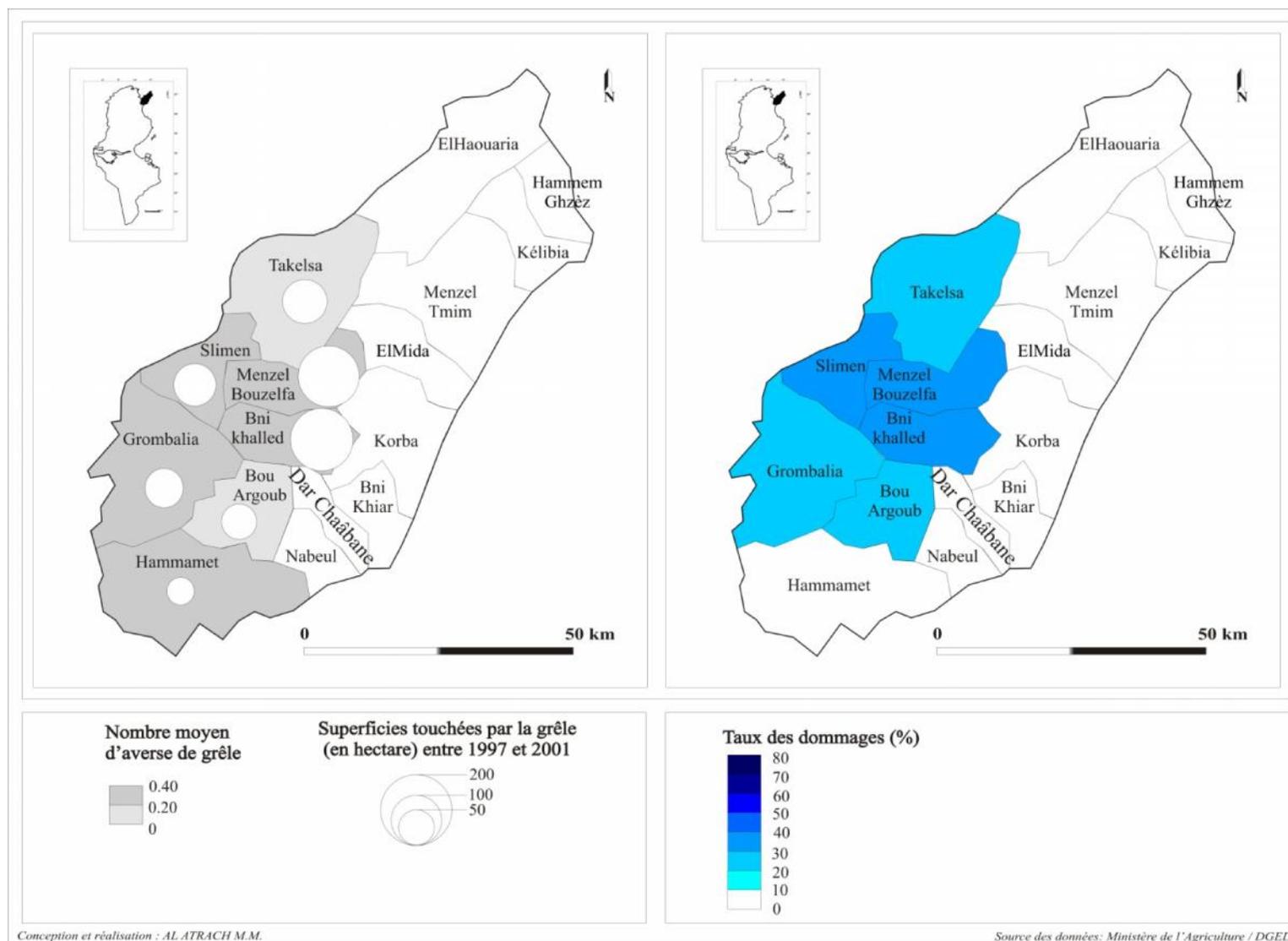


Figure 106. Superficies touchées par la grêle à Nabeul entre 1997 et 2001.

Figure 106 bis. Taux des dégâts entre 1997 et 2001.



Photos 83 et 83 bis (à droite). Effets des chutes de grêle de l'année 1982 sur les agrumes et les vignes du Cap Bon (source : CTAMA).

## 5. Les taux de cotisation

La cotisation, terme équivalent à la prime d'assurance, est utilisée dans les sociétés d'assurances à formes mutuelles comme la CTAMA : c'est le prix payé par l'adhérent ou le souscripteur en contrepartie du risque pris en charge par la compagnie d'assurance. Le taux de cotisation est un pourcentage que l'on applique sur la rémunération des assurés (agriculteurs) pour calculer le montant des cotisations qu'ils devront verser de façon à régler leur mutuelle agricole. Appelés aussi les codes-tarifs, ces taux de cotisation désignent le risque tarifé. En Tunisie, ils sont modulés à l'échelle des gouvernorats, mais très souvent localement à l'échelle des délégations et même des communes.

Les taux de cotisations réels ne sont pas connus de manière fiable. En revanche, un taux de cotisations plancher "grêle" sur une classe de culture indique le taux minimal de cotisation à pratiquer dans chaque gouvernorat ou chaque délégation. Au-dessous de ce minimum, l'assurance serait pratiquée à perte. Pour les assureurs, les données concernant les taux de cotisation sont très confidentiels. Cependant nous avons eu la chance d'avoir obtenu les codes-tarifs des différentes classes des cultures gouvernorat de Kasserine, la région la plus touchée par le risque-grêle. Ces données ont été fournies par la compagnie d'assurance agricole de la CTAMA et concerne la campagne agricole 2004/2005.

Pour le cas de la céréaliculture (le blé qui considérée comme la première classe de culture tarifiée et aussi la classe de référence<sup>56</sup> et l'orge qui est comme la deuxième classe), les taux de cotisations plancher « grêle » dessinent une diagonale du risque-grêle qui s'étend du sud-ouest au nord-est (figures 107 et 108). Les valeurs fléchissent de 5% dans les délégations de Majel Bel Abbès et de Fériana vers les fortes dispositions grêlifères dans les délégations de Hidra, Thala, El Ayoun, Sbeïtla et particulièrement de Sbiba (7 à 8%). Les délégations du centre du gouvernorat (Hidra, Kasserine sud et Hassi Lefrid) ont une sinistralité moyenne entre 6 et 7%.

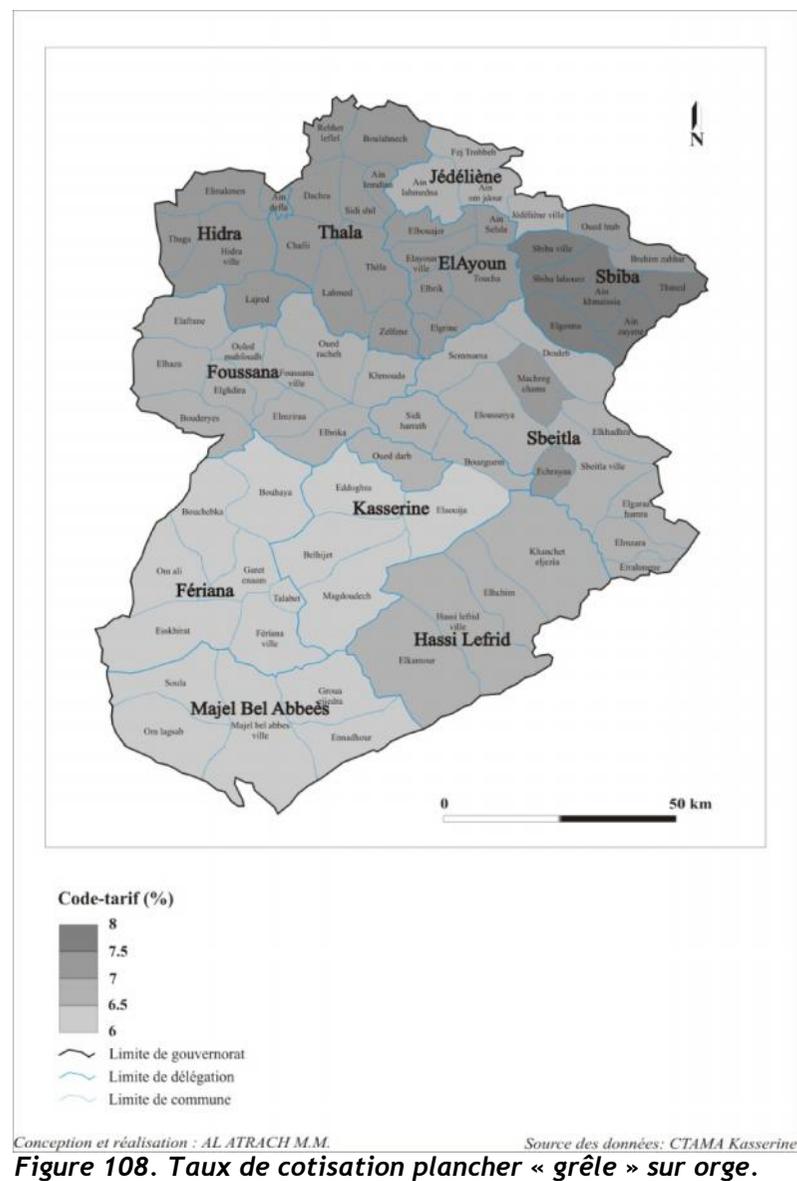
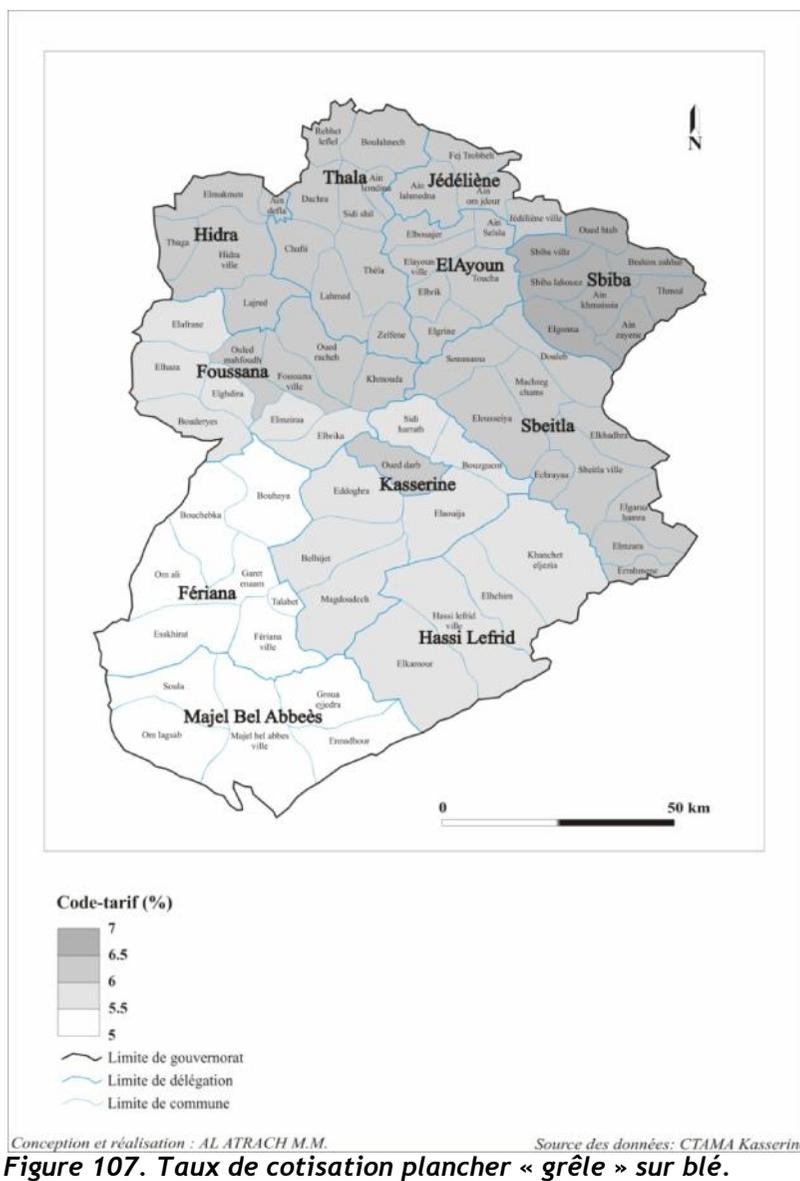
Les taux de cotisation plancher « grêle » sur légumes (troisième classe : figure 109) et sur oliviers (quatrième classe : figure 110) retiennent le même dispositif géographique de ceux observés dans le cas de la céréaliculture. En effet, les sinistralités décroissent toujours du sud-ouest au nord-est. Cependant, les taux deviennent plus élevés pour atteindre une fourchette entre 7 et 9% sur les oliviers et entre 8.5 et 10.5% sur les légumes.

Les cultures de la cinquième classe, à savoir les pommiers et les poiriers, révèlent les sinistralités les plus fortes. Les taux de cotisation plancher « grêle » sur ces types de cultures atteignent des valeurs entre 11 et 12.5% (figure 111). Les délégations de Foussana, Kasserine (nord et sud), Sbeïtla et Sbiba se trouvent à la tête de liste avec les maxima de sinistralité. Ces quatre délégations sont les premiers spécialistes en pommiers (de point de vue superficies et production), notamment celle de Sbiba. Dans les autres délégations du gouvernorat, les taux baissent relativement mais ils restent toujours importants entre 11 et 12%.

D'une manière générale, la géographie des taux cotisations des cinq classes dans les délégations du gouvernorat de Kasserine concorde avec la géographie des dégâts (figure 97 ci-avant), notamment pour les cultures de la cinquième classe (les pommiers et les poiriers). L'originalité des quatre délégations de Foussana, Kasserine (nord et sud), Sbeïtla et en notamment Sbiba se confirme davantage en matière de sinistralité, auxquelles s'ajoutent les fréquences maximales de la grêle avec 2 à 3 jours en moyenne par an (figure 96 ci-avant). La particularité de la délégation Sbiba se présente comme un lieu où croisent plusieurs trajectoires de nuages de grêle de directions différentes.

---

<sup>56</sup> Plus de détails dans le tableau 35 du chapitre 8.



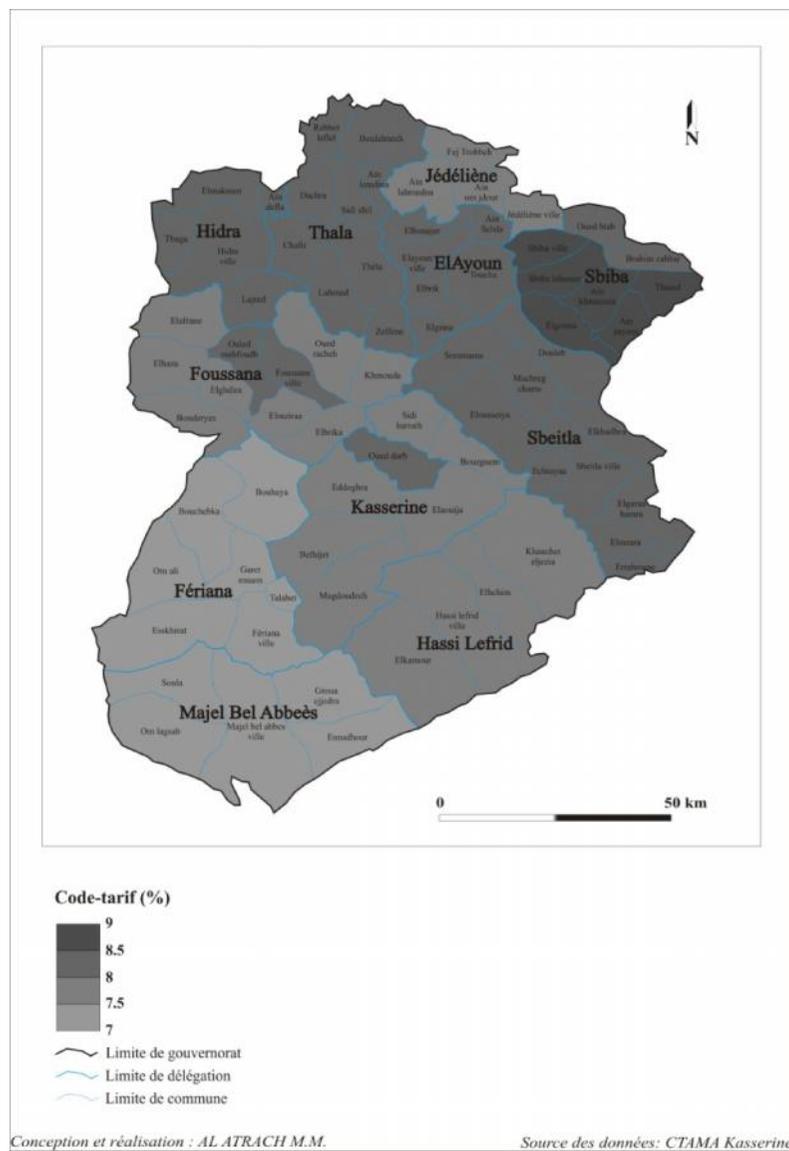


Figure 109. Taux de cotisation plancher « grêle » sur oliviers.

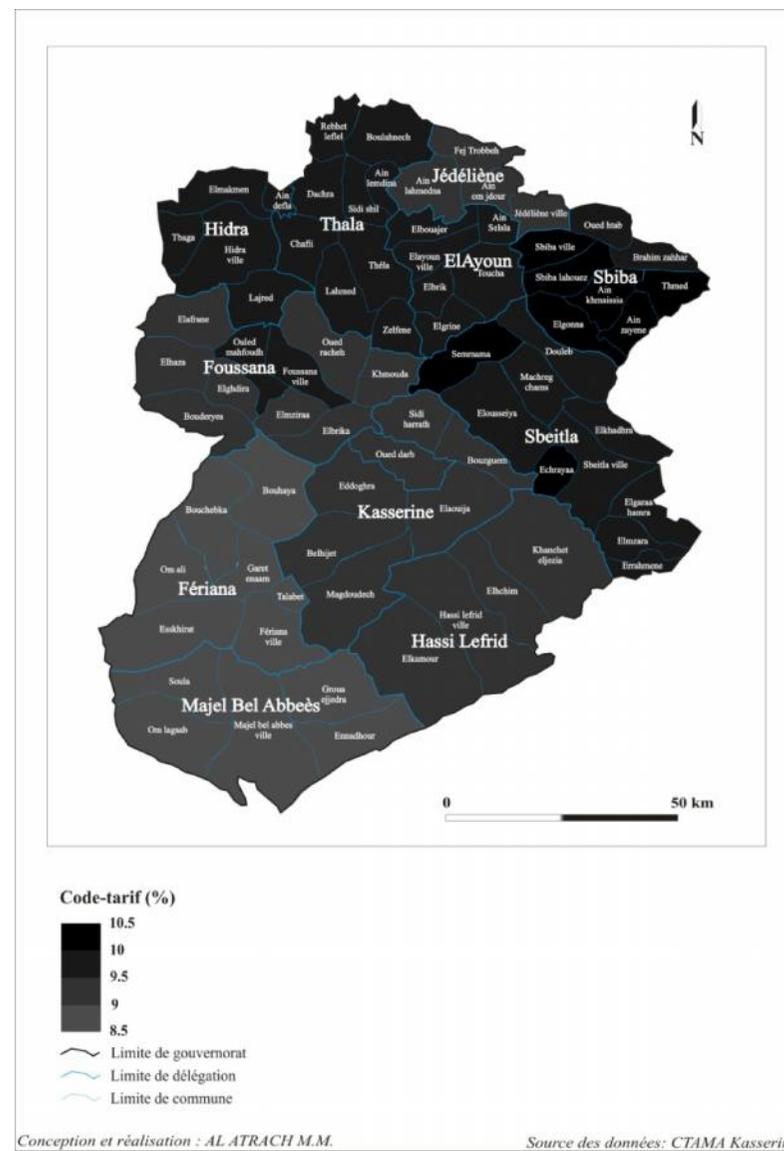
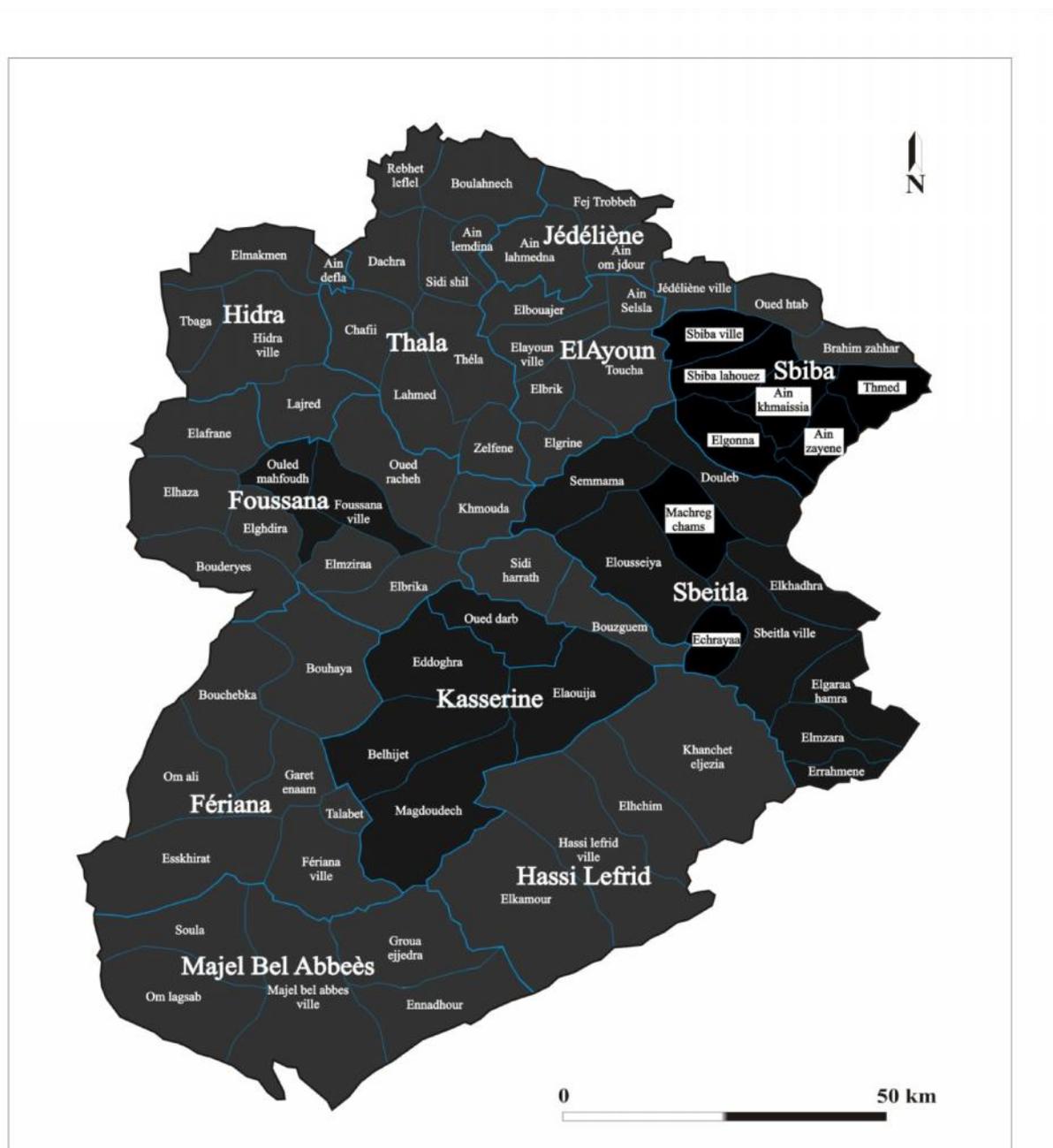
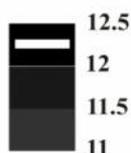


Figure 110. Taux de cotisation plancher « grêle » sur légumes.



**Code-tarif (%)**



- Limite de gouvernorat
- Limite de délégation
- Limite de commune

Conception et réalisation : AL ATRACH M.M.

Source des données: CTAMA Kasserine

**Figure 111. Taux de cotisation plancher « grêle » sur pommiers et poiriers.**

## 6. Les sinistres-grêle et les chutes de grêle : Y a-t-il une corrélation entre les dommages et la fréquence des chutes de grêle ?

L'étude de la relation entre les sinistres-grêle et les chutes de grêle dans le temps nécessite une période assez longue pour bien comprendre la réalité de cette relation. Dans notre période d'étude du risque-grêle qui s'échelonne du 1976 au 2005, nous avons trouvé seulement des données de sinistre pour les années 1996, 1997 et 1998 (figure 112). Durant ces trois ans, et à l'échelle de toute la Tunisie, on remarque une forte corrélation entre la courbe du nombre de jours de grêle et la valeur des sinistres payés par la compagnie d'assurance de la CTAMA. Cette corrélation est influencée réellement par la diminution du nombre de jours de grêle d'été de 21 à 13 jours.

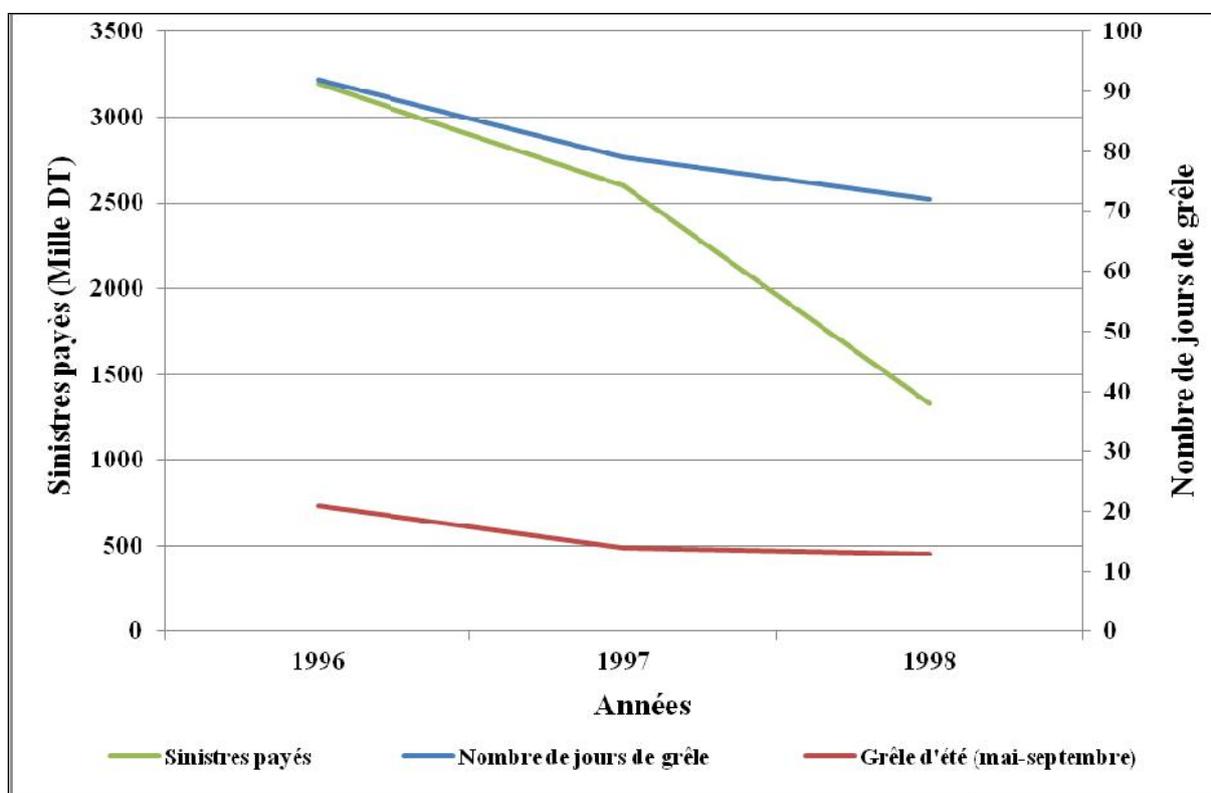


Figure 112. Relation entre les dommages et la fréquence des chutes de grêle (Source des données : CTAMA et INM).

### Conclusion

Les statistiques relatives aux dommages de la grêle sont très confidentielles et difficiles à obtenir. La quantification des dommages, pris en charge par les assurances, traduit en termes financiers les dégâts physiologiques de la grêle sur les cultures. Cependant, ces cultures ne sont pas totalement couvertes par l'assurance et la question qui se pose toujours, est de savoir si les dommages quantifiés reflètent le coût réel des dégâts ? Surtout lorsqu'on sait que

l'information concernant les cultures endommagées et non assurées contre la grêle reste toujours absente.

Les quelques données de dommage à l'échelle infra gouvernementale confirment d'une part les gradients observés à l'échelle nationale et d'autre part les différences assez fortes entre les bassins intérieurs du centre-est par exemple entre Fériana et Sbiba. La région de Sbiba semble être un secteur très touché par la grêle d'été. Le gradient nord-sud est sensible même à l'intérieur du gouvernorat de Kasserine.

Il faudrait sans doute des séries statistiques plus longues d'au moins 30 ans pour cerner la sinistralité d'un secteur. Il est primordial, pour mieux contrôler le risque, que la collecte de données de dommage se fiabilise et se généralise. Ceci permettrait si les données étaient diffusées de renforcer l'étude de la climatologie de la grêle, de sa trace au sol, des relations aléa/taux de perte et l'évaluation de la rentabilité des différents modes de gestion directes ou indirectes pour s'en lutter. Cette climatologie appliquée doit associer, les experts de terrains, les techniciens, les chercheurs et combiner en les comparant toutes les différentes sources de données et les outils d'observation disponibles ses dégâts sur les différents domaines vitaux de l'homme et les différents modes de gestion directes ou indirectes pour s'en lutter. Ces laboratoires doivent être équipés de tous les moyens de mesures du phénomène (les stations radars, les grêlimètres, l'outil informatique, le réseau des stations...etc.).

## **Chapitre 6. Les graves chutes de grêle des 02 et 10 mai 2002 : des événements révélateurs de la vulnérabilité de l'agriculture**

### **Introduction**

Les aspects de la crise liés à la grêle peuvent prendre plusieurs dimensions. La grêle peut engendrer des mini-crisis locales qui peuvent parfois provoquer la faillite d'une exploitation. Elles sont, malheureusement, très fréquentes. Un autre aspect s'observe à l'échelle de la région, d'un bassin économique, en particulier dans le cas d'une concentration de dommage dans une région spécialisée sur un seul produit, comme pour les pommiers de la région de Kasserine au Centre-ouest. De plus grande ampleur, ces dommages peuvent porter sur des enjeux macro-économiques à échelle nationale, comme en témoignent les chutes de grêle des 02 et 10 mai 2002.

En 2002, les fortes chutes de grêle du début de saison ont ainsi entraîné de lourds dommages sur les cultures de plusieurs régions tunisiennes. A l'heure où l'agriculture cherche des voies de développement, ces chutes de grêle ont entraîné une crise dans le milieu professionnel arboricole, crise qui a engendré une réflexion sans doute inachevée sur les moyens de gérer le risque grêle.

### **1. Manifestations de la crise**

#### **1.1. La crise à l'échelle de l'agriculteur**

Les averses de grêle des jeudi et vendredi 02 et 10 mai 2002 au gouvernorat de Kasserine dans les Hautes Steppes au Centre-Ouest ont touché un total de 1 730 exploitants<sup>57</sup>. La totalité des 1 660 agriculteurs ont subi des dommages sérieux, 40 exploitants des dommages à hauteur de 70%, 10 exploitants des dommages à hauteur variable de 10 à 20% et 20 exploitants des dommages à hauteurs variable de 10 à 15%.

Parmi les 1 660 agriculteurs classés comme sinistrés, on en trouve 1 000 de la région de Sbiba (figure 113). Ils sont spécialisés dans les pommiers. Dans 2 850 hectares à vocation

---

<sup>57</sup> D'après le journal « Le Temps » du 14 mai 2002 (Centre de Documentation Nationale).

arboricole totalement sinistrés (dommages à 100%), on trouve 2 000 hectares de pommiers. Les 850 hectares restant comprennent surtout des pêchers et des abricotiers<sup>58</sup>.

<p>REPUBLIQUE TUNISIENNE PREMIER MINISTERE</p> <p><b>CENTRE DE DOCUMENTATION NATIONALE</b></p> <p>SECTION :</p>		<p>SUJET :</p>
<p>SOURCE : <b>LE RENOUVEAU</b></p>		
<p>DATE : 18 MAI 2002</p>		
<p>SITUATION AGRICOLE DANS LA REGION DE SBIBA</p> <p><b>Aides à 1000 exploitants sinistrés</b></p>		

Figure 113. Dégâts des chutes de grêle des 02 et 10 mai 2002 sur les pommiers de Sbiba du Gouvernorat du Kasserine (LE RENOUVEAU du 18 mai 2002).

<sup>58</sup>D'après les données du Commissariat Régional pour le Développement Agricole du gouvernorat de Kasserine.

### 1.2. La crise à l'échelle régionale.

À l'échelle de la région de Kasserine, les dommages se sont étendus sur une superficie de 10 741 hectares de cultures diverses, notamment des cultures arboricoles. Les taux des dommages varient généralement entre 10 et 100% de la superficie totale (tableau 26).

Type de culture	Superficie (hectare)	Proportion du dommage (%)
<b>Oliviers</b>	<b>3 990</b>	<b>10 à 20</b>
<b>Amandiers</b>	<b>1 290</b>	<b>10 à 50</b>
<b>Oliviers et Amandiers</b>	<b>140</b>	<b>40 à 70</b>
<b>Pistachiers</b>	<b>51</b>	<b>50</b>
<b>Pommiers</b>	<b>2 515</b>	<b>10 à 100</b>
<b>Pêchers</b>	<b>411</b>	<b>10 à 80</b>
<b>Abricotiers</b>	<b>309</b>	<b>10 à 100</b>
<b>Arbres fruitiers divers</b>	<b>392</b>	<b>20 à 80</b>
<b>Céréales irriguées</b>	<b>120</b>	<b>15 à 20</b>
<b>Légumineuses</b>	<b>10</b>	<b>15 à 20</b>
<b>Cactus</b>	<b>1 513</b>	<b>5 à 80</b>
<b>TOTAL</b>	<b>10 741</b>	<b>-</b>

Tableau 26. Les dommages causés par les chutes de grêle des 02 et 10 mai 2002 sur l'agriculture dans le gouvernorat de Kasserine (source : CRDA de Kasserine).

Ainsi, les pommiers, amandiers, pêchers et les abricotiers se trouvent en tête des cultures les plus endommagées puisque 4 576 hectares au total ont été endommagés avec des proportions allant de 10% à 100%. Les oliviers ont aussi beaucoup souffert, car environ 4 000 hectares sont sinistrés dans des proportions allant de 10 à 70%.

Ces deux chutes de grêle ont touché aussi 1 513 hectares de cactus à hauteur de 5 et 80%, une superficie de 392 hectares cultivée d'arbres fruitiers divers et endommagée à hauteur de 20 à 80%, ainsi qu'un total de 130 hectares de céréales irriguées et de légumineuses, à hauteur de 15 à 20%.

La réalité des dommages des deux chutes de grêle du mois de mai 2002 s'observe à la lecture des archives du Commissariat Régional pour le Développement Agricole de Kasserine après comparaison de la production arboricole de certains arbres fruitiers de la campagne 2001/2002 avec celle de la campagne de l'année suivante (figure 114).

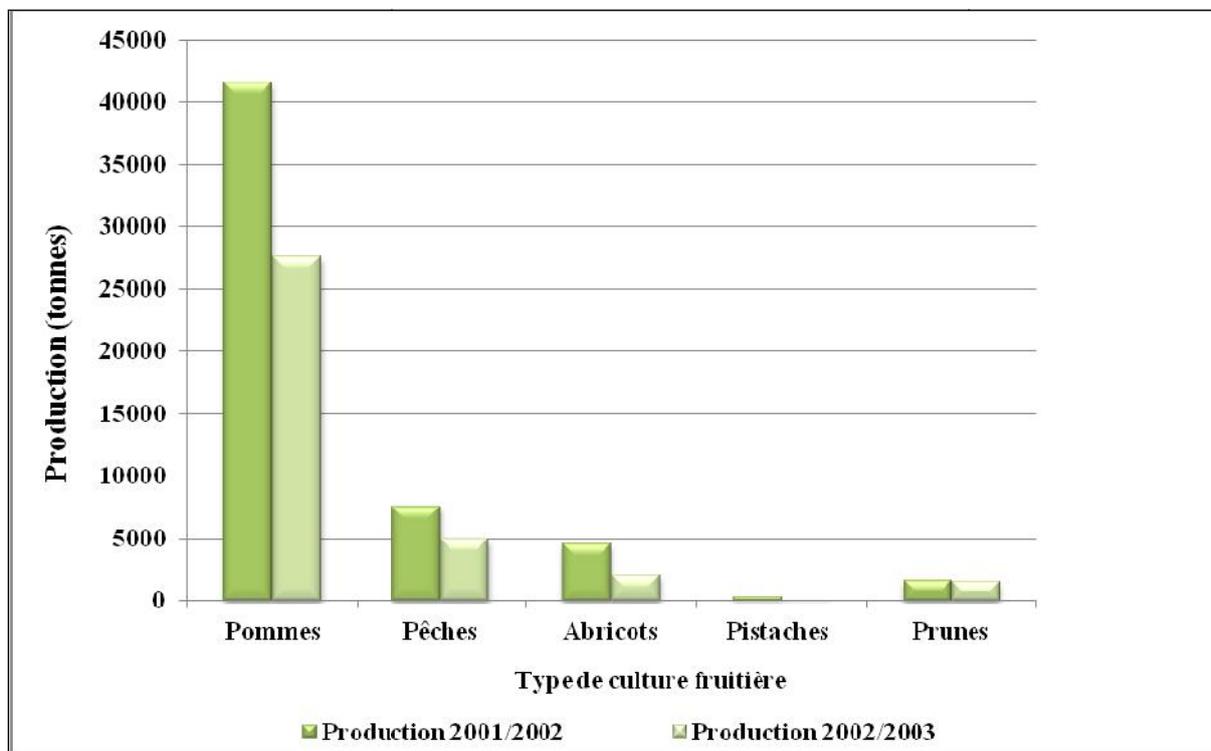


Figure 114. La production de quelques cultures fruitières dans le gouvernorat de Kasserine durant les campagnes agricoles de 2001/2002 et de 2002/2003 (source : CRDA de Kasserine).

Les pommes<sup>59</sup> demeurent les plus touchées par les effets des averses de grêle des 02 et 10 mai 2002. Ainsi, la production de la région de Kasserine de la campagne agricole de 2002/2003 a baissé de plus du 1/3 par rapport à celle de la campagne de l'année précédente (de 41 500 tonnes à 27 560 tonnes).

Les chutes de grêle ont aussi touché les pêcheurs et les abricotiers. La baisse de leur production en fruits lors des campagnes agricoles de 2001/2002 et de 2002/2003 a été évaluée respectivement à hauteur d'environ 35% et à hauteur de plus de 56%.

<sup>59</sup> La culture de la pomme dans la région de Kasserine (Centre ouest de la Tunisie), constitue une importante activité économique dans la région : on dénombre environ 2 millions de pommiers.

Dans le même gouvernorat de Kasserine, les dommages varient d'une délégation à une autre. Elles sont classées en fonction de la proportion des dommages, des types de cultures sinistrées et des superficies endommagées par hectares (figure 115).

Dans la délégation de Sbiba, la grêle du 10 mai 2002 a touché 3 070 hectares, dont 2 190 hectares de pommiers soit plus que 82% de toute la surface des pommeraies à Sbiba, parmi eux, on note a relevé 2000 hectares (soit 91,32%) sinistrés à hauteur de 100% (figure 115). Ces mêmes chiffres ont été observés sur d'autres arbres fruitiers où 850 hectares, comprenant de nombreux pêchers et d'abricotiers, ont été totalement ravagés.

Dans les autres délégations et sur un axe qui relie Thala, El Ayoun et Sbeitla, la proportion des dommages varie de 50 et 75%. Ils ont touché spécialement les oliviers, les amandiers ainsi que les cactus (figure 115). A Foussana, 60 hectares de pommiers ont été endommagés de 60 à 100% avec d'autres dégâts de l'ordre de 30% sur les céréales irriguées (figure 115).

### **1.3. La production de pommes à l'échelle nationale**

Les pommeraies de la région de Kasserine, premières en nombre sur tout le pays, représentaient plus de 5 730 hectares lors de la campagne agricole de 2005/2006. Avec 2 millions de pieds de pommiers, le gouvernorat de Kasserine produit annuellement 40% de la production nationale de pommes qui assurent 15 millions de dinars de revenus<sup>60</sup>.

Après un maximum de 108 000 tonnes de pommes en 2000/2001 au niveau national et une production de 100 000 tonnes en 2001/2002, on observe une baisse effective de 8 000 tonnes, mais en considérant l'estimation prévoyant 122 000 tonnes potentielles, la perte relative aux quantités attendues s'élève à 22 000 tonnes (figure 116). Le gouvernorat de Kasserine dont la part se chiffrait à 41 500 tonnes de pommes en 2001 soit presque 40% du tonnage national, n'a fourni que 27 560 tonnes en 2002 soit moins de 28%.

---

<sup>60</sup>D'après le journal « *Le Renouveau* » du 03 juillet 1999 (Centre de Documentation Nationale).

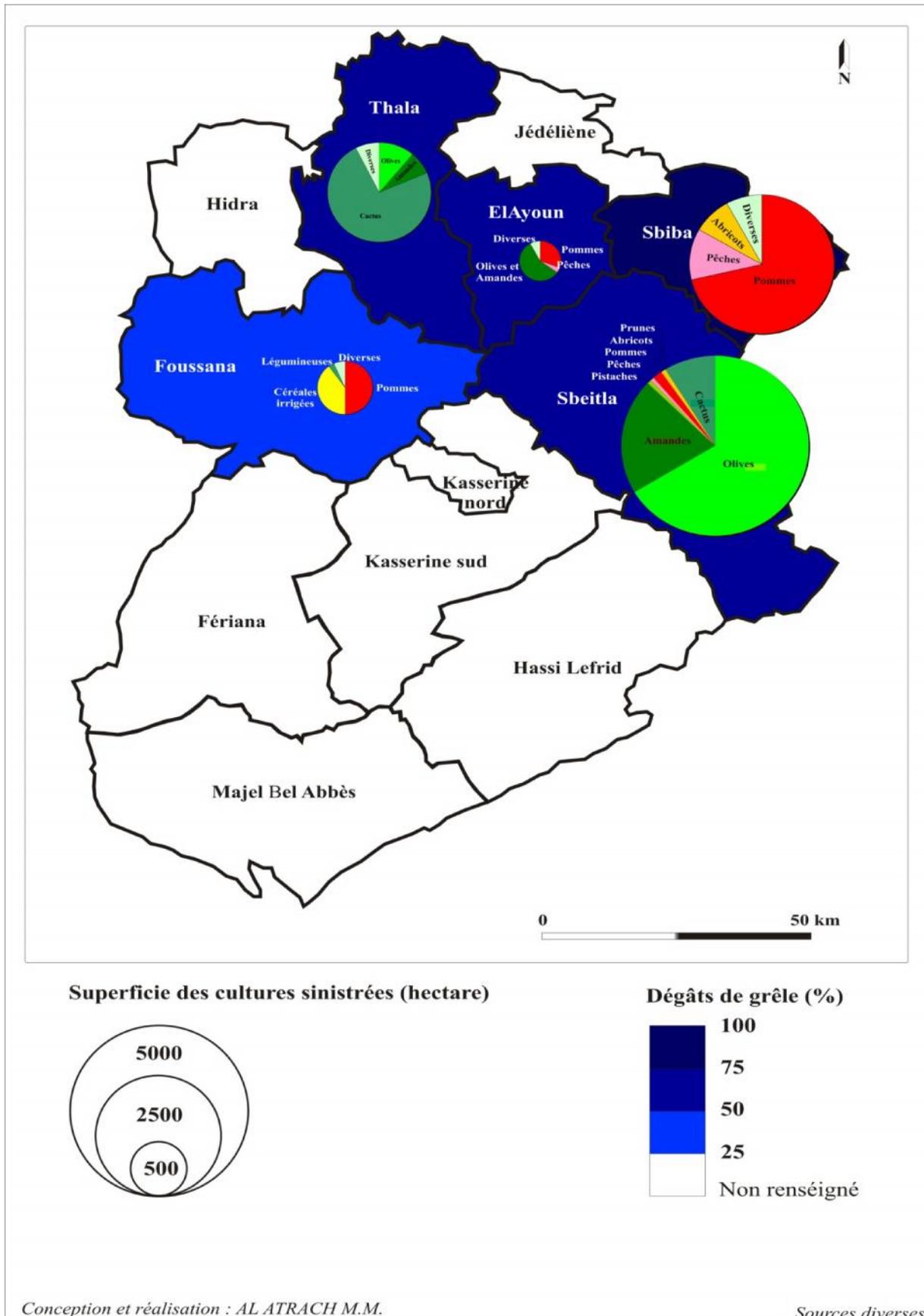


Figure 115. Les dégâts causés par les chutes de grêle des 02 et 10 mai 2002 dans les différentes délégations du gouvernorat de Kasserine (source : CRDA de Kasserine).

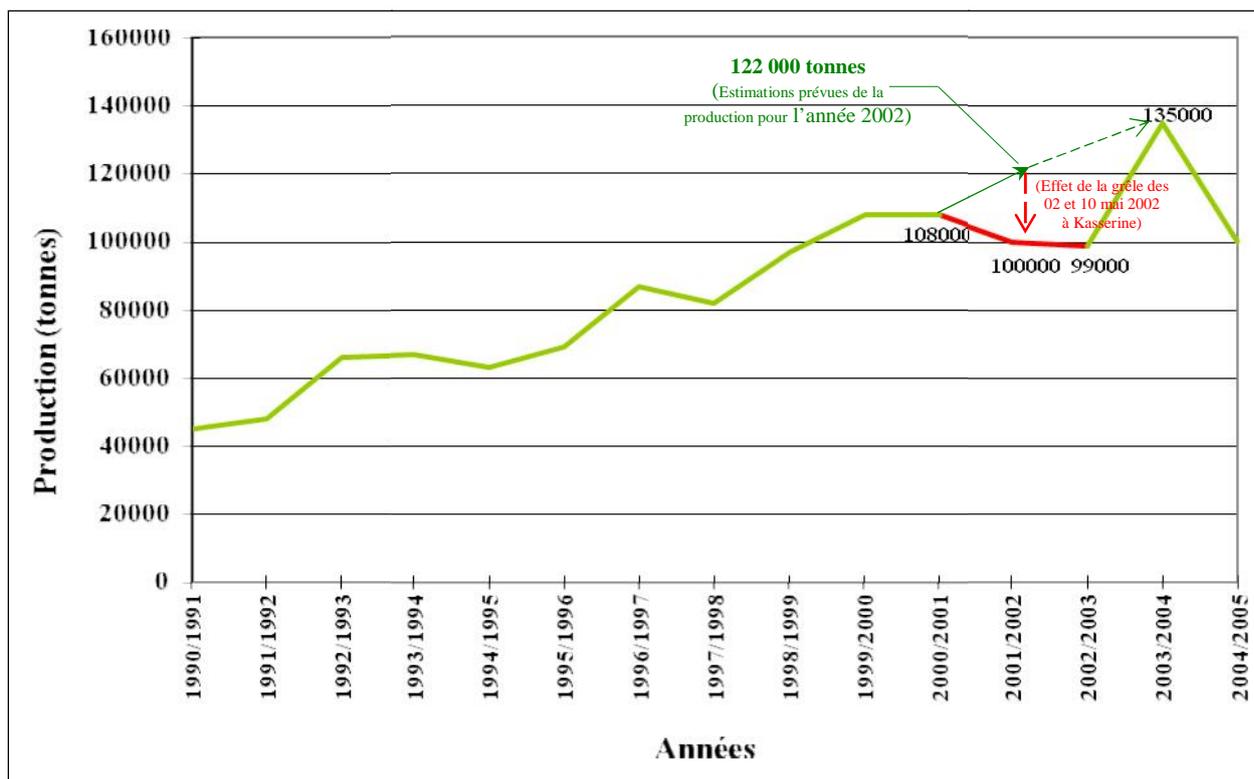


Figure 116. Evolution de la production de pommes en Tunisie entre 1990 et 2005 et l'effet de la grêle des 02 et 10 mai 2002 (source : CNDA).

Les rapports d'évaluation des dégâts des experts ont estimé le coût des pertes à **15.4 millions de dinars** soit plus que les revenus assurés annuellement par ce type de production fruitière (figure 117). Les dispositions nécessaires ont été prises pour indemniser les victimes et atténuer les dommages de ces intempéries. Les interventions urgentes ont porté sur le traitement des arbres affectés et l'engraisement des terres. Quant aux agriculteurs et en particulier les petits exploitants, ils nécessitaient de crédits exceptionnels et urgents pour recourir à l'échelonnement de leurs dettes.

## 2. Les causes de la crise

### 2.1. Causes climatiques

Les conditions météorologiques des 02 et 10 mai 2002 étaient très favorables au déclenchement des phénomènes orageux accompagnés de chutes de grêle. Il est bien connu que mai, dans l'hémisphère nord annonce la fin du printemps et le début du l'été du climat méditerranéen.



Figure 117. Les dégâts des chutes de grêle des 02 et 10 mai 2002 dans du Gouvernorat du Kasserine (« Le Temps » du 14 mai 2002).

En Tunisie, à partir de mai, les moyennes thermiques ont une tendance à la hausse et peuvent atteindre des valeurs moyennes supérieures à 30 et même 35°C, en particulier dans les régions continentales à climat semi-aride et proches du Sahara comme celle des Hautes Steppes et du Centre-ouest.

Les images infrarouges de la situation atmosphérique de ces deux jours montrent bien la formation des nuages porteurs de grêle dans l'Ouest et surtout dans le Centre-ouest (figures 118et 119).

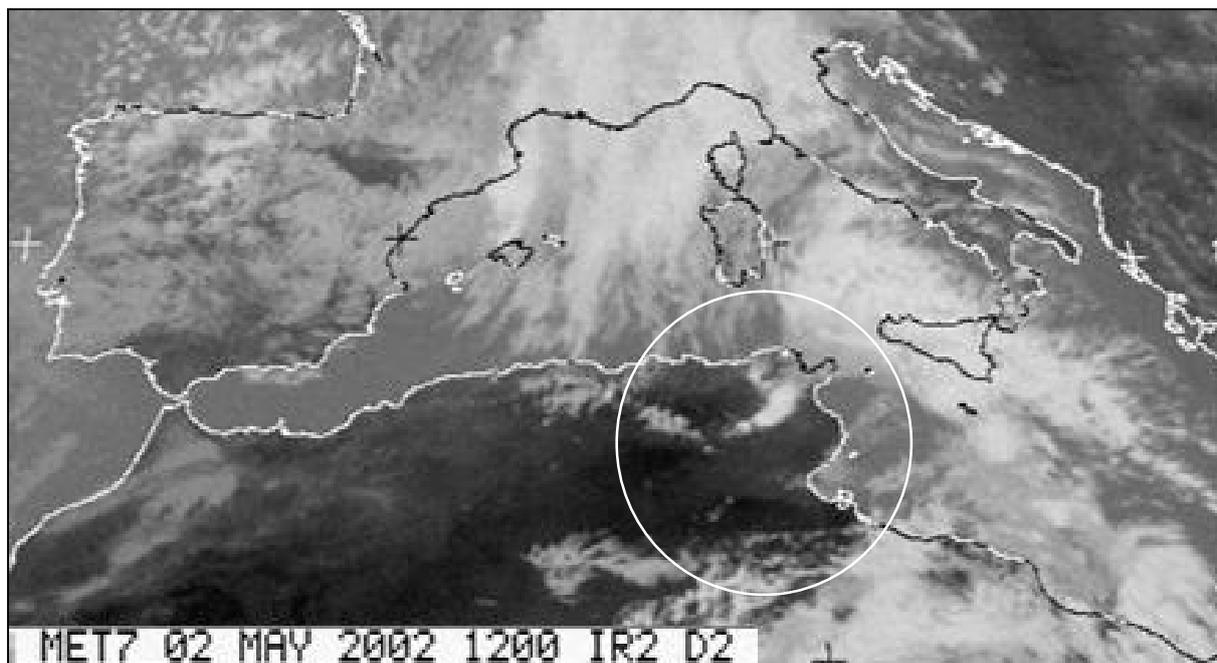


Figure 118. Image Infrarouge du 02 mai 2002 ([www.grtr-srasbourg.fr](http://www.grtr-srasbourg.fr)).

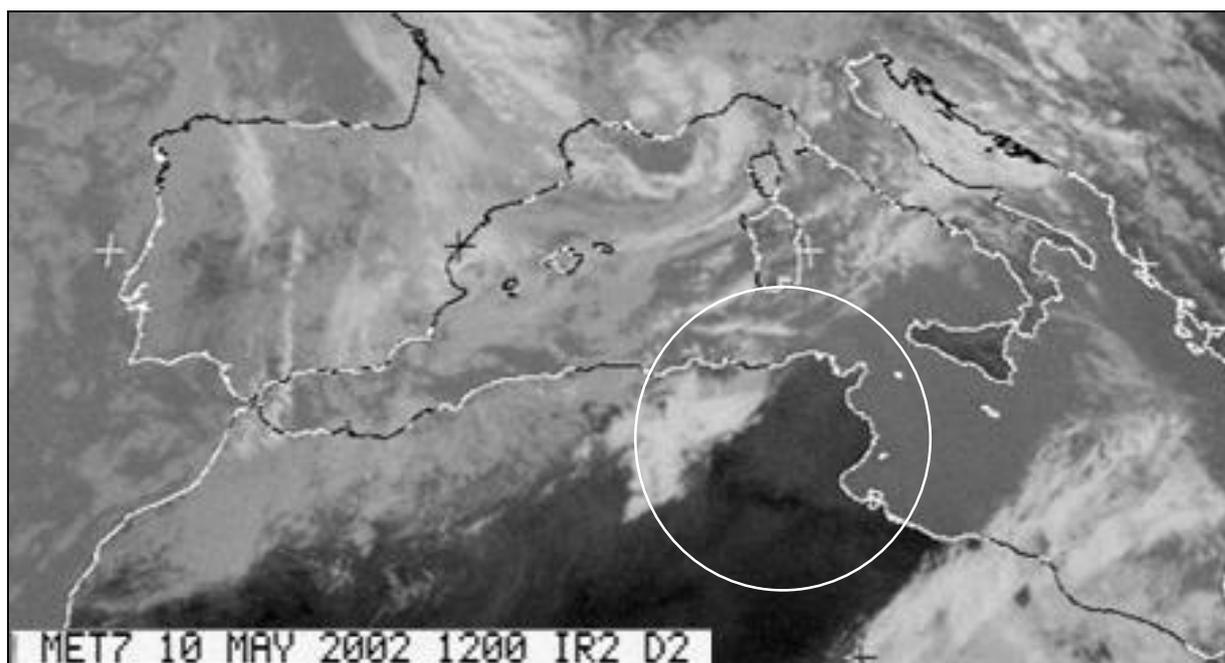


Figure 119. Image Infrarouge du 10 mai 2002 ([www.grtr-srasbourg.fr](http://www.grtr-srasbourg.fr)).

### 2.1.1. Situation atmosphérique générale à la surface du sol

Les jeudi et vendredi 02 et 10 mai 2002, la situation atmosphérique générale à la surface du sol dessine une vaste zone dépressionnaire s'étendant sur toute la Méditerranée occidentale ainsi que sur l'Afrique du Nord. Les valeurs y atteignent moins de 1008 hPa. Un anticyclone affaibli, ayant 1034 à 1030 hPa de valeur au centre, surplombe l'Atlantique nord (figure 120).

Un front froid se positionne sur la Méditerranée occidentale, le Maroc et l'Algérie le 02 mai 2002. Un autre front isolé circule sur les extrêmes sud de la Tunisie (figure 120). C'est à l'avant du front froid que se forment les orages porteurs de grêle qui ont touché la région des Hautes Steppes.

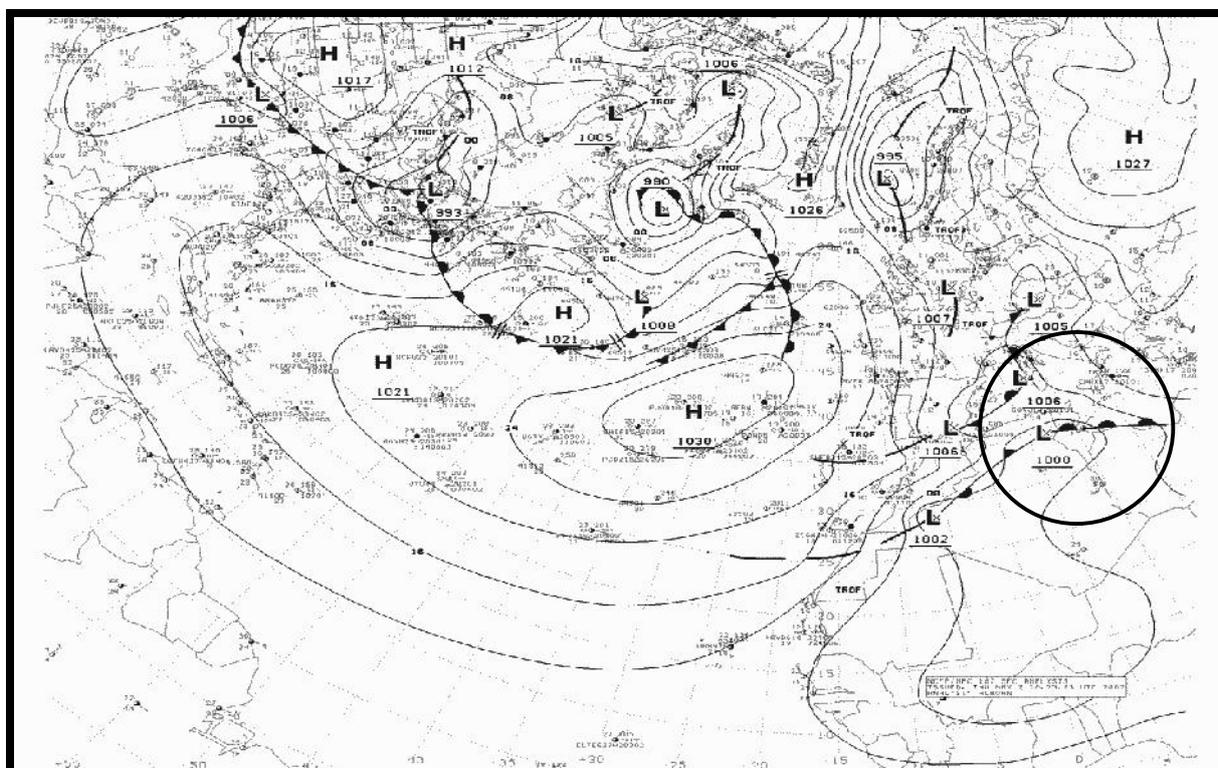


Figure 120. Situation atmosphérique au sol du 02 mai 2002 à 20h 25 mn UTC ([www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)).

### 2.1.2. Situation atmosphérique en altitude

Pendant ces deux jours, les isohypses de la surface 500 hPa dessinent une dépression sur toute la Méditerranée occidentale et toute l'Afrique du Nord à laquelle s'associe une invasion d'air froid sur la péninsule Ibérique, le Maroc et l'Algérie. La goutte d'air froid détermine des conditions de forte instabilité (figures 121 et 122).

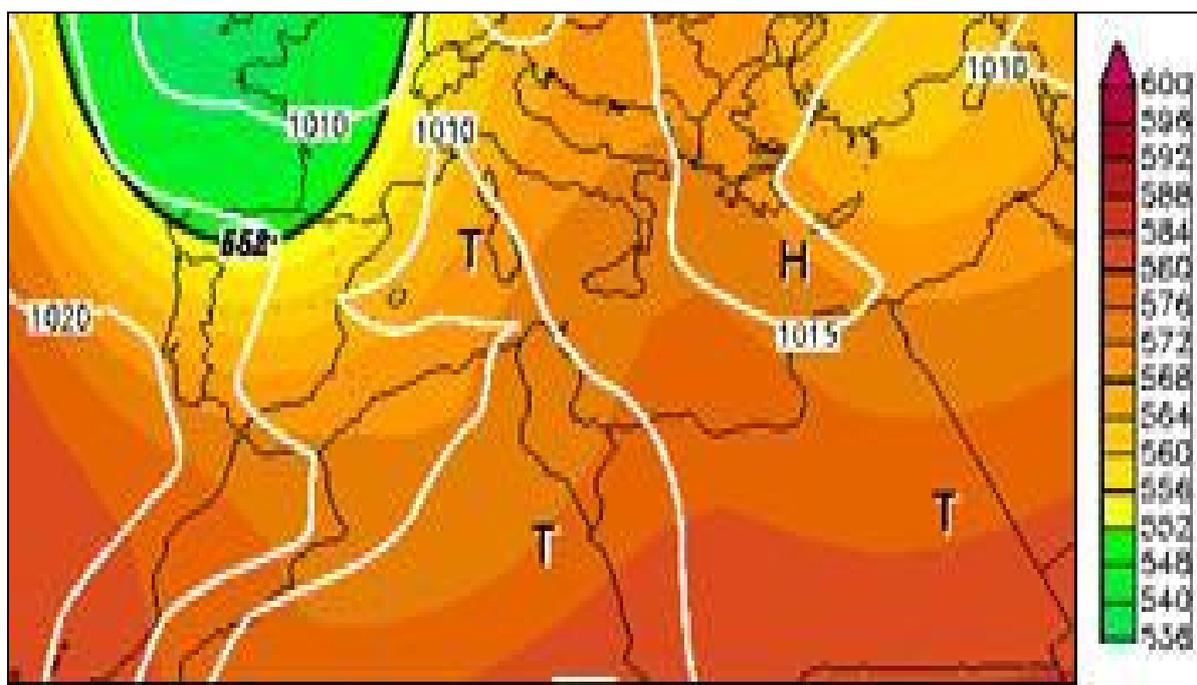


Figure 121. Situation atmosphérique en altitude du 02 mai 2002 ([www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)).

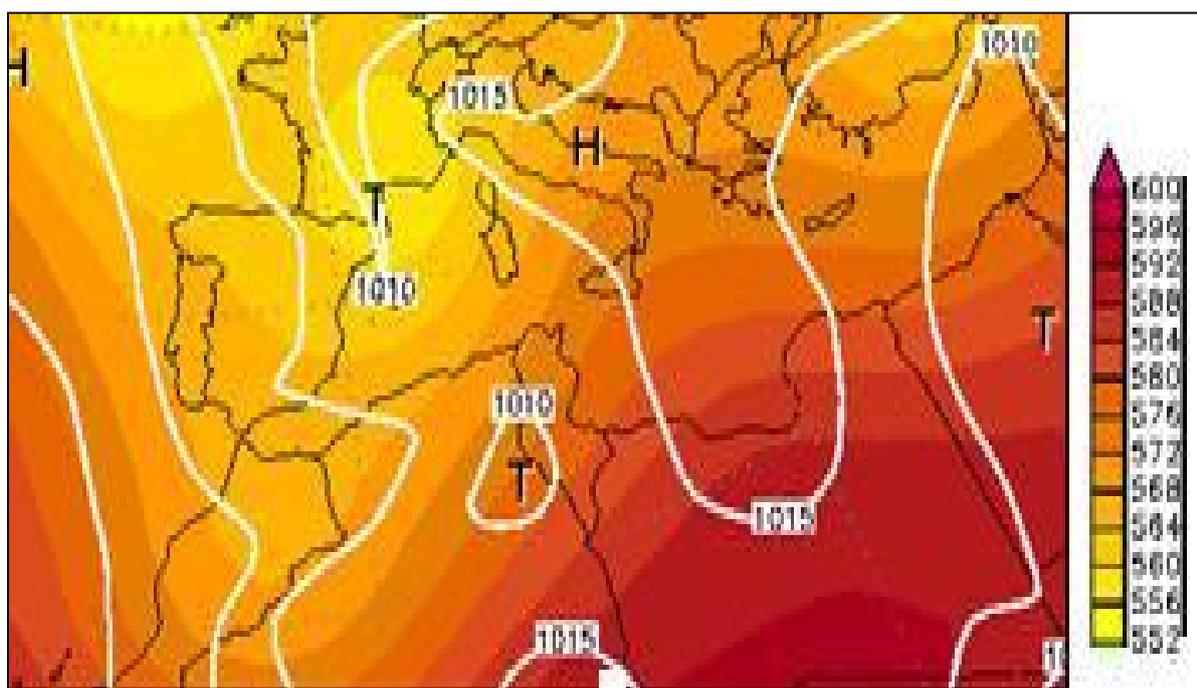


Figure 122. Situation atmosphérique en altitude le 10 mai 2002 ([www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)).

### 2.1.3. Un rôle déterminant du vent en altitude : les courants-jets

La circulation en altitude les 02 et 10 mai 2002 sont deux cas typiques de journées orageuses dans la région des Hautes Steppes. A 12 TU, une crête chaude (anticyclone) surplombe l'Atlantique nord. Sur la Tunisie, une circulation Sud-ouest est guidée par les

courants-jets<sup>61</sup> d'altitude qui sont essentiellement rejetés sur le Grand Sahara de l'Afrique du Nord. L'importance de ces courants-jets en altitude est tout à fait visible le 10 mai 2002 alors que les vents soufflent sur le Centre-ouest de la Tunisie à plus de 240 km/h (figures 123 et 124).

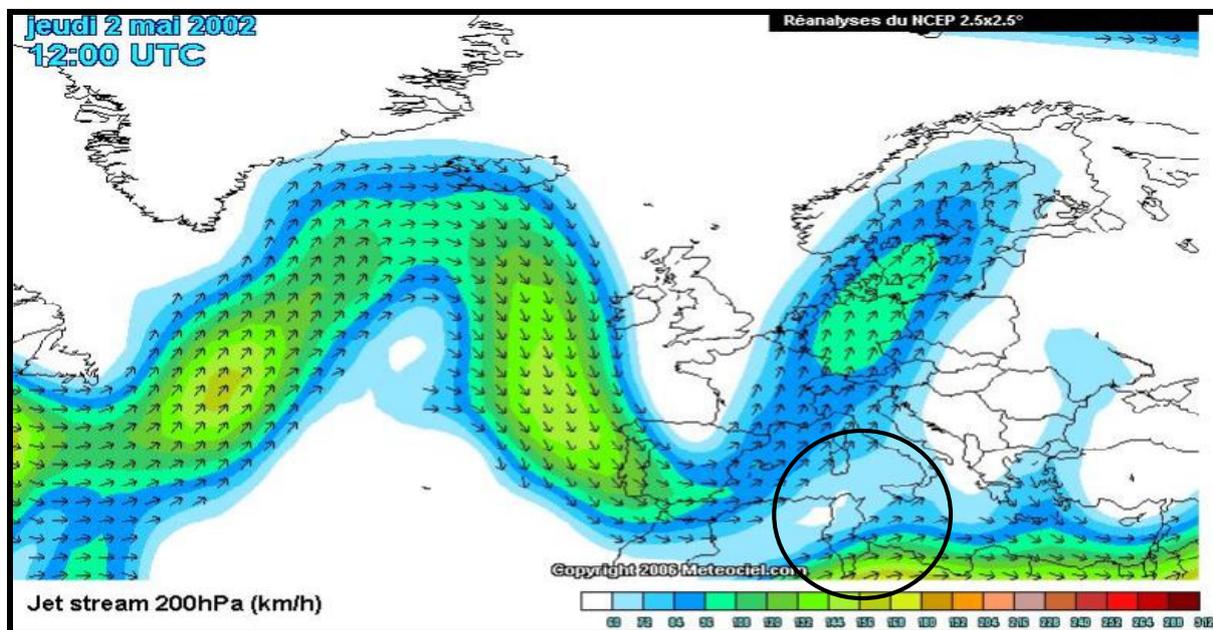


Figure 123. Déplacement des courants-jet en altitude le 02 mai 2002 à 12h00 TU ([www.météociel.fr](http://www.météociel.fr), d'après les Modèles - Archives des réanalyses du NCEP (National Centers for Environmental Prediction)).

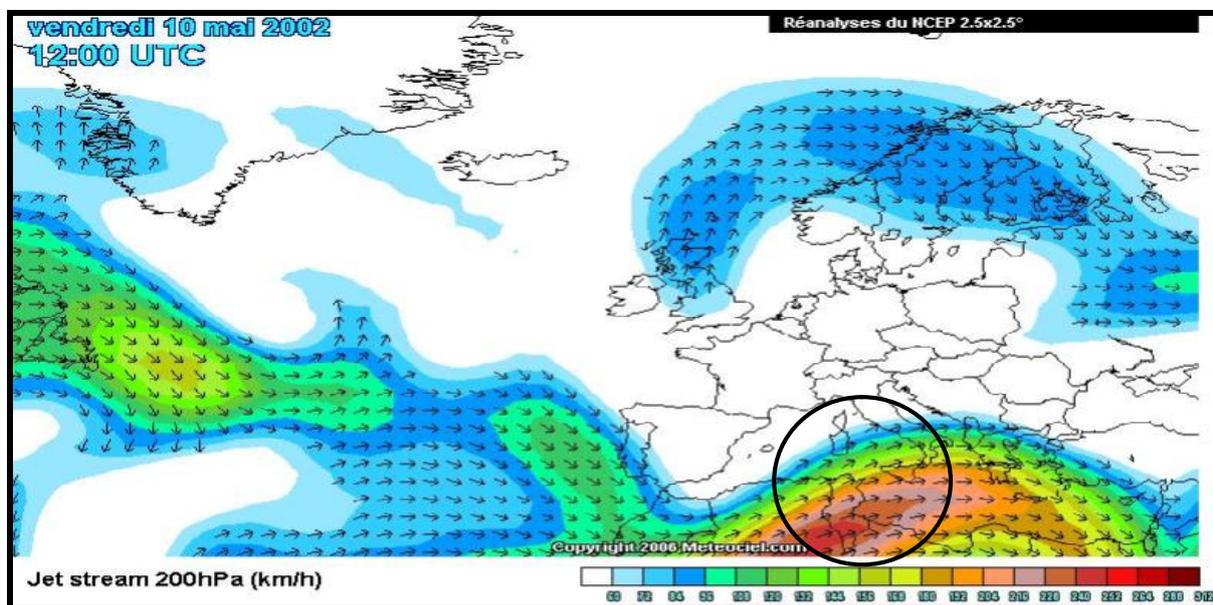


Figure 124. Déplacement des courants-jet en altitude le 10 mai 2002 à 12h00 TU ([www.météociel.fr](http://www.météociel.fr), d'après les Modèles - Archives des réanalyses du NCEP (National Centers for Environmental Prediction)).

<sup>61</sup> Les courants-jets sont des zones de vent fort (300 km/h et plus) situés à 6 000 ou 8 000 m d'altitude (200 hPa) et qui circulent d'ouest en est aux latitudes tropicales ou tempérées. Lorsque ces courants ralentissent, ils dessinent des ondes qui se dirigent vers l'équateur : les ondes de Rossby. Ces ondulations de ces courants déterminent en été de l'apparition des séquences orageuses.

#### 2.1.4. De l'air d'origine saharienne en altitude

Le déclenchement des orages tient toujours compte de l'origine des masses d'air. En altitude, les figures 125 et 126 montrent nettement l'origine saharienne de masses d'air des 02 et 10 mai 2002. L'origine saharienne de l'air en altitude est confirmée déjà par DESSENS J. et VAN DINH P. Les masses d'air ont stagné au sud du Maroc et de l'Algérie dans les jours qui ont précédé les chutes de grêle avant de se diriger vers le Nord-est dans un flux de plus en plus rapide. A 00h00 TU, la masse d'air a balayé le sud ouest du territoire tunisien à une vitesse supérieure à 240 km/h. Pendant les heures qui suivent, la thermoconvection a renforcé l'instabilité de la masse d'air. Cette remontée de particules d'air pendant les heures précédant l'orage se retrouve presque dans toutes les situations à grêle<sup>62</sup> et dans les mêmes proportions (montée régulière de 150 à 200 hPa en une quinzaine à une vingtaine d'heures).

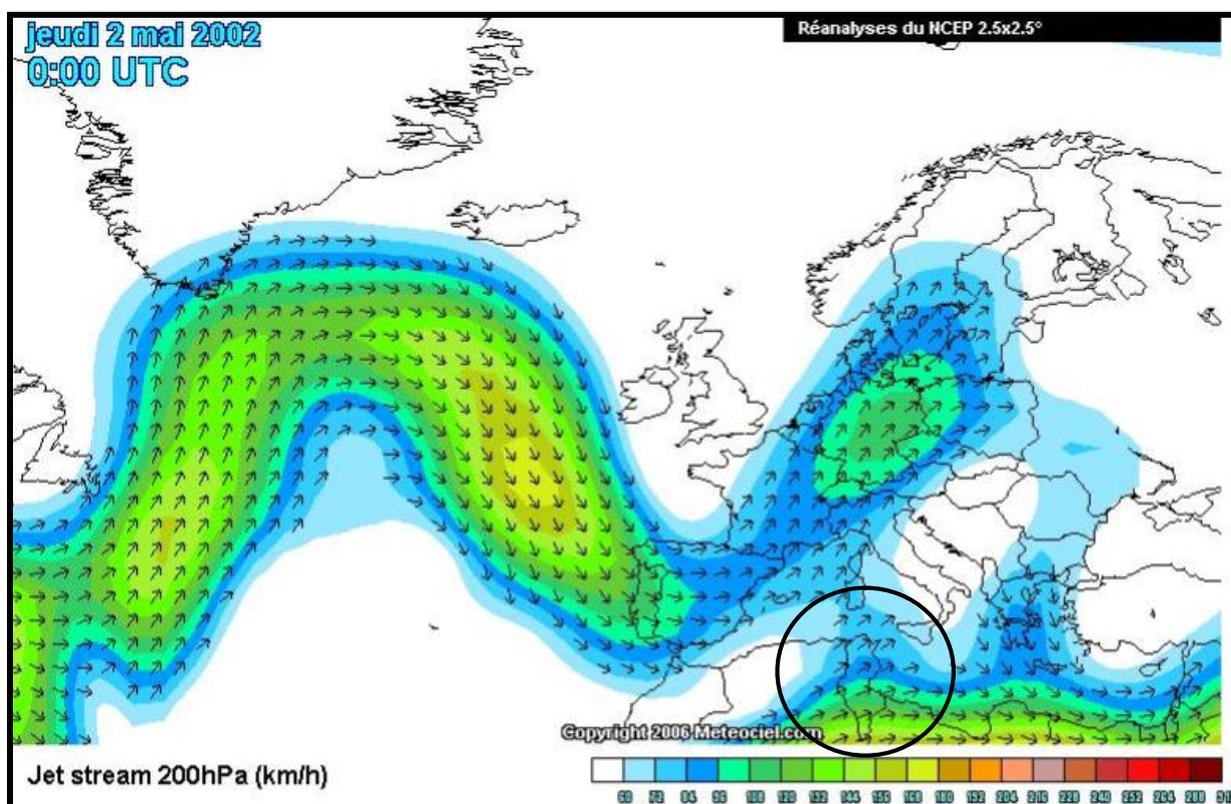


Figure 125. Masse d'air l'air d'origine saharienne conditionnée par le déplacement des courants-jet en altitude le 02 mai 2002 à 00h00TU (www.météociel.fr, d'après les Modèles - Archives des réanalyses du NCEP (National Centers for Environmental Prediction)).

<sup>62</sup> Les situations des 30 cas de chutes de grêle retenus dans le tableau n° 15 du chapitre 3.

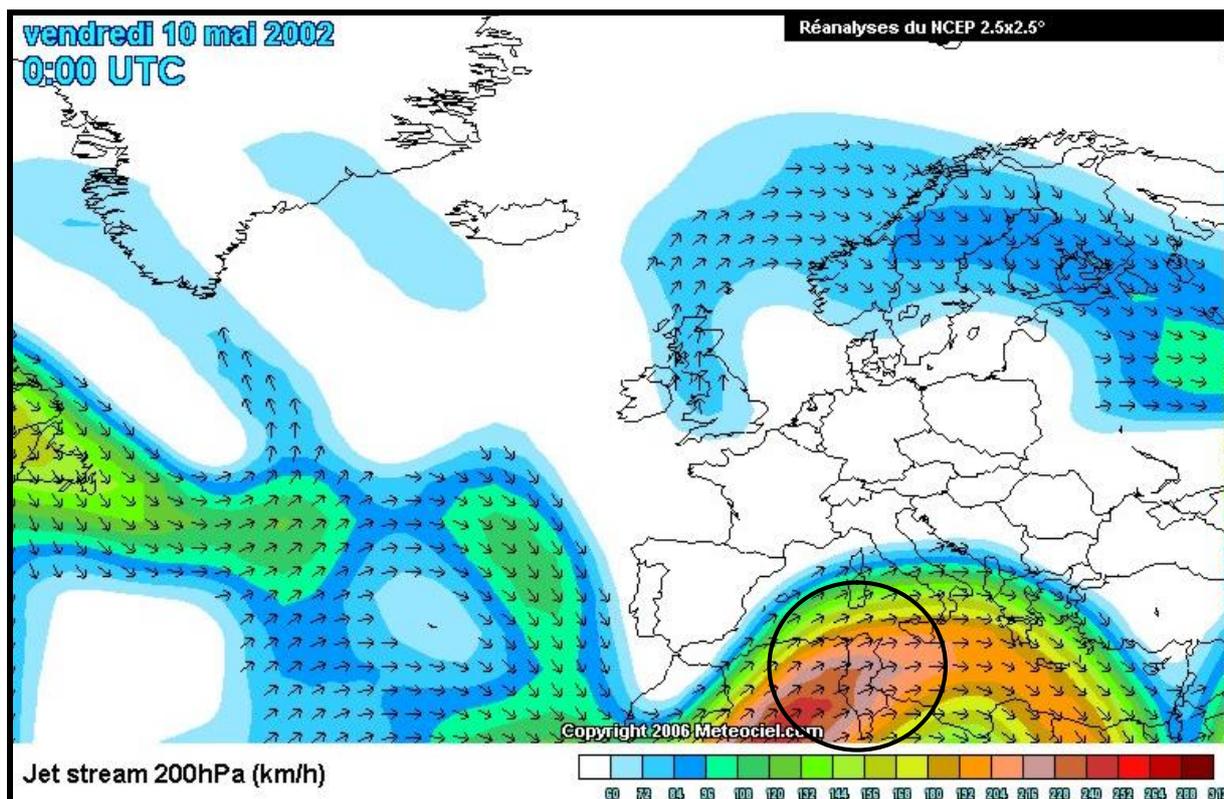


Figure 126. Masse d'air d'origine saharienne conditionnée par le déplacement des courants-jet en altitude le 10 mai 2002 à 00h00 TU ([www.meteociel.fr](http://www.meteociel.fr), d'après les Modèles - Archives des réanalyses du NCEP (National Centers for Environmental Prediction)).

## 2.2. Un contexte socio-économique vulnérable

### 2.2.1. les assurances

Jusqu'aux dernières années, l'assurance-grêle demeurait peu connue des agriculteurs manifestant toujours peu d'engouement vers les systèmes d'assurances agricoles en général. En effet, entre 1996 et 1999 la CTAMA n'a étudié que 2 041 dossiers de souscription à l'assurance-grêle (figure 127). De plus, durant ces quatre ans le nombre de dossiers est en baisse de 711 dossiers en 1996 à 400 dossiers seulement en 1999. De même la légère hausse de 64 dossiers entre 1998 et 1999 s'explique par une année 1998 spécialement grêlifère. L'agriculteur ne pense sérieusement à l'assurance-grêle que lorsqu'il subit et constate les dégâts sur ses récoltes.

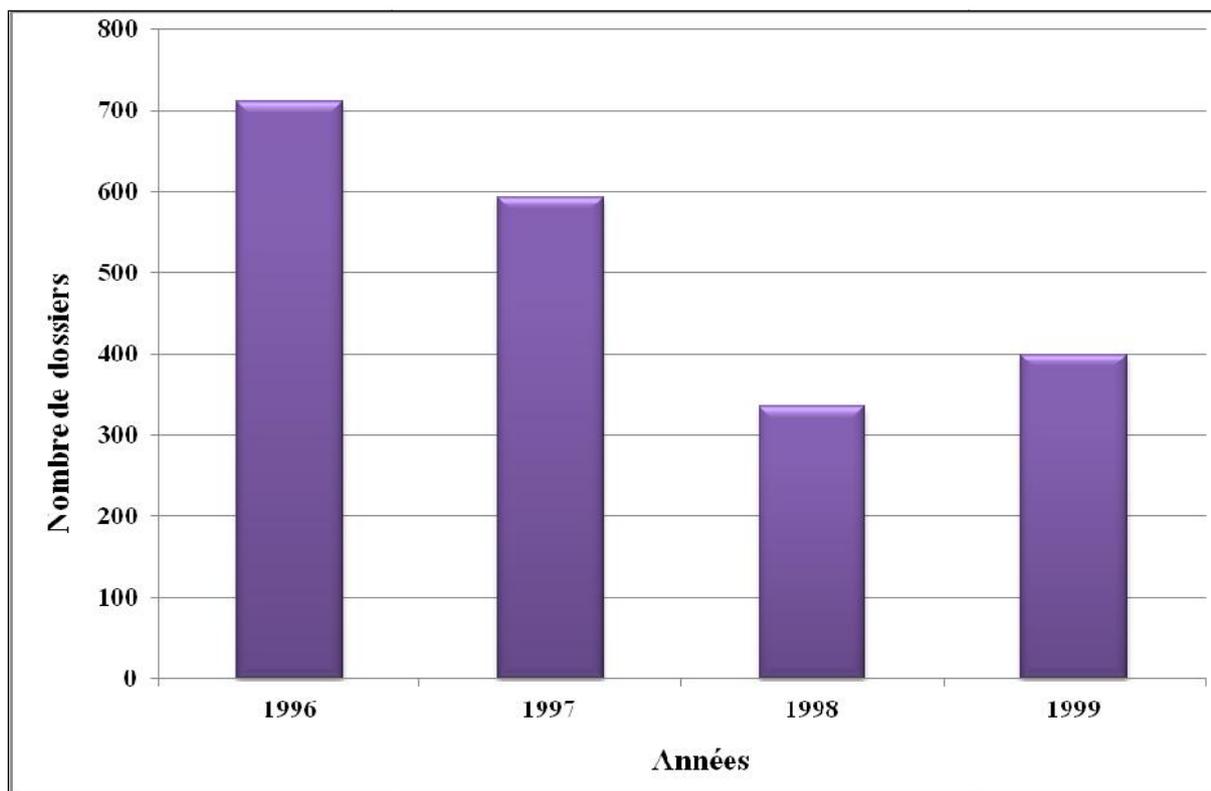


Figure 127. Nombre de dossiers de souscription à l'assurance-grêle traité par la CTAMA entre 1996 et 1999 (source des données : La CTAMA).

### 2.2.2. Le développement de l'arboriculture commerciale

#### 2.2.2.1. Evolution du secteur de pommiers en Tunisie et spécialisation régionale

Les superficies destinées à la culture des pommiers est passé de 6 000 hectares en 1980 à plus de 25 400 hectares en 2005, dont 70% dans le secteur irrigué. On trouve des pommiers en production sur plus de 15 400 hectares, et de jeunes pommiers sur 10 000 hectares restant.

La production de pommes a connu un grand essor au cours des dernières décennies. Pour la campagne agricole 1955/1956 la production de pommes ne dépassait pas les 4 500 tonnes. Celle-ci a été multipliée par 22 lors de la campagne 2004/2005 avec une production de 100 000 tonnes (figure 128).

Dans la région de Kasserine, les conditions naturelles (climat et pédologie adéquats, nappes phréatiques et superficielles à salinité réduite, barrages et lacs collinaires...) sont très favorables à la production des pommes. Durant la campagne agricole de 2005/2006, ces pommeraies couvraient 5 730 hectares, soit le premier verger national en termes de surfaces plantées.

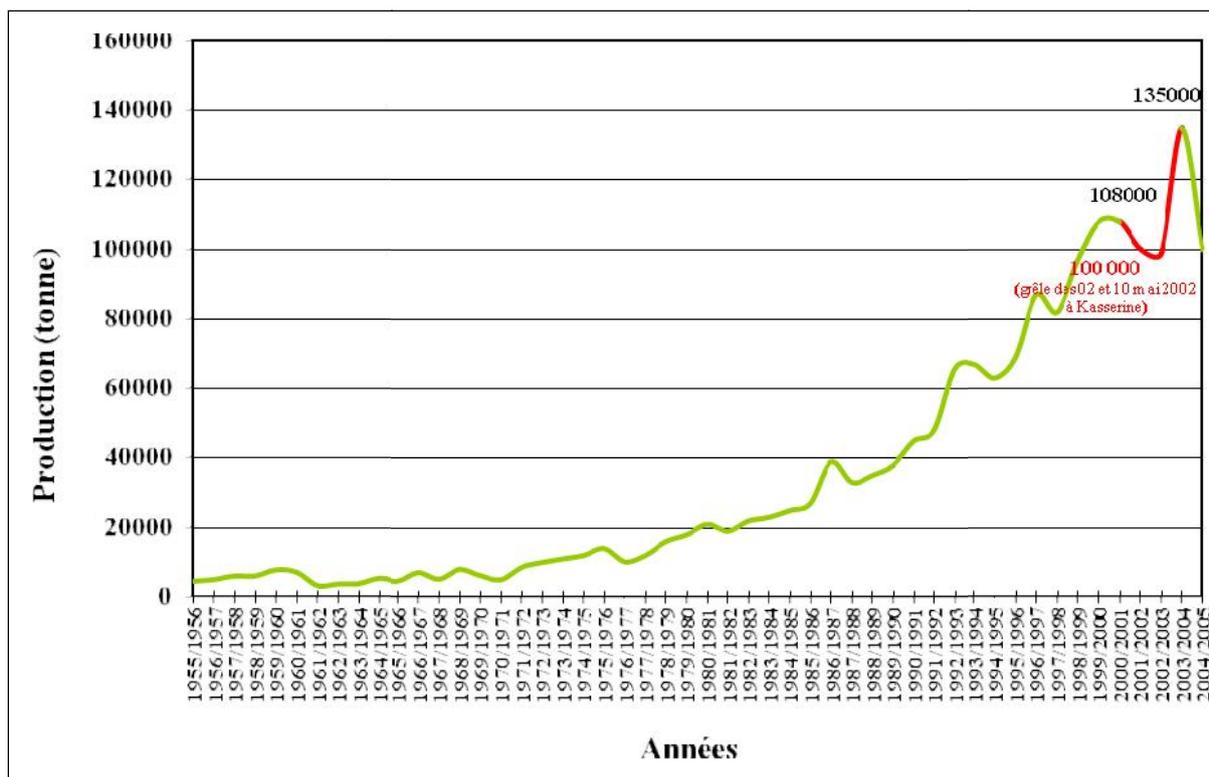


Figure 128. Evolution de la production de pommes en Tunisie entre 1956 et 2005 (source des données : Ministère de l'Agriculture / DNPV).

La région produit des pommes d'été (*primeurs*) et des pommes d'automne. Les primeurs occupent une superficie de 303 hectares en 2010 dont *Lorca Anna* constitue la principale variété. La production moyenne de ces pommiers d'été par pied est de 49 kilogrammes. Quant à la superficie consacrée aux pommes d'automne, elle est la plus importante puisqu'elle couvre 5 427 hectares dont près de la moitié en *Golden Delicious*. La rentabilité moyenne par pied est de 27 kilogrammes.

Avec sa superficie de 2 650 hectares soit 40% des pommeraies du pays, la délégation de Sbiba est la première région productrice de pommes tant à l'échelle du gouvernorat qu'à l'échelle nationale. Elle détient 52% de la production du gouvernorat de Kasserine et produit annuellement environ 38 000 tonnes.

L'agrandissement des pommeraies, les efforts d'augmentation de la production, les meilleurs rendements des pommes, les exigences de qualité liées à la nouvelle vocation marchande, se sont accompagnés d'une spécialisation des exploitations dans une seule production. On parle alors d'une partition territoriale des productions : les Hautes Steppes s'adonnent définitivement aux cultures fruitières et la région de Sbiba se spécialise dans la culture des pommes.

Le danger de la spécialisation des exploitations réside dans le fait qu'en cas de chutes de grêle, la concentration des dégâts dans certaines régions affectera tout spécialement un certain type de culture. Rappelons qu'à A Sbiba, la grêle tombée le 10 mai 2002 a touché une superficie de 3 070 hectares, dont 2 190 hectares de pommiers soit plus de 82% des superficies des pommeraies dans cette délégation (total : 2650 hectares) dont 2 000 hectares étaient entièrement sinistrés.

#### 2.2.2.2. Intégration économique et professionnelle de la culture des pommes

La spécialisation régionale est intimement liée à l'intégration des agriculteurs dans des circuits contrôlés en amont et en aval par le commerce et l'industrie. La pression des circuits de distribution, la présence de techniciens et de prestataires de service favorisent une dominante agricole dans certaines régions de production. Il est sans nul doute très difficile pour un producteur laitier de s'installer dans les Hautes Steppes où le contexte économique dissuade une telle activité, en plus des conditions naturelles. Les groupements de producteurs et les complexes agricoles (comme celui de l'Oued Darb de Kasserine) renforcent la spécialisation régionale.

L'augmentation des rendements a été obtenue par des espèces hybrides plus performantes mais plus fragiles. Les variétés d'été (*Zina, Aziza, Chahala et Lorca Anna*) produisent en moyenne près de 50 kilogrammes de pommes par pied. En effet, 70% de la production nationale en 2006 était par exemple issue de la seule région de Kasserine et spécialement de la délégation de Sbiba. Ces espèces sont exfoliées de façon à permettre aux fruits une meilleure exposition au soleil, cependant l'exposition à la grêle est aussi facilitée à partir du moment où le feuillage ne joue plus son rôle protecteur.

#### 2.2.3. Des difficultés de gestion des petits exploitants

Pendant la campagne agricole de 2005/2006, le secteur de l'arboriculture dans le gouvernorat de Kasserine comprend 9 130 exploitants. La majorité d'entre eux sont des petits agriculteurs qui n'ont de ressources que celles provenant des exploitations de leurs plantations fruitières. Ils peuvent bénéficier chaque année des crédits accordés par les banques agricoles pour démarrer la saison, à hauteur de 10 et 15% de la valeur des récoltes.

Les dégâts des chutes de grêle des 02 et 10 mai 2002 ont mis 1 730 agriculteurs face à de nouveaux crédits saisonniers exceptionnels, dont 1 660 étaient très urgents. Malgré les différentes propositions politiques pour échelonner au mieux le cumul de ces dettes, les agriculteurs se sont trouvés dans des situations très délicates surtout lorsqu'on considère que la grêle tombée en mai a attaqué les cultures en début de maturation. Ceci a encore aggravé la situation des agriculteurs désormais redevables de lourdes dettes.

#### *2.2.4. intervention modeste de l'Etat et des pouvoirs publics*

Le rôle de l'Etat est resté très modeste jusqu'à 2002, hormis, certes, la campagne de sensibilisation des producteurs (de pommes en particulier) à la nécessité de souscrire une assurance-grêle et d'acquérir les équipements protégeant leur production. Cette réaction ne s'observe qu'après des chutes de grêles dévastatrice sur les cultures.

Après dommages causés par les orages de grêles des 02 et 10 mai 2002, notamment les pommiers de Sbiba, les agriculteurs durent attendre jusqu'au 10 mars 2003 pour que l'Etat lance un grand projet d'installation de filets préventifs par son décret n°2003-518.

### **Conclusion**

On doit reconnaître le caractère exceptionnel des dégâts des 02 et 10 mai 2002 dans la région des Hautes Steppes dans le Centre-ouest. Cette crise n'a nullement provoquée d'autogestion responsable de la part de l'exploitant. Le système d'assurance inadapté aux besoins des agriculteurs n'a pas réagi comme on aurait pu s'y attendre. La spécialisation agricole a provoqué, aussi, une forte concentration des dommages. L'Etat et les pouvoirs publics sont intervenus de façon modeste et tardive alors que les effets récurrents de la grêle soient connus dans la région de Kasserine/ alors que la grêle est un phénomène courant dans la région de Kasserine. Cette crise est pour une grande part due à une mauvaise compréhension du phénomène de la grêle dans la région la plus exposée à ce risque en Tunisie.

Toutefois cette crise a montré la vulnérabilité grandissante d'une filière de production fruitière qui n'est plus consacrée à la production de consommation familiale ou locale mais au marché national voire international. Plus la filière se développe, plus elle est sensible aux aléas de production qu'ils soient d'origine climatiques, phytosanitaires ou économiques (cours

mondiaux des fruits). Ainsi, la sécurisation de la filière fruits et sa pérennisation passent par la mise en place de dispositifs de protection contre ces aléas faute de quoi les évènements climatiques catastrophiques comme ceux de 2002 peuvent mettre en péril une filière économiques voire un bassin économique tout entier.



## **Conclusion de la deuxième partie**

### **Chaque année, les pertes de la grêle ne passent pas inaperçues pour l'agriculture tunisienne**

Chaque année, les pertes de la grêle pour l'agriculture tunisiennes sont non négligeables. Le coût de règlement des sinistres agricoles par la CTAMA, la première compagnie en matière d'assurance agricole, est de 10 millions DT en moyenne chaque année. La part des sinistres-grêle est estimée vers 10%, soit 1 million DT. Les pertes dues à la grêle, si elles se révèlent minimales à l'échelle nationale, peuvent régionalement ou localement affecter sérieusement l'économie agricole. Sur les cultures fruitières, certaines régions (les hautes steppes tunisiennes en 2002) peuvent voir leurs revenus directs amputés à des taux très élevés.

### ***La géographie des dommages valide celle des chutes de grêle***

La géographie des dommages de la grêle concorde globalement avec la régionalisation établie par la géographie des chutes de grêle. L'opposition entre les régions élevées de l'intérieur du pays et celles des côtes est nette. A l'intérieur du pays, la grêle d'été est un phénomène quasiment annuel notamment dans la région des hautes steppes et le Haut Tell, et les averses sont le plus souvent très intenses. En revanche, le long des régions côtières, la grêle ne semble pas un risque majeur pour l'agriculture sauf la région du Cap Bon aux extrêmes nord-est, où ces précipitations menacent toujours les champs de vignobles en été et d'agrumes en hiver.

### ***La concentration spatiale des enjeux***

A l'échelle nationale, la grêle est un risque cumulatif mais il semble bien un risque événementiel à l'échelle de l'exploitation voire même à l'échelle de la région. Les hautes steppes du Centre-ouest, est la région la plus sujette aux chutes de grêle d'été très intenses. La grêle devient plus frappante avec une spécialité fruitière unique (les pommiers de Sbiba par exemple). Cette situation amène sans doute à une forte concentration des enjeux qui se cumulent avec le temps pour prendre des dimensions économiques nationales.

### ***Concentration des enjeux et gestion du risque-grêle***

La concentration des enjeux rend la gestion du risque-grêle de plus en plus difficile et gêne toujours les assureurs qui essayent sans cesse d'échapper des régions et des cultures à risque-grêle et surtout à forts enjeux financiers (figure 129). Leurs stratégies tendent toujours à répartir, à disperser et à mutualiser ce risque. La crise des chutes de grêle des 02 et 10 mai 2002 des pommeraies de la région de Kasserine a bien montré les limites du système de l'assurance-grêle. Ceci s'explique par le fait que jusqu'à présent on se borne à quelques mesures localisées contre le risque grêle sans envisager un plan de gestion à l'échelle nationale.

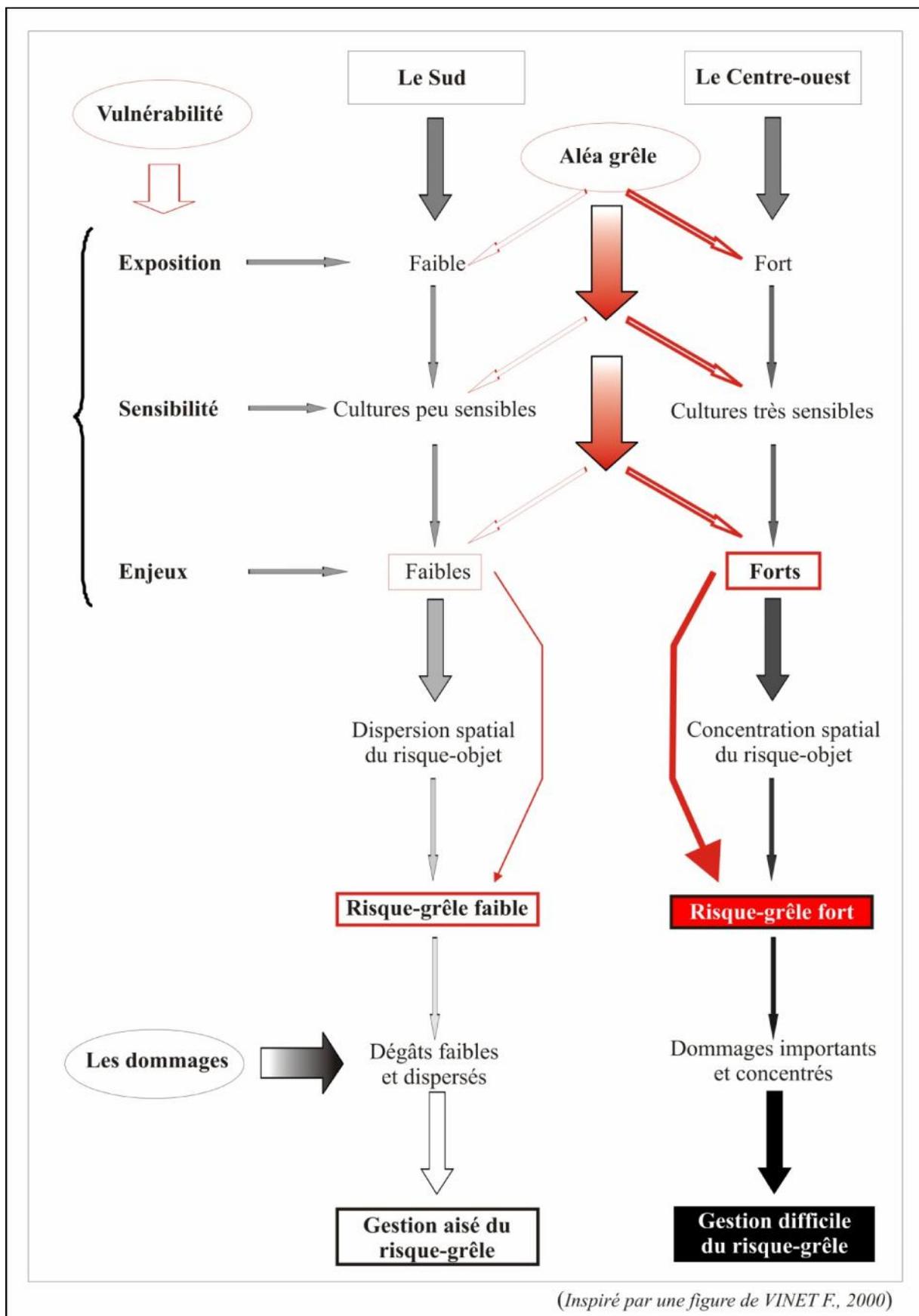


Figure 129. Concentration et dispersion du risque-grêle : comparaison entre la région du sud et la région du centre-ouest.



**TROISIEME PARTIE : LA GESTION DU RISQUE-GRÊLE  
EN TUNISIE**



## **Introduction de la troisième partie**

Les résultats obtenus des deux parties précédentes ont bien montré que les dégâts de grêle se concentrent dans certaines régions que dans d'autres et que la répartition des dommages est calquée aussi sur certaines cultures que sur d'autres.

### *Comment gérer cette concentration des cultures fragiles ?*

Les cultures fruitières ont fini par représenter l'enjeu principal de la gestion du risque-grêle. Pour trouver des explications, il faut rechercher dans l'histoire de la gestion du risque. En Tunisie, le risque-grêle révèle généralement trois types d'interventions pour sa gestion : un premier type est à la charge de l'assurance qui compense les dommages, *a posteriori*. Puis un deuxième type couvre les moyens de protection passifs, comme les filets paragrêle. Il est à noter que ces deux types de gestion-grêle s'exercent souvent sur l'échelle des exploitations agricoles et reflètent de types d'interactions : une entre l'agriculteur et l'assureur et l'autre entre l'agriculteur et son agriculture.

Le dernier type d'intervention dépasse l'exploitation et s'exerce sur un niveau national (l'Etat et les pouvoirs publics) : L'enjeu est donc micro-économique où l'assureur et l'agriculteur ne peuvent faire face au risque seuls sans une intervention.

L'évolution de l'agriculture et ses enjeux nécessitent pratiquement l'association des différents intérêts des acteurs du système de gestion-grêle. Or la réalité révèle parfois des dysfonctionnements internes du système qui peuvent amplifier le risque au lieu de le réduire.



## Chapitre 7. Les acteurs et les méthodes de gestion du risque-grêle actuels en Tunisie

### Introduction

Peut-on gérer un phénomène très réputé aussi aléatoire que la grêle ? Peut-on lutter contre un phénomène agricole jusqu'alors imprévisible ? Bien qu'une grande partie des agriculteurs tunisiens croient que la grêle et ses effets ne sont qu'un choix de « Dieu » et l'acceptent tel quel, on constate que les tentatives pour se protéger de ce risque se sont multipliées au cours des dernières décennies. On utilise alors des méthodes antigrêle qui agissent directement contre la grêle (actives) ou bien d'autres méthodes indirectes qui visent à faire indemniser les agriculteurs des pertes subies par l'intermédiaire d'une assurance.

### 1. Les méthodes antigrêle actives

En Tunisie, la lutte active contre la grêle n'a pas encore fait preuve de son efficacité et surtout de sa fiabilité. A moyen ou long terme, elle contribuera peut-être à réduire la fréquence et l'intensité destructrice des grêles. Le risque-grêle s'envisagera alors sous un jour nouveau. A court terme, c'est une solution qui ne peut être retenue, mais il est indispensable de présenter les efforts actuels existants des acteurs intéressés. D'une manière générale, la lutte active contre la grêle reflète une réaction directe (sur le terrain) contre ce phénomène, avant ou après sa manifestation.

#### 1.1. L'autogestion

L'autogestion du risque-grêle ne fait appel à aucune prestation extérieure et se limite, *a priori*, à une tentative empirique d'atténuation du risque. Elle implique une certaine conscience du risque-grêle.

En Tunisie, la quasi-totalité des agriculteurs n'a pas cette conscience et n'a recours à aucun mode de gestion particulier. Cette attitude passive des agriculteurs est due soit à la pratique de certaines cultures généralement peu sensibles au risque-grêle, soit à la quasi-absence de la grêle dans certaines régions. Rappelons, aussi, que la majorité des agriculteurs

des régions les plus exposées au risque-grêle, croient que l'effet de la grêle n'est qu'un choix du "Dieu" et il faut l'accepter tel qu'il est.

D'une manière générale, et même si cette autogestion existe, elle reste souvent une gestion minimale ne dépassant pas l'échelle de l'exploitation. Le plus souvent, et pour pallier les variations interannuelles de cours des fruits, certains arboriculteurs diversifient leur verger : la répartition du risque-objet peut atténuer les effets du risque-agent, l'une des stratégies est appelée "contre-aléatoires". La culture de plusieurs espèces sur la même exploitation limite la concentration des dommages dans un seul produit. Il est évident qu'en cas de grêle, une exploitation ne comprenant que des pommiers sera plus vulnérable qu'une autre qui combinant, outre les pommiers, d'autres espèces arboricoles moins exposées comme les néfliers, les cerisiers, les amandiers et les abricotiers.

Par ailleurs, la diversification, reste difficile à atteindre et la polyculture recule au profit d'une spécialisation des exploitations agricoles. Au cours des dernières années, les différents systèmes de spécialisation agricole causent, en cas de grêle, une forte concentration des dommages sur un même produit agricole comme l'a illustré plus haut le cas de la crise des chutes de grêle des 02 et 10 mai 2002 à Sbiba et Kasserine.

### ***1.2. Compensation des dommages***

*« L'assuré est tenu, après la grêle et jusqu'à l'expertise définitive, de donner aux récoltes sinistrées les soins habituels de culture et de veiller à leur conservation. L'assuré s'engage à attendre la venue des experts de la société avant d'enlever les récoltes sinistrées. Il est expressément convenu que les parcelles ou fractions de parcelles dont la récolte aura été faite avant l'expertise sans autorisation préalable de la société, ne donneront pas lieu à l'indemnité »* (livret de l'assurance contre la grêle de la STAR). Il est clair que la compensation des dommages se fait *a posteriori*, c'est-à-dire après un sinistre. La gestion du risque se fait par des pratiques visant à minimiser les conséquences de la grêle (traitement des cultures et engraissement des terres) pour la récolte à venir.

Les pratiques de la réparation des dommages, offre des compensations avant tout financières. Si ces pratiques ont été entreprises sur des produits sains avant la chute de grêle, ainsi, dans le cas où le produit serait endommagé il est alors plus facilement quantifiable lors de l'expertise finale et la culture toute entière peut bénéficier de l'assurance.

En revanche, dans les exploitations moins soignées et moins traitées avant la chute de la grêle, les cultures seront plus vulnérables et, le produit endommagé par la grêle classé non identifiable, les pratiques de compensation seront difficiles à actionner. Cela rend plus difficile l'évaluation des pertes favorable à l'agriculteur, d'autant que dégâts occasionnés par d'autres facteurs sont exclues de l'expertise. Cependant, il est nécessaire de souligner que bien souvent ce sont les difficultés financières des agriculteurs qui les dissuadent de traiter les cultures voire même de s'assurer contre la grêle.

Outre l'assurance, des compensations financières sous forme de prêts ou d'aides exceptionnelles de la part de l'Etat par l'intermédiaire de banques agricoles, peuvent aider les agriculteurs à surmonter leurs difficultés, en particulier si la grêle a dévasté leurs récoltes. Mais, ces petits exploitants peuvent-ils gérer le règlement de toutes leurs dettes, surtout lorsqu'ils ont l'habitude de prendre, chaque année, des crédits pour démarrer la saison agricole ?

A l'échelle de l'année et après les sinistres-grêle, les compensations par le traitement des cultures endommagées et l'engraisement des terres garantissent des récoltes pour l'année à venir. Peut-on cependant en dire autant du produit endommagé ? Il ne peut en aucun cas être compensé surtout s'il s'agit d'un sinistre couvert (produit totalement endommagé par la grêle). Et même si ce produit a été assuré, il sera indemnisé mais les exigences des assureurs seront sévères. Puis lors de la phase de post-production (c'est à dire la transformation des produits de moindre qualité), la situation sera extrêmement délicate étant donné le manque d'investisseurs dans ce secteur en Tunisie.

### ***1.3. Protection par les filets paragrêle***

Les filets paragrêle assurent une protection durable des récoltes contre le fléau de la grêle que celle-ci se manifeste ou non. Cette protection permet d'éviter que les grêlons atteignent les feuillages et les fruits. Les filets préservent donc le produit des grêlons et se différencient ainsi de l'assurance qui n'est qu'une indemnisation financière du produit détruit.

### 1.3.1. Les filets antigrêle en Tunisie

Malgré leur intérêt et leur rôle protecteur sur les récoltes, la présence des filets paragrêle en Tunisie semble très modeste. Les superficies concernées par ces filets ne dépassent pas 46 hectares pendant la campagne agricole de 2005/2006 et 97 hectares pendant la campagne agricole suivante<sup>63</sup>. Ce sont les pommiers qui bénéficient le plus souvent de la couverture en filets anti-grêle, particulièrement ceux de la délégation de Sbiba du gouvernorat de Kasserine au Centre-ouest tunisien (photos 84-84 bis et 85-85 bis).



**Photos 84 et 84 bis (à droite). Jeunes poudes de pommiers protégées par les filets paragrêle à Ain Khmaissia dans la délégation de Sbiba (cliché : AL ATRACH M.M.).**



**Photo 85 et 85 bis (à droite). Pommiers en pleine production protégées par les filets paragrêle à Sbiba ville (cliché : AL ATRACH M.M.).**

### 1.3.2. L'agriculteur tunisien confronté au coût des filets paragrêle

Quant aux méthodes antigrêle actives, les filets paragrêle demeurent jusqu'à présent l'unique moyen à assurer une protection très fiable des récoltes contre les chutes de grêle. Par ailleurs, cette solution n'est pas à la disposition de tous les agriculteurs. L'installation de ces filets est très coûteuse surtout pour les petits exploitants à moindre revenus qui représentent la majorité des agriculteurs en Tunisie. La couverture d'un hectare de terre agricole par les filets

<sup>63</sup> D'après les statistiques de la direction générale de la Production Végétale/Ministère de l'Agriculture.

paragrêle coûte 18 000 DT (tableau 27). Or les moyennes annuelles des revenus agricoles de la plupart des agriculteurs se trouvent le plus souvent loin de ce chiffre. En outre l'endettement de ces agriculteurs les empêche d'accéder à ce type de protection.

Composants	Quantité	Prix unitaire	Coût total (Dinars/hectare)
Filets	12000 m <sup>2</sup>	0.580	7000
<b>Total 1</b>	-	-	<b>7000</b>
Poteaux d'angles	4	28.8	115
Poteaux de rive	34	25.7	874
Poteaux intermédiaires	120	25.7	3087
<b>Plots anti-enfoncement :</b>			
Extérieurs	4	4.278	17.148
Intérieurs	52	0.98	50.96
Trous	52	5.51	286
<b>Total 2</b>	-	-	<b>4500</b>
Fils et câbles	1438 kg (19, 25, 10, 8 et 6)	2450	3000
<b>Total 3</b>	-	-	<b>3000</b>
Installation	-	-	3500
<b>Total 4</b>	-	-	<b>3500</b>
<b>Total général</b>	-	-	<b>18000</b>

Tableau 27. Coût approximatif d'installation des filets paragrêle (source : Ministère de l'Agriculture / DGPV).

## 2. Les méthodes antigrêle passives : l'assurance -grêle

### 2.1. Indemnisation des pertes : Règle Proportionnelle des Capitaux

Après l'estimation des dommages et la quantification des pertes, l'expert passe au règlement de l'indemnité. L'indemnisation des pertes causées par la grêle se fait selon trois conditions :

- en cas de sinistre total, l'indemnité ne dépassera pas un maximum de 85% de sa valeur. Le reste sera toujours à la charge de l'agriculteur, sauf convention contraire insérée au contrat et moyennant paiement d'une surprime spéciale.

- si le rendement réel est inférieur au rendement assuré, l'indemnité est réglée d'après le rendement réel.

- s'il résulte des estimations que le rendement sans dommage de grêle (rendement réel) d'une parcelle sinistrée aurait été supérieur au rendement assuré, l'assuré est considéré comme son propre assureur pour l'excédent et l'indemnité ne sera réglée que dans le rapport :

$$\frac{\text{Rendement Assuré}}{\text{Rendement Réel}}$$

Ce cas d'indemnisation des pertes est connu souvent par « **Règle Proportionnelle de Capitaux** ». C'est : « le principe en vertu duquel, s'il résulte de l'estimation des experts que le rendement sans dommages de grêle (rendement réel) des parcelles assurées excède, au jour du sinistre, le rendement garanti (rendement assuré), vous seriez considéré comme restant propre assureur pour l'excédent et supportez une part proportionnelle du dommage » (figure 130).

## 2.2. Taux de couverture des cultures par l'assurance-grêle

L'assurance agricole en Tunisie et en particulier celle contre la grêle, demeurent jusqu'aux dernières années en deçà des niveaux souhaités. Excepté les cultures des vignes (13,2%), les taux de couverture par l'assurance ne dépassent pas, en général, les 5% (tableau 28).

Concernant les grandes cultures, l'assurance ne couvre que 76 928 hectares, soit à peine 4,8% de la superficie totale emblavée. Cependant, le 18 mai 2008, un orage de grêle très violent est passé sur la délégation de Sers du gouvernorat du Kef (le premier du pays en surfaces céréalières) au Nord-ouest et a endommagé des dizaines d'hectares de blé ; les dommages étaient importants car la chute de grêle a eu lieu au mois du mai, lorsque les épis commencent leur période de maturation (photos 86-86 bis et 87-87 bis).

## NOTICE REGLE PROPORTIONNELLE DE CAPITAUX

*Cher client,*

Afin de respecter l'article 17 du *Code des Assurances*, nous attirons votre aimable attention que votre contrat comporte la règle proportionnelle de capitaux.

### QU'EST-CE QUE LA REGLE PROPORTIONNELLE DE CAPITAUX ?

C'est le principe en vertu duquel, s'il résulte de l'estimation des experts que le rendement sans dommages de grêle, tel que défini aux *Conditions Générales*, des parcelles assurées excède, au jour du sinistre, le rendement garanti, vous seriez considéré comme restant votre propre assureur pour l'excédent et supporterez une part proportionnelle du dommage. *C'est-à-dire :*

Si vous garantisiez les parcelles assurées pour un rendement inférieur au rendement réel, vous ne serez indemnisé, en cas de sinistre couvert, que dans le rapport :  $\frac{\text{Rendement assuré}}{\text{Rendement réel}}$

### EXEMPLE D'APPLICATION DE LA REGLE PROPORTIONNELLE DE CAPITAUX

Supposons une parcelle d'un rendement réel de 10.000 Drs, assurée pour une somme insuffisante de 5.000 Drs.

**A) Hypothèse du sinistre partiel**  
ayant causé des dommages estimés,  
par exemple, à 4.000 Drs

L'indemnité est calculée comme suit :

$$\text{Dommages} \times \frac{\text{Rendement Assuré}}{\text{Rendement réel}} =$$

$$\text{Soit : } 4.000 \text{ Drs} \times \frac{5.000 \text{ Drs}}{10.000 \text{ Drs}} = 2.000 \text{ Drs,}$$

d'où une perte non indemnisée de 2.000 Drs

**Le souscripteur-assuré**

**B) Hypothèse du sinistre total.**

(Les dommages s'élèvent donc à 10.000 Drs)

$$\text{Indemnité} = 10.000 \text{ Drs} \times \frac{5.000 \text{ Drs}}{10.000 \text{ Drs}} = 5.000 \text{ Drs,}$$

d'où une perte non indemnisée de 5.000 Drs

**La COMAR**

Figure 130. Indemnisation des pertes selon la Règle Proportionnelle des Capitaux (source : COMAR).

	Risques	Nombre ou superficie totale	Superficie assurée	Taux de couverture
<b>Grandes cultures</b>	Incendie et grêle	<b>1 614 000</b> hectares	76 928 hectares	<b>4,8%</b>
<b>Vignes</b>	Ravageurs et grêle	<b>13 020</b> hectares	1 713 hectares	<b>13,2%</b>
<b>Oliviers</b>	Ravageurs et grêle	<b>58 000 000</b> pieds	1 120 589 pieds	<b>1,9%</b>
<b>Arbres fruitiers</b>	Grêle	<b>50 000 000</b> pieds	506 543 pieds	<b>1%</b>
<b>Agrumes</b>	Risques divers	<b>4 290 000</b> pieds	99 677 pieds	<b>2,3%</b>
<b>Cultures maraichères</b>	Risques divers	<b>71 000</b> hectares	2 124 hectares	<b>3%</b>
<b>Bétail</b>	Risques divers	<b>686 300</b> têtes	6 050 têtes	<b>0,9%</b>

Tableau 28. Couverture des cultures par l'assurance pour la campagne de 2007 (source : CTAMA).



Photos 86 et 86 bis (à droite). Chute de grêle du 18 mai 2008 sur les champs de céréales de la délégation de Sers du gouvernorat du Kef au Nord-ouest (source : La CTAMA).



Photos 87 et 87 bis (à droite). Dégâts de grêle du 18 mai 2008 sur les épis de blé (source : La CTAMA).

L'assurance des oliviers, contre les ravageurs et la grêle, ne dépasse pas un taux de 1,9%, bien qu'il arrive que des chutes de grêle d'été provoquent de sévères pertes. Le soir du 10 mai 2000 à la délégation d'El Fahs du gouvernorat de Zaghouan au Nord-est, un orage de grêle a éclaté, causant des dégâts significatifs sur plusieurs hectares d'oliviers (photo 88).



**Photo 88. Dégâts de grêle du 10 mai 2000 sur les oliviers de la délégation d'El Fahs du gouvernorat de Zaghouan au Nord-est (source / DGPV)**

D'autres arbres fruitiers, tels que les pommiers ou les poiriers, sont des cultures vulnérables à la grêle. Chaque année, l'arboriculture souffre des effets des chutes de grêle. Cependant, l'assurance-grêle de ce type de culture atteint les taux les plus faibles avec seulement 1%.

### **2.3. L'agriculteur face à l'assurance-grêle**

Malgré l'existence des bureaux d'assurance-agricole dans toutes les régions concernées, les baisses des frais de souscription (jusqu'à 20% parfois), les facilités dans les paiements et les essais de sensibilisation des agriculteurs pour s'assurer contre la grêle, les caisses mutuelles n'accueillent en 2007<sup>64</sup> que 40 000 adhérents sur un total de 516 000 agriculteurs, soit à peine 7,75% d'entre eux. Les agriculteurs voient que les compagnies d'assurances

<sup>64</sup> D'après une enquête réalisée par la CTAMA.

encaissent les frais des souscriptions sans distribuer les indemnités nécessaires. Ces indemnités semblent toujours faire de l'agriculteur un perdant, que ce soit dans le cas d'un sinistre total (15% à la charge de l'agriculteur) ou dans le cas où le rendement réel est inférieur au rendement assuré (indemnisation, en cas de sinistre, selon le rendement réel), ou enfin dans le cas où l'indemnité est opérée par la Règle Proportionnelle de Capitaux.

Après une enquête, de 80 questionnaires, auprès des agriculteurs de la région de Kasserine sur l'assurance-grêle, on a pu les classer en quatre catégories. Les premiers souffrent toujours des coûts élevés de l'assurance. D'autres -qui représentent la majorité- croient que les effets de la grêle ne sont qu'un choix de Dieu et choisissent de l'accepter. Une troisième catégorie d'agriculteurs prétend que leurs "cultures ne sont pas exposées aux chutes de grêle", donc ils n'auraient pas besoin de l'assurance. Enfin, les derniers qui confondent entre le coût de l'assurance et le coût du crédit agricole qui représente 10 à 15% de la valeur de la récolte. On comprend bien que l'information liée à l'assurance-grêle et la gestion du risque-grêle en recourant à l'assurance ne répondent pas aux problèmes des agriculteurs, même pour les grandes cultures (céréales) qui se prêtent le plus à ce mode de gestion (figure 131).

En Tunisie, le total des superficies céréalières des huit premiers gouvernorats producteurs de ce type de culture atteint plus que 900 000 hectares pour les années 1997 et 1998<sup>65</sup>. Les terres concernées par l'assurance-grêle ne dépassent pas les 15%. Dans la région du Nord-ouest (notamment dans les gouvernorats du Kef, Siliana et Jendouba), on observe presque la même situation avec des valeurs comprises entre 9 et 14% de superficies assurées contre la grêle. Au gouvernorat du Kef, premier en matière de superficies céréalières et malgré l'augmentation de l'assurance-grêle en 1998 par rapport à 1997, les superficies assurées restent aux alentours de 12%.

Dans l'autre côté du Nord tunisien, notamment à Zaghouan et Bizerte, l'assurance-grêle semble un peu plus importante avec des pourcentages dépassant les 23%. En revanche, les superficies cultivées en céréales ont baissé entre 1997 et 1998, comme en témoigne bien l'exemple de Bizerte où de 90 725 hectares les superficies ont atteint les 60 725 hectares, soit une baisse de 30 000 hectares.

---

<sup>65</sup> Pour les superficies céréalières assurées contre la grêle, on a trouvé un seul article réalisé par la CTATMA et qui comprend que les données des deux années 1997 et 1998.

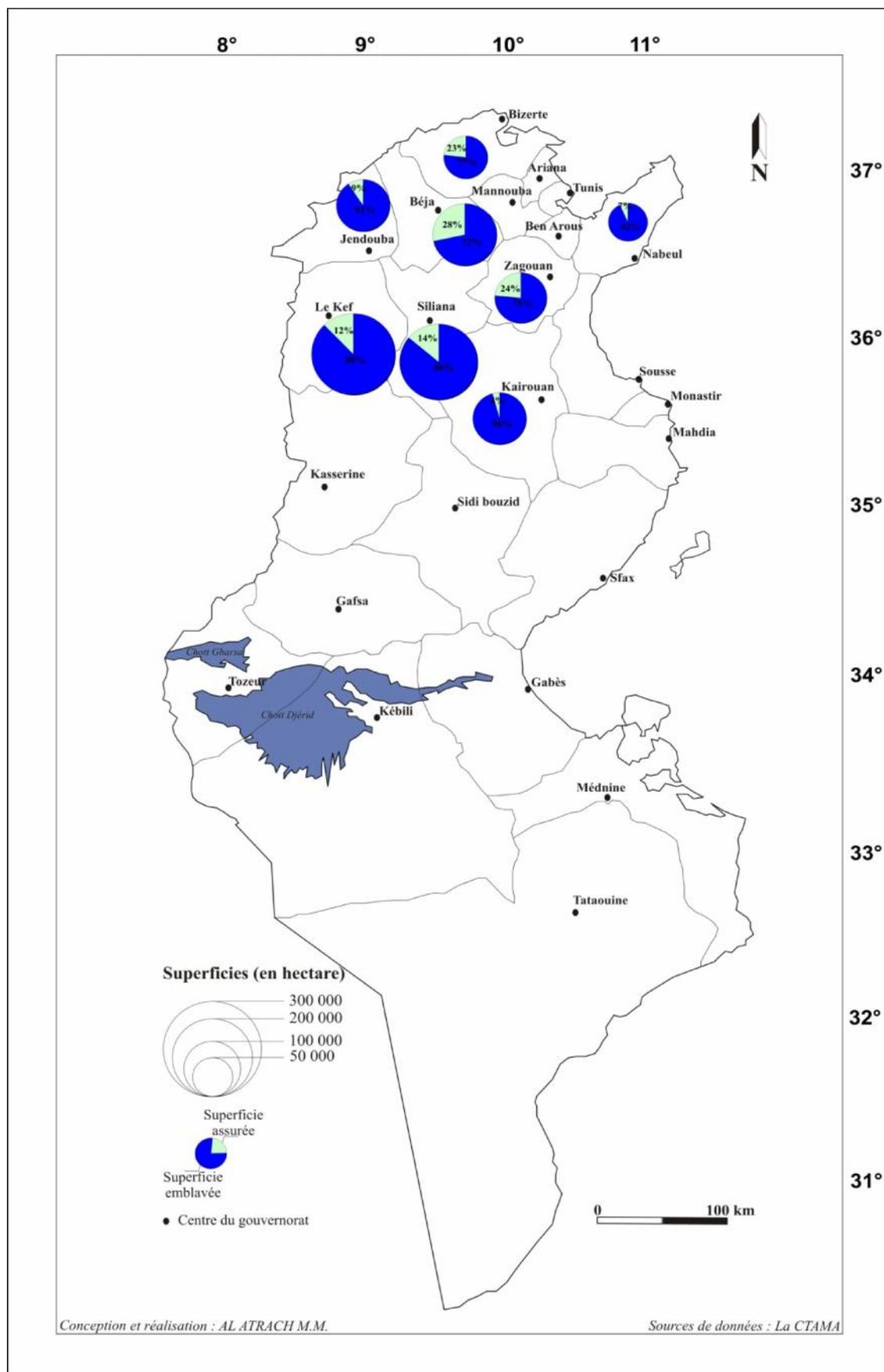


Figure 131. Superficies céréalières assurées contre la grêle pour la campagne agricole 1999-2000 en Tunisie.

Pour les gouvernorats restant, Nabeul et Kairouan, les superficies assurées contre la grêle semblent faibles avec des valeurs variant entre 2 et 6%.

La faible demande de l'assurance-grêle par l'agriculteur tunisien se reflète négativement sur la place de ce domaine dans le marché d'assurances en Tunisie (figure 132). En 2005, l'assurance-grêle se classait dans les dernières positions, après tous les autres domaines d'assurance. Sa part n'est que de 0,56% des primes collectées contre 8,30% pour l'assurance concernant les incendies.

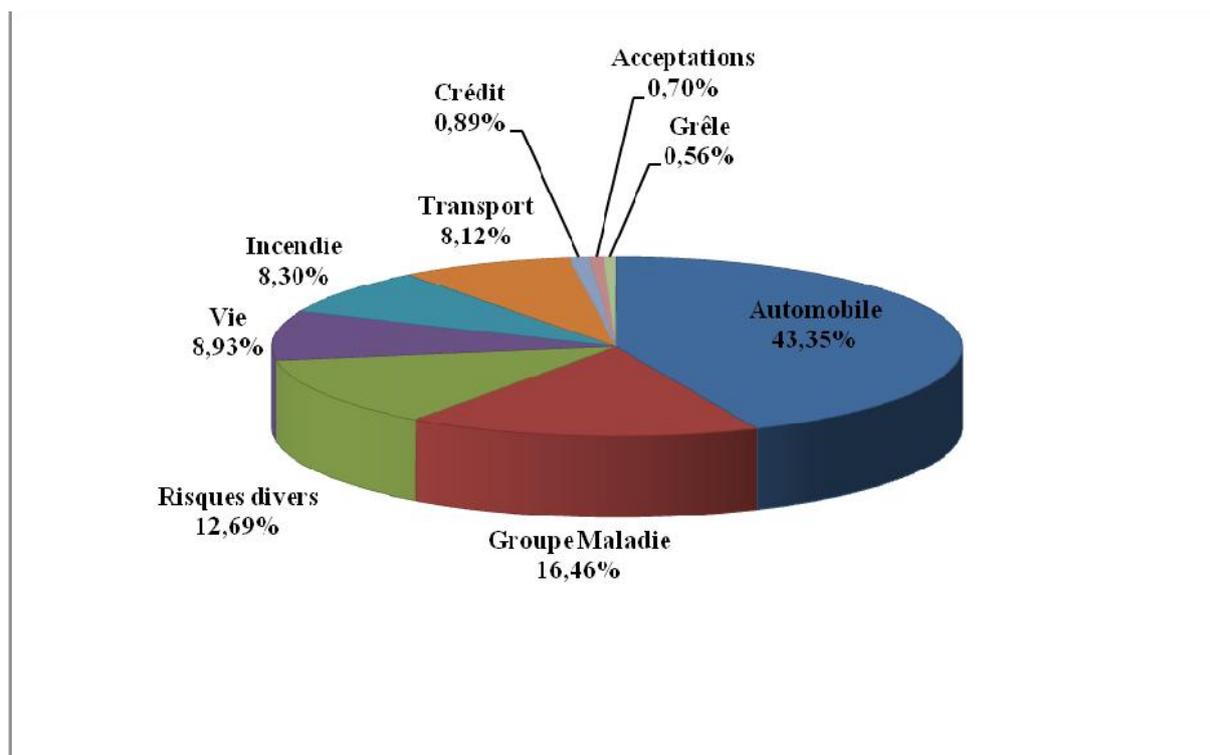


Figure 132. Position de l'assurance-grêle dans le marché de l'assurance en 2005 (source : Fédération Tunisienne des Sociétés d'Assurances).

### 3. Le système de gestion du risque-grêle : un système embryonnaire et défaillant

Cinq éléments principaux interviennent dans la gestion du risque grêle, à savoir, le climat, le monde agricole (agriculteur et agriculture), l'assurance, les pouvoirs publics et la prévention (figure 133). Chaque élément constitue un sous-ensemble plus ou moins homogène qui agit très souvent selon ses intérêts, ses modes de fonctionnement, ses contraintes et ses vulnérabilités.

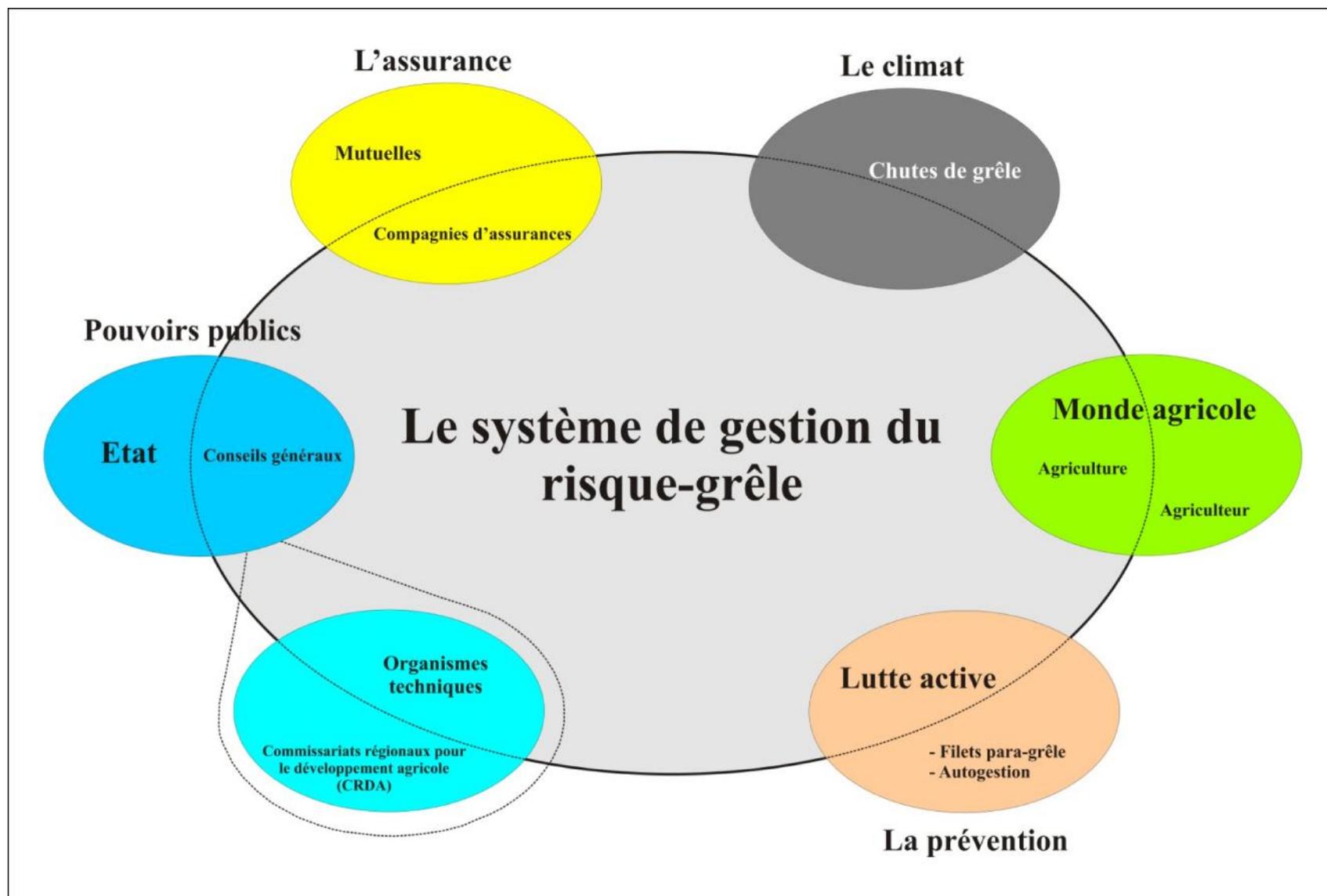


Figure 133. Les différents éléments du système de gestion du risque-grêle (source : Vinet F. 2000).

### 3.1. Le climat, un facteur plus qu'un acteur

Le climat est l'élément le plus déterminant de l'ensemble du système. Ce facteur intervient suivant les modalités du sous-système de gestion du risque-agent (figure 134). En effet, les chutes de grêle se manifestent selon leur géographie (régions potentiellement à risque) et aussi selon leur saisonnalité (périodes à risque de l'année).

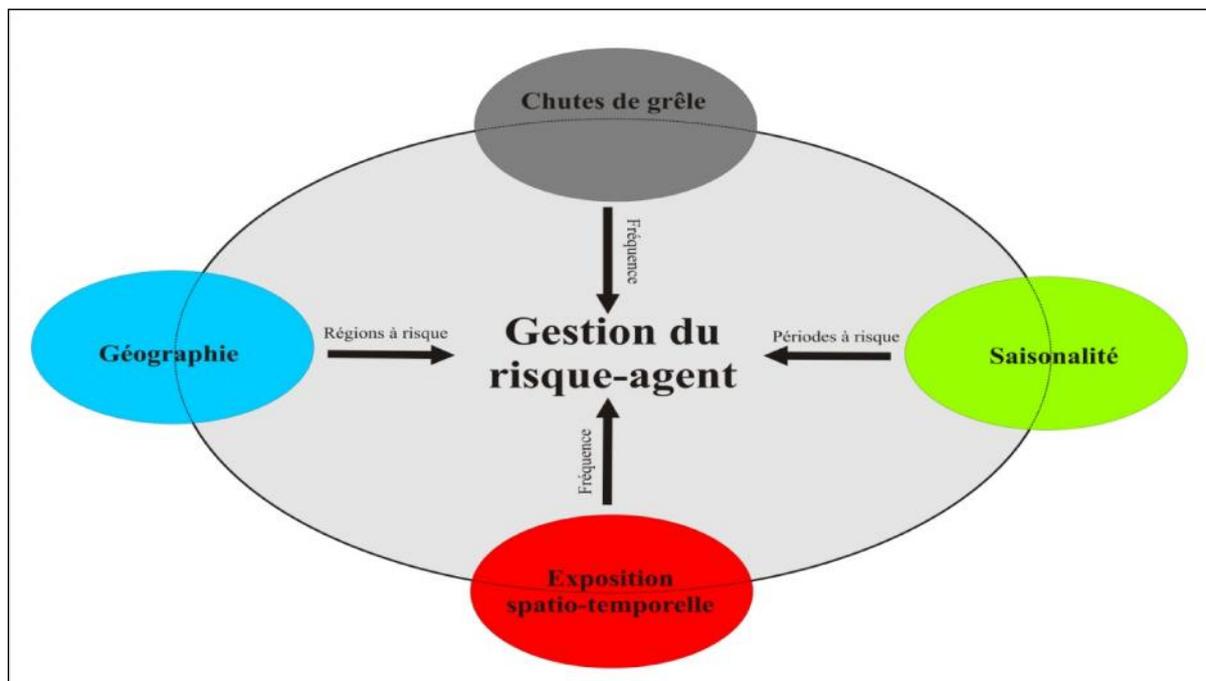


Figure 134. Sous-système de gestion de l'aléa (les chutes de grêle).

La gestion du risque-agent se définit à partir de l'identification, la quantification, l'explication, la spatialisation des chutes de grêle ainsi que leur intensité et leur trajectoire. Le risque-agent (les chutes de grêle) n'est pas une donnée statique. Il se manifeste, par ailleurs, sur la probabilité de sa survenance. Il n'est donc pas prévisible et quantifiable à coup sûr. Le sous-système de gestion du risque-agent (grêle) doit sa raison d'être à l'incertitude née de la variabilité spatio-temporelle des chutes de grêle.

### 3.2. Le monde agricole

L'agriculture sensible à la grêle se détermine par la géographie des cultures et par leur durée d'exposition aux chutes de grêle potentiellement dommageable (figure 135). La gestion des enjeux tient compte de l'identification et de l'explication des différents aspects de la vulnérabilité des cultures face à la grêle. Cette vulnérabilité diffère d'une culture à une autre, d'une variété à une autre, mais aussi d'une région à une autre.

La vulnérabilité agricole change selon les cycles végétaux de la plante au cours de l'année. Vers les stades finaux (pleine maturation vers la récolte), la vulnérabilité devient totalement irréversible.

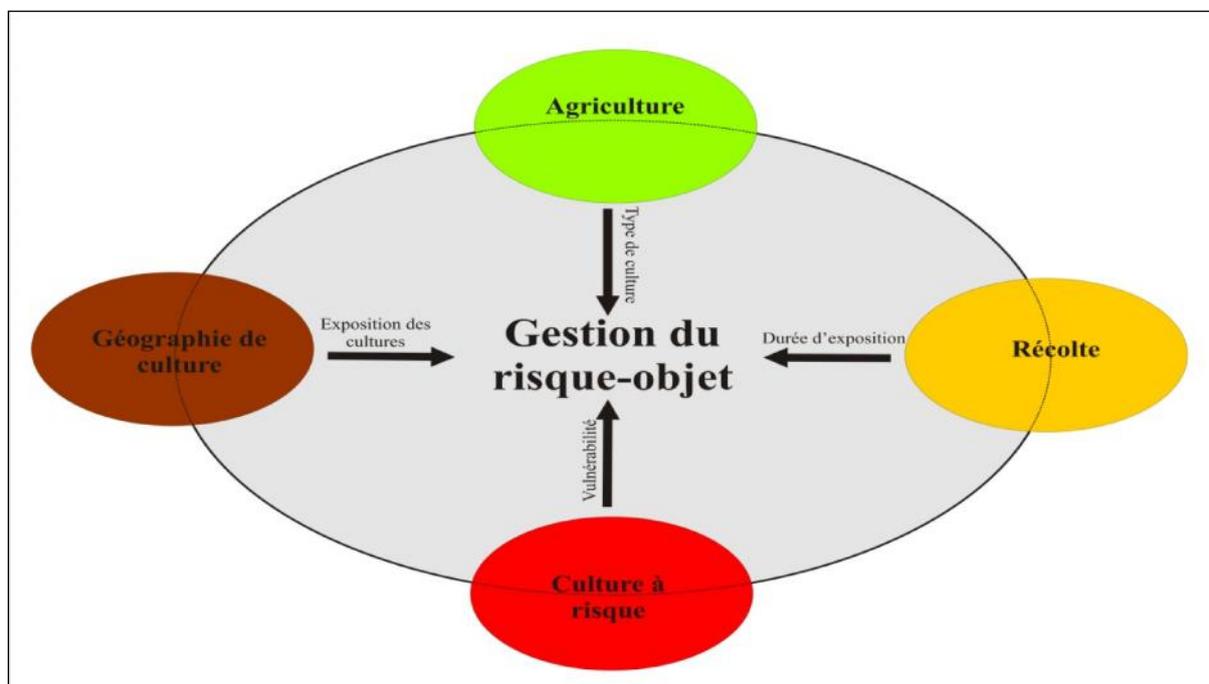


Figure 135. Sous-système de gestion du risque-objet (l'agriculture).

En Tunisie, l'arboriculture se trouve au cœur du sous-système de gestion du risque-objet. Cette culture souffre le plus de la grêle pour les raisons que nous avons déjà évoquées. Les enquêtes réalisées auprès des arboriculteurs, montrent que la grêle est le fléau naturel le plus redouté en particulier au centre-ouest du pays.

### 3.3. Les acteurs de la prévention : agriculteurs, assureurs et pouvoirs publics

#### 3.3.1. Agriculteurs

Sans doute le climat conditionne la pratique de certaines agricultures. L'agriculteur se trouve très souvent entre le climat et ses cultures, et fait figure de victime en cas de risque. En Tunisie, concernant le risque-grêle, c'est l'arboriculteur qui est le plus concerné et le plus touché. Il n'est pas impliqué dans les décisions concernant le risque-grêle, en revanche certains organismes interviennent indirectement : Le premier porte-parole des arboriculteurs est le Groupement Interprofessionnel des Fruits (GI Fruits). Il a été créé le 26/07/1993 par la loi n°84-93 relative aux groupements interprofessionnels dans le secteur agricole et des industries agroalimentaires et par l'arrêté n°1165/94 du 23/05/1994 relatif à l'approbation des

statuts des groupements interprofessionnels dans le secteur agricole et des industries agroalimentaires, il est le résultat de la fusion du Groupement Interprofessionnel des Dattes (GID), celui des Agrumes et des Fruits (GI AF) et celui de la Vigne (GIVI). Le GI Fruits assume, entre autres missions, le rôle de régulateur des marchés, contribue à la promotion de la qualité des fruits tunisiens et veille à la commercialisation et à la promotion des exportations de ces produits. Le groupement est géré par un conseil d'administration dont un tiers des membres est composé de représentants de l'administration, un tiers des représentants de l'Union Tunisienne de l'Agriculture et de la Pêche (UTAP) et un tiers des représentants de l'Union Tunisienne de l'Industrie, du Commerce et de l'Artisanat (UTICA).

Les Directions Régionales de la Production Agricole (Directions des Arbres Fruitiers) des Commissariats Régionaux pour le Développement Agricoles sont considérés comme le deuxième porte-parole des arboriculteurs. Avec ses responsables et ses experts, ces directions régionales se font les relais des demandes des arboriculteurs auprès des autorités ou des compagnies d'assurances. Elles se donnent aussi pour mission de les informer et de les conseiller sur la gestion du risque-grêle en diffusant les informations sur les nouvelles réglementations et les moyens pour s'y opposer, quand c'est nécessaire. Lors de la crise des chutes de grêle des 02 et 10 mai 2002 à Kasserine, la Direction des Arbres Fruitiers du Commissariat Régionaux pour le Développement Agricoles de ce gouvernorat a été un acteur central entre les arboriculteurs sinistrés et les autorités en question. Son rôle a été particulièrement important pour les agriculteurs qui n'ont été pas assurés et n'aboutissaient à aucun moyen de protection.

### *3.3.2. Assureurs*

L'assurance est un sous-ensemble très hétérogène, à cause de la concurrence entre les compagnies de statuts très différents. Le marché de l'assurance-agricole est constitué de presque une dizaine de sociétés, dont une seule est entièrement spécialisée en assurance agricole qui est la CTAMA (tableau 29). En effet, le montant total des primes et cotisations émises en 2007 est de 878 millions DT, dont 24.4 millions DT pour la couverture des risques agricoles. La part de la CTAMA est d'environ de 93% avec une assiette de cotisation de 22.6 millions DT.

Compagnies d'assurance	Chiffres d'affaires							
	2004	(%)	2005	(%)	2006	(%)	2007	(%)
CTAMA	10.595	84,3	12.453	86,1	17.209	89,9	22.630	92,8
COMAR	1.001	8	0.714	4,9	0.610	3,2	0.632	2,6
ASTREE	0.628	6,6	1.169	8,1	0.945	4,9	0.609	2,5
LLOYD	0.091	0,7	0.076	0,5	0.259	1,4	0.164	0,7
STAR	0.052	0,4	0.047	0,3	0.084	0,4	0.085	0,3
Assurance BIAT	-	-	-	-	0.032	0,2	0.253	1
<b>Total</b>	12.567	100	14.461	100	19.142	100	24.374	100
<b>Evolution</b>	-3,6%		15,1%		32,4%		27,3%	
<b>Part dans tout le marché d'assurance</b>	1,95%		2,03%		2,39%		2,78%	

Tableau 29. Situation de l'assurance agricole dans le marché de l'assurance entre 2004 et 2007 en Tunisie (source : CTAMA).

Pour le secteur de l'assurance-grêle, sa participation dans le marché de l'assurance tunisien est très faible et occupe les dernières positions avec pas plus de 0.5% en 2005. Cependant, à l'échelle des compagnies d'assurances, la situation change et la garantie contre la grêle prend de la valeur dans leurs portefeuilles agricoles. Concernant la CTAMA, la part des revenus de l'assurance-grêle dans son portefeuille agricole de 2007 atteint 2 263 millions DT, soit 10% du chiffre d'affaires (figure 136).

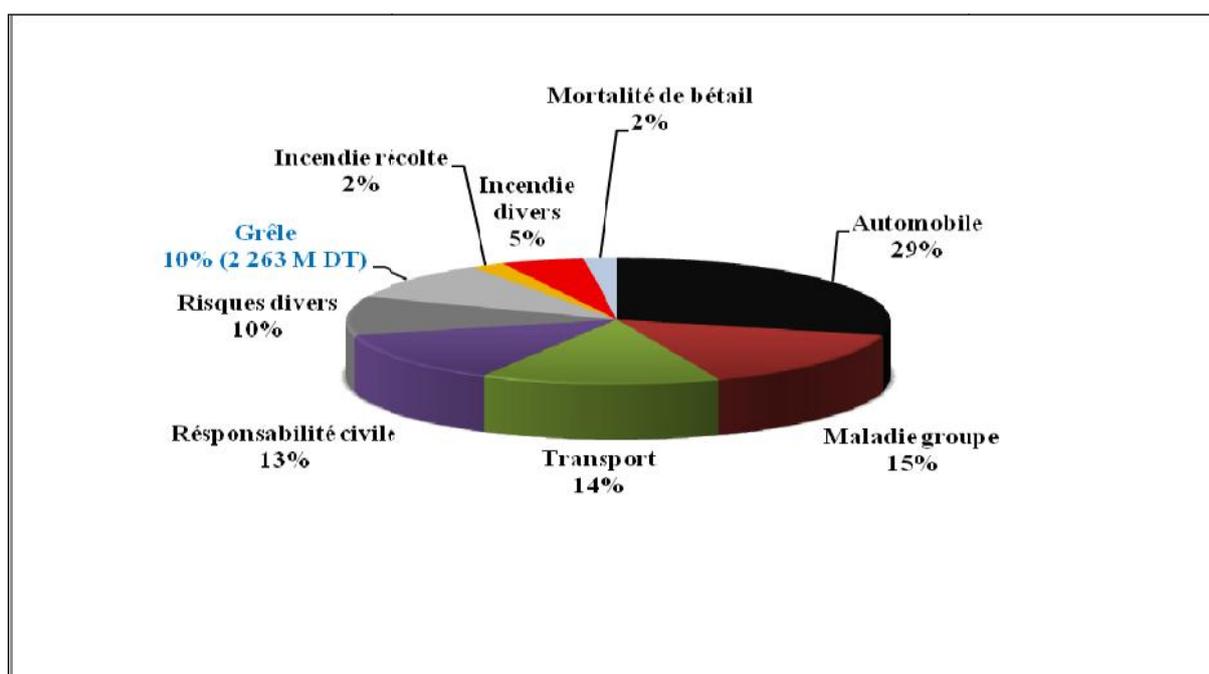


Figure 136. Part des revenus de l'assurance-grêle dans le portefeuille de la CTAMA en 2007 (source des données : CTAMA).

La CTAMA constitue la principale compagnie en matière d'assurance agricole. Sur un total de 12 567 millions DT de chiffres d'affaires d'assurance agricole en 2004, elle a participé d'une part de 10 595 millions DT, soit environ 85% et plus de 10 fois la contribution de la COMAR qui la suit en deuxième place (Figure 137). Entre 2004 et 2007, les émissions de la CTAMA en matière d'assurance agricole gagnent davantage d'importance pour atteindre environ 93% avec des chiffres d'affaires de 22 630 millions DT (soit plus que le double). La participation de la COMAR est, par contre, en régression avec moins de 2,6%, soit le 1/4 de sa valeur en 2004.

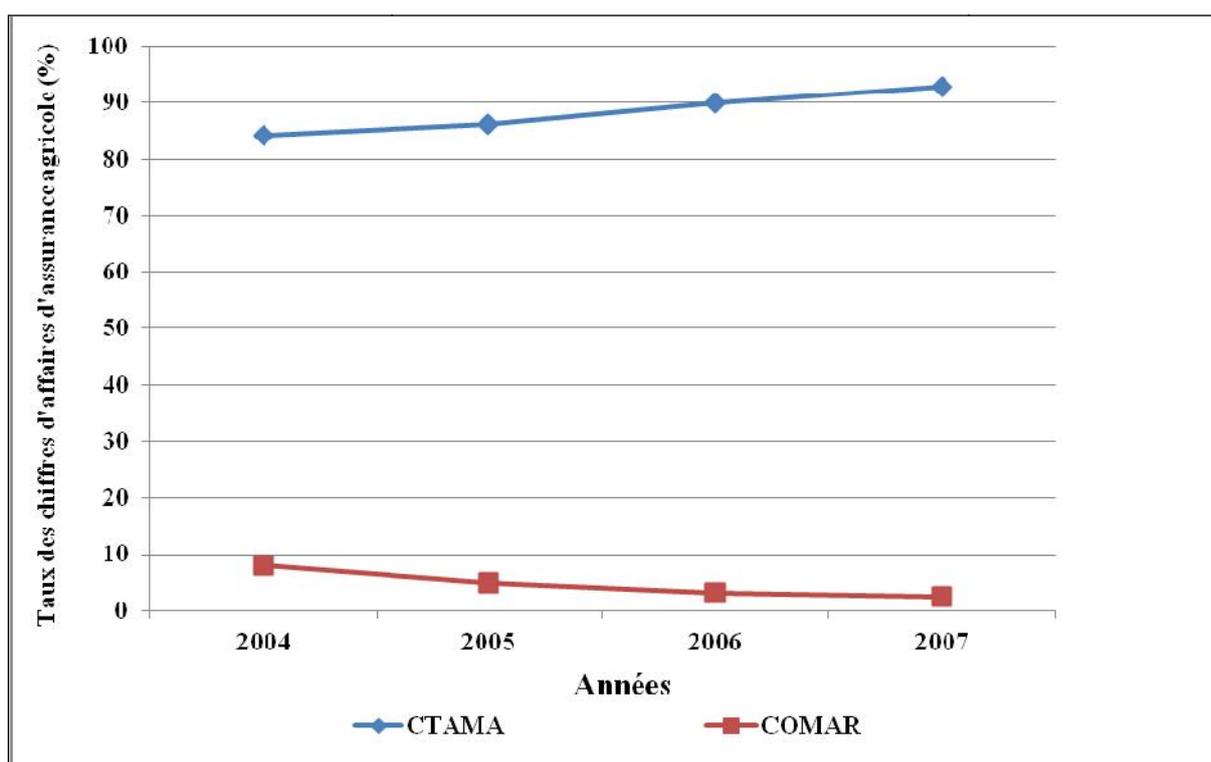


Figure 137. Taux de couverture des cultures céréalières par l'assurance-grêle (source : CTAMA).

La moyenne annuelle des indemnités des sinistres agricoles est de 10 millions DT. Pour l'année 2007, le total de règlement des sinistres agricoles est d'environ 11.5 millions DT, soit 2,48% du total des sinistres réglés par le marché des assurances. 87,5% des règlements dans le domaine agricole sont réalisés par la CTAMA seule (tableau 30).

Les indemnités des sinistres-grêle de la CTAMA atteignent 1 001 millions DT en 2007, soit 10% du total des sinistres réglés. Ces indemnités occupent la troisième place après les règlements de l'assurance automobile et celle des maladies (figure 138).

Compagnies d'assurance	Règlements sinistres							
	2004	(%)	2005	(%)	2006	(%)	2007	(%)
CTAMA	8.798	<b>81,7</b>	7.858	<b>86,8</b>	7.345	<b>88</b>	10.018	<b>87,5</b>
STAR	0.794	<b>7,4</b>	0.336	<b>3,7</b>	0.088	<b>1,1</b>	0.077	<b>0,7</b>
ASTREE	0.634	<b>5,9</b>	0.416	<b>4,6</b>	0.493	<b>5,9</b>	0.644	<b>5,9</b>
COMAR	0.420	<b>3,9</b>	0.436	<b>4,8</b>	0.326	<b>3,9</b>	0.484	<b>4,2</b>
LLOYD	0.116	<b>1,1</b>	0.006	<b>0,1</b>	0.088	<b>1,1</b>	0.205	<b>1,8</b>
Assurance BIAT	-	-	-	-	-	-	0.021	<b>0,2</b>
<b>Total</b>	10.762	<b>100</b>	9.052	<b>100</b>	8.340	<b>100</b>	11.449	<b>100</b>
Evolution	<b>0,5%</b>		<b>-15,9%</b>		<b>-7,9%</b>		<b>37,3%</b>	
Part du total des règlements	<b>2,81%</b>		<b>2,12%</b>		<b>1,79%</b>		<b>2,48</b>	
Part dans tout le marché d'assurance	<b>1,95%</b>		<b>2,03%</b>		<b>2,39%</b>		<b>2,78%</b>	

Tableau 30. Règlements des sinistres agricoles par l'assurance entre 2004 et 2007 (source des données : CTAMA).

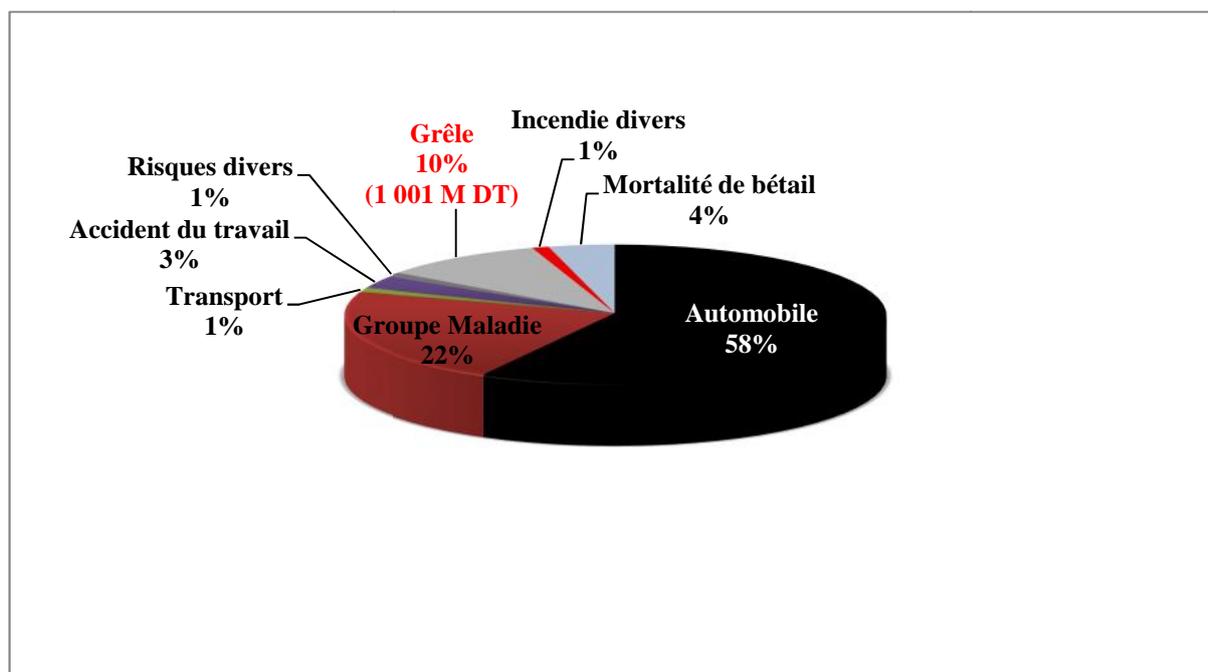


Figure 138. Les indemnités des sinistres-grêle en milles Dinars en 2007 à la CTAMA (source des données : CTAMA).

### 3.3.3. Pouvoirs publics

L'Etat, les conseils municipaux et d'autres organismes en question (la CTAMA, la FTUSA, les CRDA, les banques agricoles) interviennent dans la gestion du risque-grêle. Dans la plupart des cas, ils interfèrent ensemble pour l'établissement de systèmes adéquats à la gestion du risque-grêle.

L'intervention de l'Etat avec les conseils municipaux de ses gouvernorats en matière d'assurance agricole se traduit par des incitations sous forme de prise en charge des cotisations versées par les agriculteurs. Ainsi, le 12 mai 2008, l'Etat a décidé la prise en charge des cotisations d'assurances agricoles au titre des prêts destinés au financement des campagnes des grandes cultures sur une période de trois ans et d'une manière dégressive pour les risques de chute de grêle et d'incendie. Une convention a ainsi été signée entre le Ministère des Finances et la CTAMA qui est chargée de la gestion et de l'application de cette mesure en collaboration avec les autres entreprises d'assurances.

Cette convention était le résultat de plusieurs recommandations du dernier forum national sur l'avenir de l'assurance agricole organisé le 30 octobre 2007, dont :

- l'établissement d'un contrat-cadre entre les institutions d'assurances agricoles et l'Union Tunisienne de l'Agriculture et de la Pêche (l'UTAP).
- le développement des contrats d'assurances collectifs entre les agriculteurs afin de réduire le coût des assurances et ce à travers les associations, les coopératives et tous autres groupements agricoles.
- la baisse des charges de gestion des assureurs agricoles et notamment la CTAMA.
- l'établissement d'une relation contractuelle durable entre l'entreprise d'assurance et l'agriculteur avec des réductions des cotisations (fidélisation des agriculteurs).
- l'établissement de contrats multirisque agricoles.
- l'actualisation de la législation de l'assurance agricole.
- la multiplication des campagnes de sensibilisation en faveur de l'assurance agricole.

Suite à cette conférence nationale, d'autres décisions ont été prises en novembre 2007 en vue d'encourager l'investissement dans le secteur d'assurance agricole et d'améliorer sa rentabilité. Voici quelles étaient les décisions les importantes :

- la généralisation de l'exonération de la taxe unique sur l'assurance pour l'ensemble des entreprises d'assurances intervenant en matière de couverture des risques agricoles.
- la réduction de 40% des tarifs appliqués pour la couverture du risque de chute de grêle et d'incendie agricole pour l'arboriculture et les grandes cultures. Cette réduction a intéressé en particulier les régions les plus exposées à ces risques.
- pour certaines branches d'assurances, la réduction a atteint 20% des primes d'assurances au profit des agriculteurs adhérents à un contrat collectif ou ceux qui souscrivent des contrats individuels renouvelables chaque année durant une période de trois ans.
- Encourager l'exploitation commune des terres agricoles et évoluer vers la spécialisation des exploitations agricoles.

D'une manière générale, les pouvoirs publics jouent un rôle régulateur dans le système de gestion du risque-grêle : par la redistribution financière (incitations aux assureurs et réglementations des crédits et des dettes des agriculteurs), l'assistance technique et la connaissance du risque (programmes de sensibilisation et aides à la prévention).

#### *3.3.4. Autres organismes de prévention*

En Tunisie, il n'y a jusqu'à présent, pas de structure claire (sous forme d'organisme par exemple...) en terme de prévention contre le risque-grêle. De même, il est difficile d'avoir une idée précise de l'activité et de l'implantation géographique des sociétés commerciales qui travaillent aux frontières du système de gestion du risque, comme les fournisseurs des filets paragrêle (fabricants et distributeurs). Ces derniers sont, par exemple, souvent fournis suite à des programmes nationaux de lutte contre la grêle proposés par l'Etat (à l'instar du décret n°2003-518 de 10 mars 2003, destiné à l'installation des filets préventifs). Les conseils municipaux et en particulier les Commissariats Régionaux pour le Développement Agricole des différents gouvernorats, font le lien entre les agriculteurs et les équipements de prévention.

Il ne faut pas oublier, en outre, le rôle prestataire de service de l'Institut National de la Météorologie. Il participe dans le sous-ensemble de la prévention-grêle à la prévision des situations grêligènes, par exemple.

### 3.4. Les flux financiers dans le système de gestion du risque grêle

Dans le système de gestion du risque-grêle, les intervenants sont nombreux. Chacun d'entre eux forme un sous-système très cohérent qui plus que d'assurer la cohérence de tout le système-grêle, répond essentiellement à sa logique interne. Cependant, en phase de fonctionnement, ce sont les flux financiers qui réunissent et commandent les relations entre les différents partenaires. Le mouvement de ces flux assure la stabilité de l'ensemble du système (figure 139).

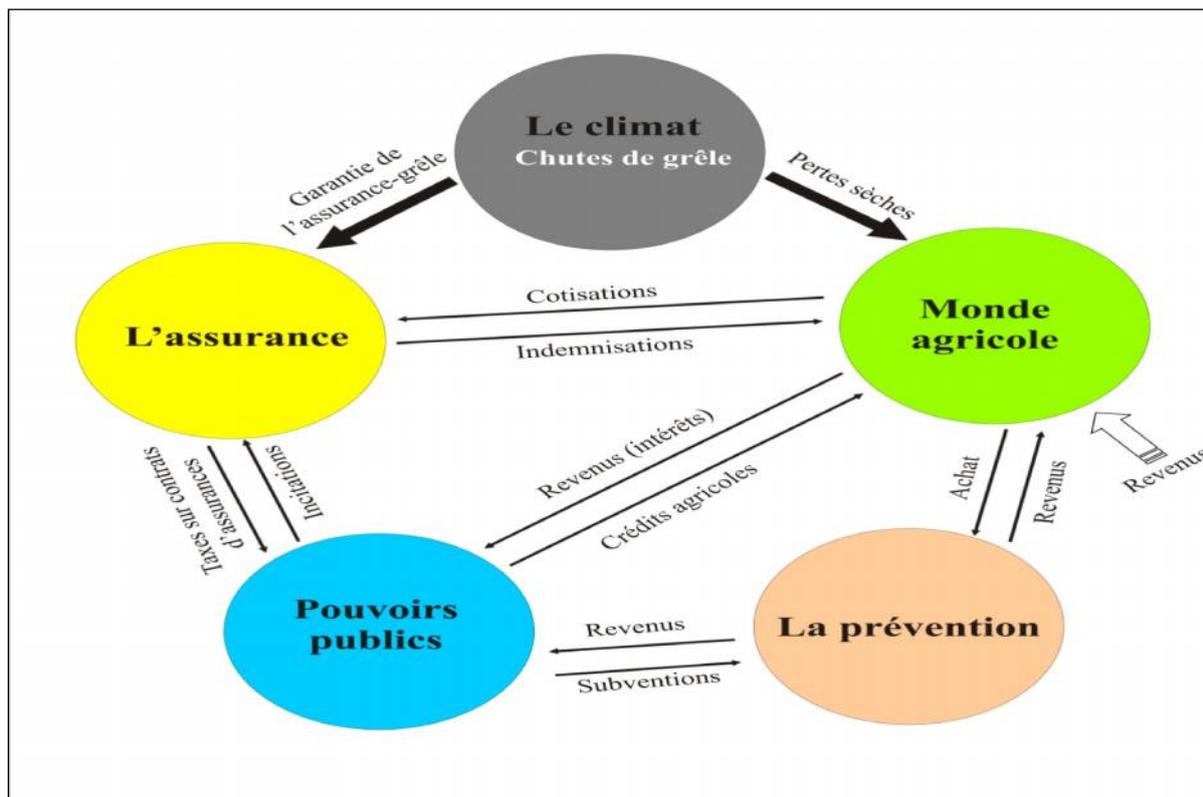


Figure 139. Les relations financières dans le système « gestion-grêle ».

Les mécanismes de régulation reposent en grande partie sur la circulation de ces flux financiers. On distinguera, généralement, les flux financiers internes, qui circulent entre les acteurs, des flux externes, propres aux différents acteurs, mais qui influencent indirectement le système-grêle.

#### 3.4.1. Flux internes

##### 3.4.1.1. Monde agricole, assurance et pouvoirs publics

Ce sont les plus importants. Ils sont réciproques mais forcément équilibrés (figure 139). Les cotisations des agriculteurs (2 263 millions DT en 2007) alimentent les caisses des

assureurs. Ces derniers réservent une partie de ces sommes à l'indemnisation (1 001 millions DT en 2007) et à payer les taxes d'assurances aux pouvoirs publics. Les pouvoirs publics, et en particulier l'Etat, redistribuent ces taxes sous formes d'incitations aux assureurs et sous forme de crédits aux agriculteurs, tout en bénéficiant des intérêts. L'agriculteur, qui est obligé de s'assurer pour avoir un crédit agricole, garde une partie de ce crédit pour payer les cotisations d'assurance.

L'agriculteur souhaite toujours récupérer une partie de son argent sur le court ou moyen terme, mais les assureurs gèrent les risques climatiques sur le long terme et tirent leurs bilans sur quelques années. En effet, l'agriculteur a toujours le sentiment d'être le perdant en cas de sinistre. C'est à ce niveau, qu'intervient le rôle intermédiaire des pouvoirs publics entre l'assureur et l'agriculteur pour assurer l'équilibre des flux financiers et la cohérence du système.

#### 3.4.1.2. Pouvoirs publics, prévention et monde agricole

A partir des taxes et des impôts versés par les assureurs ainsi que des intérêts des crédits agricoles, les pouvoirs publics interviennent sur le domaine de la prévention en accordant des subventions et des aides. Elles se déclinent sous forme de dégrèvements fiscaux et de prêts bonifiés (figure 139).

D'autres méthodes font l'objet d'aides des pouvoirs publics, en particulier les filets paragrêle (décret n°2003-518 de 10 mars 2003, destiné à l'installation des filets préventifs de la grêle). Les achats des filets effectués par les agriculteurs garantissent la protection de leurs cultures contre la grêle et alimentent les revenus des pouvoirs publics (l'Etat). Les revenus des récoltes des agriculteurs sont destinés à payer les crédits et les frais des cotisations alors que ceux des pouvoirs publics vont être redistribués sous formes d'incitations aux assureurs et de crédits agricoles.

On retient le rôle déterminant des pouvoirs publics, et en particulier de l'Etat. L'intervention de l'Etat, en cas de crises, assure la circulation et la redistribution de l'argent afin de maintenir l'équilibre des flux financiers entre les différents éléments du système de gestion du risque-grêle.

### 3.4.2. Flux externes (agriculteur et autres sources de revenus)

Les flux financiers gravitent autour du système sans lui être liés directement. On peut évoquer notamment les revenus des agriculteurs provenant de plusieurs sources autre que l'agriculture. Certains agriculteurs investissent dans le commerce parallèlement à l'agriculture. Ces revenus conditionnent, en effet, l'état financier des exploitations agricoles et donc leur capacité à gérer le risque-grêle. Lors des enquêtes, nous pu observer que ce sont les seuls agriculteurs à pouvoir acquérir les filets paragrêle, à infrastructure lourde et donc très couteux(les filets en chapelle).

### 3.5. Adaptabilité et blocage du système

Le système de gestion du risque-grêle trouve son efficacité dans son adaptabilité. Cette adaptabilité dépend de la souplesse des acteurs du système. L'assureur, par exemple, doit toujours moduler ses tarifs et l'agriculteur, aussi, doit être conscient des mutations agricoles qui exigent d'intégrer plus de moyens antigrêle (comme les filets).

Cependant, cette adaptabilité du système "grêle" est une adaptabilité *a posteriori* et elle commence d'une situation de blocage : D'abord, elle ne se fait qu'après la crise suite à un renforcement exceptionnel des chutes de grêle. En outre, elle souffre toujours de l'absence des mesures (relevés des pertes) faute de moyens de mesures (manque des grêlimètres) et des capitaux, et d'être à jour avec le développement du secteur agricole (le passage d'une agriculture familiale à une agriculture de production pour le marché) qui exige plus de sécurisation des productions et des investissements.

### 3.6. Autres mécanismes du système-grêle : trop peu de chute de grêle tue l'assurance

Les chutes de grêle donnent à l'assurance-grêle la seule raison d'exister. Lorsque les chutes de grêle ne sont pas abondantes, la sinistralité devient faible. Ceci crée une boucle de rétroaction négative engendrant l'amplification du risque en matière d'assurance. La faible sinistralité se traduit, réellement, par une baisse de la sensibilisation qui causera une baisse au niveau du nombre des assurés. Les capitaux assurés vont être concentrés sur "mauvais risques" ce qui empêchera la répartition du risque donc une faible tendance à la mutualisation. Ces conditions se traduisent négativement sur les résultats des assureurs qui tendent à

augmenter les tarifs pour mieux gérer la situation, or la hausse des cotisations provoquera de nouveau la baisse du nombre des clients assurés.

### **Conclusion**

Dans les régions à risque-grêle en Tunisie, l'agriculteur peut recourir soit aux filets soit à l'assurance selon le type de culture et selon les superficies agricoles. Pour les grandes exploitations arboricoles, par exemple, il est nécessaire de combiner les deux méthodes de prévention : protéger une partie de l'exploitation par des filets et assurer le reste.

Par ailleurs, le système actuel de gestion du risque-grêle en Tunisie est complexe et fragile. Les différents acteurs de ce système, notamment l'assuré et l'assureur, sont toujours en opposition surtout sur le plan financier : les filets paragrêle sont très coûteux et les compagnies d'assurances ne distribuent pas les indemnités ? En outre, les graves chutes de grêle, comme celles des 02 et 10 mai 2002, exacerbent les tensions concernant la gestion du risque-grêle. Elles mettent en exergue la fragilité de la filière et les difficultés des arboriculteurs qui sont peu soutenus par le système étatique ou par le marché. Une des conditions de la pérennité et du développement de la filière agricole tunisienne est la sécurisation de ses approvisionnements et la sécurisation des conditions de travail des propriétaires exploitants seul gage d'investissement. Sécurité et investissement sont fortement liés s'il n'y a pas de sécurité le propriétaire exploitant n'investit pas, s'il ne peut pas investir il ne peut pas sécuriser sa production.



## **Chapitre 8. L'assurance-grêle en Tunisie : un produit encore peu diffusé**

### **Introduction**

L'assurance, est le plus ancien moyen de se prémunir contre les risques. En Tunisie, l'assurance agricole n'est apparue que vers le début du vingtième siècle et celle liée à la grêle, seulement dans les dernières décennies. La grêle, aléatoire, locale et brusque, est presque le seul risque climatique à ne se gérer que par le biais de l'assurance du moins jusqu'à présent.

Dans ce chapitre, nous présenterons l'assurance-grêle en Tunisie à travers le contrat d'assurance contre la grêle, les obligations des deux principales parties du contrat (l'assuré et l'assureur) et les différents modes d'estimation et d'évaluation des pertes en cas de grêle.

### **1. L'assurance et la garantie contre les risques liés au climat**

Un risque lié au climat ne peut être pris en charge par un assureur que lorsqu'il répond à plusieurs critères. D'abord, ce risque climatique doit être aléatoire c'est-à-dire qu'il n'affecte pas les mêmes endroits et est susceptible d'atteindre chaque point du territoire. Il doit aussi être, réparti dans le temps sous la forme d'une multitude de petits sinistres. D'autre part, il convient que tous les assurés ne soient pas touchés en même temps. Enfin, le risque doit être mesurable de façon à établir une géographie des taux de prime.

La concentration temporelle et surtout spatiale empêche les risques climatiques d'être préoccupés par l'assurance. Plus un risque est concentré dans une petite entité géographique, moins il sera assurable car les assureurs négligent toujours ces espaces exposés de leurs systèmes d'assurances. Prenons le cas de la grêle, les compagnies d'assurances assurent des endroits rarement grêlifères. Si le risque intervient, l'intérêt de l'assurance est simple : Il est basé sur les nombreux non-sinistrés qui compensent, par leurs cotisations, les indemnités versées aux sinistrés.

En Tunisie, l'assurance agricole contre les risques climatiques très variables dans le temps et dans l'espace, comme la grêle, reste peu demandée par les assurés et n'est pas intéressante pour les assureurs. Elle demeure le parent pauvre du secteur des assurances avec une part dans les émissions globales limitée à 2,78% en 2007. Seuls 6% des agriculteurs sont assurés contre 24% en Espagne, 34% en Autriche, 40% en Suède et presque 100% en Grèce. On peut

comprendre cette situation à partir des chiffres d'affaires des différentes compagnies d'assurances tunisiennes pour l'année 2007 (tableau 31). Excepté la Caisse Tunisienne d'Assurances Mutuelles Agricoles dont le fonctionnement a un aspect mutualiste, la participation des autres sociétés d'assurance au le domaine de l'agriculture demeure très modeste.

Compagnie	CTAMA	COMAR	STAR	ASTREE	LLOYD	L'UNION	TOTAL
Chiffre d'affaires	22.630	0.632	0.609	0.164	0.085	0.253	24.373
Part de toutes les branches (%)	92,80	2,60	2,50	0,70	0,30	1,00	100,00
Rang	1	2	3	5	6	4	-

Tableau 31. Chiffre d'affaires des compagnies d'assurances dans le secteur de l'agriculture en Tunisie en matière d'assurance agricole (millions de DT) en 2007 (source : CTAMA).

## 2. Historique de l'assurance agricole et de l'assurance-grêle en Tunisie

Les premiers essais d'assurance agricole ont débuté en 1912 (tableau 32). A l'époque, et sur une base mutualiste, quelques agriculteurs tunisiens ont fondé la « Tunisie Assurances » pour indemniser les pertes que pouvaient subir chacun d'entre eux dans sa récolte. Cette expérience a pris fin 1961, avec la fondation de la CTAMA spécialisée en assurance agricole.

Date	Historique
1912	Premier essai d'assurance agricole avec la fondation de « Tunisie Assurances » : elle est fondée par des agriculteurs tunisiens pour indemniser les pertes que peuvent subir chacun d'entre eux dans sa récolte. La « Tunisie Assurances », qui avait un aspect mutualiste et basée sur les souscriptions de ses adhérents, est spécialisée dans la branche <i>grêle</i> .
26 mars 1931	Fixation des procédures de fonctionnement des caisses de la « Tunisie Assurances » ainsi que leur gestion.

<b>1949</b>	Fondation de « ASTREE compagnie d'assurances et de réassurances »
<b>06 décembre 1958</b>	Fondation de la Société Tunisienne d'Assurances et de Réassurances (STAR)
<b>28 avril 1961</b>	<p>La tunisification de la « Tunisie Assurances » qui est devenue la « Caisse Tunisienne d'Assurances Mutuelles Agricoles » connue souvent par la CTAMA. Cette caisse comporte d'amont en aval. Elle couvrait tous les risques agricoles (grêle, incendie, responsabilité civile de l'agriculteur, risques corps de pêches et santé pour les salariés agricoles et les agriculteurs).</p> <p style="text-align: center;">1 caisse centrale (conseil administratif et 18 membres) ↓ 9 caisses régionales (1 conseil administratif et 15 membres pour chacune) ↓ 7 administrations régionales ↓ 43 bureaux locaux spécialisés en assurance agricole</p>
<b>1969</b>	Fondation de la Compagnie Méditerranéenne d'Assurances et de Réassurances (COMAR)
<b>10 septembre 2000</b>	Séminaire national pour la mise en place d'un système d'assurance agricole et l'intégration, dans les crédits bancaires, l'acquisition d'équipements pour protéger la production contre les fléaux naturels (surtout la grêle)
<b>10 mars 2003</b>	Décret n° 2003-518 du journal officiel : un projet national avec la participation de l'état pour l'installation des filets préventifs de la grêle pour protéger les arbres fruitiers
<b>30 octobre 2007</b>	Forum national sur l'avenir de l'assurance agricole qui a abouti à un Contrat-Cadre entre les institutions d'assurances agricoles et l'Union Tunisienne de l'Agriculture et de la Pêche (UTAP). Ce programme vise à établir des contrats collectifs d'assurances entre les agriculteurs afin de réduire le coût des assurances et les charges de gestion.

Tableau 32. Historique de l'assurance agricole et l'assurance-grêle en Tunisie (sources diverses).

Concernant l'assurance-grêle, ce n'est que très récemment (l'an 2000) qu'un système national d'assurance touchable contre ce fléau est mis en place. Ce système vise à sensibiliser

les agriculteurs à l'importance d'assurer leurs cultures et d'intégrer dans leurs crédits bancaires l'acquisition d'équipements antigrêle (figure 140).



Figure 140. Les systèmes d'assurance agricole à l'échelle nationale (journal « LE RENOUVEAU » du 10 septembre 2000).

### 3. Contrat d'assurance « grêle sur récolte »

Le contrat d'assurance contre la grêle est régi par le code des assurances promulgué par la loi n° 92/24 du 09 mars 1992 dénommé ci-après « LE CODE ». Il est régi, en outre, par les conditions générales qui vont être étudiée dans ce chapitre, ainsi que par toutes les annexes qui s'y joignent, et dont les conditions particulières et la formalité de la déclaration du risque font partie intégrante. Le contrat d'assurance-grêle a exclusivement pour objet la garantie de la perte quantité causée par l'action mécanique du choc des grêlons aux récoltes sur pieds désignés dans le contrat. Pour les produits de l'arboriculture, les fruits seuls sont assurés (d'après les livrets des conditions générales du contrat d'assurance-grêle de la STAR).

#### 3.1. L'assurance-grêle

L'assurance contre le phénomène de la grêle n'est qu'une réaction indirecte de l'homme pour s'en protéger. Cette opération vise simplement à compenser les pertes causées par ce fléau, notamment pour l'agriculteur (figure 141 et 142).

**CAISSE TUNISIENNE D'ASSURANCES MUTUELLES AGRICOLES**

6 Av. Habib Thameur - 1009 Tunis - Tél. : 71.340.933 - Fax : 71.332.276  
 Matricule fiscal 05855 P/P/M/000  
 Registre de Commerce : B 110 199 1997  
 Visa M.F. N° 1-6/007



**الصندوق التونسي للتأمين التعاوني الفلاحي**

6 شارع الحبيب - تونس - الهاتف : 71.340.933 - الفاكس : 71.332.276  
 المبرمج الضريبي : 05855 P/P/M/000  
 المبرمج التجاري : B 110 199 1997  
 تأشيرة ر.ج. عدد : 1-6/007

## التأمين ضد البرد

### ASSURANCE CONTRE LA GRÊLE

Rassurée, garantie et agréée par la Caisse Tunisienne d'Assurances Mutuelles Agricoles		يضمن تعاوني وإعادة تأمين لدى الصندوق التونسي للتأمين التعاوني الفلاحي	
CODE SOCIÉTAIRE	رقم المشترك	MON, QUALITE ET ADRESSE DU SOCIÉTAIRE	اسم المشترك وصفته وعنوانه
		CAISSE REGIONALE	الصندوق الجهوي
		BUREAU LOCAL	المكتب المحلي
BRANCHE	البريد	IDENTIFIANT	المعرف
		POLICE	رقم العقد
		DESCRIPTION	وصف المحلق
		DATE DE SOUSCRIPTION	تاريخ الاكتتاب
		CLASSES	النوع
		FRANCHISE	الإعفاء
		DUREE DU CONTRAT	مدة العقد
		DATE D'EXPIRATION	تاريخ الانقضاء
		HAZARD	المادة
		DELEGATION	الولاية
		COMMUNICATIVE	المتعدية
		HAZARD	المادة
<p><b>A - Dénomination de l'exploitation :</b> ..... : تعريف الضميمة :</p> <p><b>Situation de l'exploitation :</b> ..... : مكانها :</p> <p><b>Désignation des propriétés limitrophes :</b> ..... : بيان الضمعات المجاورة لها :</p> <p><b>Routes et chemins qui y conduisent :</b> ..... : الطرق والمسالك المؤدية إليها :</p>			
<p>Lorsque l'assurance est demandée pour une nature de culture (blé tendre, blé dur, orge, raisin, olives, etc ...) toutes les parcelles contenant cette culture doivent obligatoirement être déclarées.</p> <p>يتمن حينها التصريح بجميع القطع لنوع المزروعات المؤمنة (قمح لين - قمح صلب - شجر - زيتون - الخ)</p> <p>و على متتم الضمان أن يبين بالجدول الصيغ المطلوب تأمينها بحسب القطع ونوع المزروعات وفي صورة اختلاف المبرود من قلمة إلى أخرى، ويتمن تقسيمها بحسب عدد المبرود المتووقع ويحمل عندئذ على أنه مبرج بجميع صابته كما ذكر، باعتبار أن تلك الصاية كالثة بالمكان المبرج به وأنها ليست مضمونة لدى مؤسسة تأمين أخرى، ولم يلحق بها ضرر حجر البرد إلى تاريخ هذا الاكتتاب.</p> <p>إني أعلن عن قبولي لهذا التأمين بمصتي (1)</p> <p>Je déclare accepter cette assurance en qualité de (1) ..... ملقب الجدول المفضل، وأني اطلعت على صريح الشروط العامة بالمقد الموافق عليه من طرف وزارة المالية تحت عدد 007/6-1 بتاريخ 09 فيفري 2000.</p> <p>فعلت بـ ..... هي ..... في .....          للمفعول بدايته          بطاقة تعريف عدد : .....          Le sociétaire المشترك</p> <p>(1) Propriétaire - Locataire - Métayer - etc...          (1) ملاك - مكر - مئارس - الخ...</p>			

Figure 141. Formulaire d'assurance contre la grêle (source : CTAMA)



La garantie s'exerce chaque année sur les récoltes soumises à l'assurance et dont la durée est fixée selon :

- les dates limites de souscription, variables selon le type de culture pratiquée (tableau 33).

Type de culture	Dates limites de souscription
- Céréales et légumineuses	- Du 1 <sup>er</sup> janvier au 30 avril
- Vignes	- Du 1 <sup>er</sup> janvier au 31 mai
- Oliviers	- Du 1 <sup>er</sup> mars au 31 juillet
- Agrumes	- Du 1 <sup>er</sup> mai au 31 août
- Pommes et Poires	- Du 1 <sup>er</sup> janvier au 31 avril
- Melons, Pastèques et Tomates	- Du 15 mars au 15 mai

Tableau 33. Dates limites de souscription à l'assurance-grêle (source : COMAR).

- et les dates de cessation de la garantie fixées généralement après les récoltes des différentes cultures (tableau 34).

Type de culture	Dates de cessation de la garantie
- Orge, avoine, triticale et légumineuses	- 30 juin
- Blé dur et tendre	- 31 juillet
- Vignes	- 15 octobre
- Oliviers	- 28 ou 29 février <sup>66</sup>
- Agrumes	- 31 janvier
- Pommes et Poires	- 30 septembre
- Melons, Pastèques et Tomates	- 15 août

Tableau 34. Dates de cessation de la garantie relative à l'assurance-grêle (source : COMAR).

### 3.2. Conditions générales des contrats

Les conditions générales fixent les obligations des deux parties du contrat d'assurance-grêle, à savoir le souscripteur ou l'assuré et l'assureur.

<sup>66</sup> Le 28 février de l'année qui suit directement celle de la souscription.

### 3.2.1. Obligations de l'assuré

Les obligations de l'assuré comportent le paiement des primes de l'assurance ainsi que la déclaration du sinistre.

- Paiement des primes : Les primes sont payables au siège social de l'assurance ou l'agence indiquée au contrat ou tout lieu convenu conformément à l'arrêté du *Ministère des Finances* (article 6 du code des assurances). A défaut de paiement à l'échéance de l'une des primes, la garantie peut être suspendue mais l'assureur doit prendre, après des délais bien déterminés, les dispositions pour suspendre le contrat ou même le résilier. Toutes les taxes établis sur la prime sont à la charge du souscripteur.

- Déclaration du sinistre : Après une chute de grêle ayant détruit plus de 10% de la récolte dans une parcelle, l'assuré doit déclarer le sinistre à la société dans les cinq jours à compter de la date de la manifestation du phénomène. Dans sa déclaration, l'assuré doit indiquer notamment la date et l'heure du sinistre, le détail de toutes les parcelles sinistrées ou non, dans lesquelles il a un intérêt quelconque ainsi que la date approximative à laquelle la récolte devait avoir lieu. Tout fait nouveau de grêle exige une nouvelle déclaration dans les mêmes conditions que la première. L'assuré est tenu, aussi, après une chute de grêle et jusqu'à l'expertise définitive, de donner aux récoltes sinistrées les soins habituels de culture et de veiller à leur conservation. Enfin, au cours des opérations d'expertise, l'assuré doit fournir tous les documents qu'il possède sur ses diverses cultures sinistrées, ainsi que les renseignements nécessaires pour l'accomplissement de la mission des experts.

### 3.2.2. Obligations de l'assureur

L'assureur (la société d'assurance) prend à sa charge l'estimation des dommages et le règlement de l'indemnité.

- L'estimation des dommages expertisés : La société se réserve seule le droit de fixer la date de l'estimation des dommages. Elle peut, si elle le juge utile, procéder à un constat provisoire. Si les dommages ne sont pas réglés à l'amiable, ils seront évalués par deux experts respectivement désignés par les parties. Si les deux experts ne sont pas d'accord, ils s'en adjoignent un troisième. En ce cas, les trois experts opèrent en commun et à la majorité des voix. Le procès-verbal doit être clos définitivement avant la récolte des parcelles sinistrées. *Dans leurs évaluations du rendement avant sinistre, les experts doivent tenir compte des quantités perdues par maladie, négligence, mauvais entretien des cultures, par la gelée, le*

*sirocco, les ravages des animaux et des insectes, et en général, de tous les éléments autres que la grêle susceptible de diminuer le rendement de la récolte.*

- Le règlement de l'indemnité : D'abord, ce règlement ne sera pas dû pour les parcelles dont la perte n'excède pas 10%. Ce n'est qu'en cas de sinistre total que l'indemnité sera réglée. Cette indemnité ne dépassera pas, dans tous les cas, un maximum de 85% de sa valeur, sauf convention contraire insérée au contrat et moyennant paiement d'une surprime spéciale. Le règlement de l'indemnité se fait toujours à partir des rapports entre le rendement assuré et le rendement réel. Dans le cas où il surviendrait un nouveau sinistre après un premier règlement, les nouveaux experts seront libres, soit d'annuler la première expertise et d'opérer à nouveau sur l'ensemble des dommages, soit de maintenir les premières constatations et de ne déterminer que le dommage supplémentaire. Dans ce dernier cas, l'indemnité nouvelle ne portera que sur le rendement restant après les sinistres antérieurs. D'une manière générale, l'expertise ne deviendrait définitive qu'après l'enlèvement des récoltes.

### 3.2.3. Conditions particulières du contrat

Ces conditions particulières sont propres à la CTAMA. Elles concernent particulièrement l'assurance des cultures d'agrumes, d'oliviers et des autres arbres fruitiers contre la grêle.

#### 3.2.3.1. L'assurance-grêle des agrumes

L'assurance de ce type de culture contre la grêle est régie par les conditions générales du contrat si elles ne dépassent pas les conditions particulières suivantes :

- la garantie de l'assureur commence à midi du premier jour qui suit celui de la signature du contrat et à midi du premier jour qui celui de la signature du contrat complémentaire pour les années suivantes. La garantie intéresse les fruits de croissance, excepté toute la période de floraison.

- les experts évaluent la perte de quantité causée par l'action mécanique du choc des grêlons, en tenant compte de la perte de qualité (diminution de la valeur commerciale) qui ne dépassera pas, dans tous les cas, 50% pour chaque fruit.

- l'assuré, qui souscrit pendant quelques années, doit demander de l'assureur de préparer, avant les délais indiqués à l'article 8 des conditions générales du contrat, un complément

d'assolement des cultures dont leurs récoltes sont assurées. Sinon elles seront garanties d'une manière spontanée.

- les experts doivent prendre en considération, lors de leur évaluation des dommages, la perte de quantité ou de qualité occasionnée par tout élément autre que la grêle, tel que les maladies, négligence, mauvais entretien des cultures, la gelée, le sirocco, le vent, les ravages des animaux et des insectes...etc.

- Pour chaque parcelle ou partie d'une parcelle subissant des dégâts quantitatifs ou qualitatifs, l'assureur est privé de 15% des taux dommages qui restent à la charge de l'assuré.

- La garantie de l'assureur s'arrête juste après l'assemblage de la récolte.

### 3.2.3.2. L'assurance-grêle des oliviers

L'assurance des oliviers contre la grêle est régie par les conditions générales du contrat si elles ne dépassent pas les conditions particulières suivantes :

- les points 1, 3 et 5 retenus pour l'assurance des agrumes.

- si la récolte réelle est inférieure à la récolte assurée, fautes de quelques calamités atmosphériques autre que la grêle, le souscripteur peut demander de l'assureur, avant les délais fixés, la préparation d'un contrat complémentaire pour réduire le rendement assuré qui ne dépassera pas généralement les 2/3 du frais de souscription, mais avec le droit à l'assureur d'évaluer les dommages.

- pour chaque parcelle ou partie d'une parcelle subissant des dégâts quantitatifs ou qualitatifs, l'assureur est privé de 15% des taux dommages qui restent à la charge de l'assuré.

- la garantie de l'assureur s'arrête chaque année juste après la récolte dans un délai ne dépassant pas le 31 mars. Ce délai peut être prolongé jusqu'au 15 avril, mais avec un contrat complémentaire et un nouveau frais de souscription.

### 3.2.3.3. L'assurance-grêle des arbres fruitiers

L'assurance-grêle des arbres fruitiers est régie presque par les mêmes conditions générales du contrat déjà retenues au niveau du cas d'agrumes ainsi que par les conditions particulières suivantes :

- la garantie de l'assureur commence :

- à midi du 1<sup>er</sup> mars pour les amandiers et les pruniers.
  - à midi du 1<sup>er</sup> avril pour les abricotiers.
  - à midi du 15 avril pour les pêchers, les cerisiers, les pommiers et les poiriers.
  - à midi du 1<sup>er</sup> juillet pour les grenadiers.
- et elle s'arrête juste après les récoltes dans un délai ne dépassant pas :
- le 31 août pour les amandiers, les abricotiers, les pêchers et les cerisiers.
  - le 30 septembre pour les pommiers, les poiriers et les pruniers.
  - le 30 novembre pour les grenadiers.
- pour chaque parcelle ou partie d'une parcelle subissant des dégâts quantitatifs ou qualitatifs, l'assureur est privé de 15% des taux dommages qui restent à la charge de l'assuré.

#### 3.2.4. Exclusions du contrat d'assurance-grêle

D'une manière générale, la compagnie d'assurance ne garantit pas les dommages pouvant être causés à la qualité (dépréciation de la valeur marchande) des récoltes assurées et occasionnées par tout élément autre que la grêle, les parcelles non désignées séparément dans le contrat, les formalités dépassant les délais sauf le cas fortuit ou de force majeure, les récoltes avant l'expertise et sans autorisation préalable de la société d'assurance, les documents inexacts et les déclarations réticentes et enfin les récoltes restant sur pied après leurs délais.

#### 4. Estimation de la franchise

La franchise c'est la part du dommage restant à la charge de l'assuré. Selon la nature du risque, elle peut être fixée en absolu ou en pourcentage suivant les stipulations aux conditions particulières. Cette franchise vise surtout à éviter un trop grand nombre de petits sinistres qui augmentent les frais de gestion pour des sommes assez faibles. Il ne sera rien dû pour les parcelles ou fractions des parcelles dont la perte n'excède pas les 10%.

Lorsque la perte dépassera 10%, l'indemnité qui résultera de l'expertise sera déterminée en tenant compte d'une franchise dont le pourcentage est fixé aux conditions particulières. Cette franchise sera déduite du pourcentage de perte admis par les experts relativement à

chaque parcelle ou fraction d'une parcelle sinistrée. Parfois, des agriculteurs n'ayant pas les moyens de payer des primes élevées ou estimant le risque limité acceptent une franchise élevée (jusqu'au 30%) moyennant une baisse des cotisations. Ce type de contrat est destiné à couvrir les chutes de grêle les plus graves.

## **5. Estimation et évaluation des dégâts**

La quantification des dégâts commence par l'expertise qui établit le taux de perte. Ce taux de perte est une estimation quantitative de la part de récolte détruite qui se traduira par la suite en indemnisation en fonction des conditions du contrat.

### **5.1. La pré-expertise**

La chute de grêle ayant causé des dommages sur une culture quelconque doit être signalée au plus vite à l'assureur. Cette déclaration de l'assuré ne doit pas dépasser un délai maximum de 5 jours à dater de la survenance de l'averse de grêle. Après la transmission des déclarations aux assureurs, ces derniers missionnent des experts qui doivent organiser leurs expertises le plus rapide possible à fin de perdre le moins de temps.

La pré-expertise consiste en un repérage urgent des parcelles touchées. Elle permet une première évaluation des dégâts et aide les experts à mieux organiser leurs tournées d'expertise finale qui auront lieu, généralement, à la récolte en fin de saison agricole.

### **5.2. L'expertise**

L'étape de l'expertise comporte la grande part de savoir-faire empirique. La pratique et l'expérience font toujours les experts les plus compétents. Si la perte est surévaluée, l'assureur (la société) perdra de l'argent ; si les dégâts sont sous-estimés, l'assuré (agriculteur) changera directement la compagnie d'assurance.

L'expert évalue les pertes de quantité par comptage des grains de raisins ou de blé dans les grappes ou les épis. Pour les pertes de qualité, la procédure est beaucoup plus délicate. Des échantillons de fruits sont prélevés dans les parcelles grêlées. Les experts procèdent ensuite au tri par catégories en fonction des normes de qualité internationales (VINET F., 2000) :

- catégorie 1 : fruits indemnes de la grêle ;

- catégorie 2 : fruits possédant de 1 à 2 impacts, peu liégeux dus à la grêle ;
- catégorie 3 : fruits non commercialisables du fait des impacts de grêle (vente à l'industrie pour la transformation...) ;
- catégorie 4 : fruits définitivement perdus.

### **5.3. Les dégâts de la seule la grêle**

Dans leurs évaluations, les experts ne doivent tenir compte que de la perte des quantités et de la baisse de la qualité causées par la grêle. Si la perte des quantités peut être plus ou moins évaluée aisément, la baisse de la qualité du produit par la grêle est très délicate. A ce niveau l'expertise tient toujours compte des facteurs de vulnérabilité conjoncturelle notamment l'état de la plante lors de la chute de grêle et le contexte climatique de l'année. Si par exemple une culture souffrait de la sécheresse au moment de la grêle ou si des maladies l'affectaient déjà, cette culture était rendue plus vulnérable à la grêle. Tout le travail de l'expert consiste donc à distinguer *a posteriori* les effets réels de la grêle de ceux des autres facteurs comme la gelée, la sécheresse, le sirocco, les ravages des animaux et des insectes, les maladies, la négligence, le mauvais entretien...etc. ces facteurs auraient pu endommager la plante au cours de l'année, même en l'absence de la grêle.

De même après les orages de grêle, qui sont accompagnés souvent des pluies torrentielles et des vents forts, seuls les effets de la grêle sont retenus. Des agriculteurs sont parfois déçus par les expertises « grêle » notamment sur les cultures qui souffrent plus des effets néfastes d'autres fléaux naturels que ceux de la grêle.

### **5.4. Le taux de perte**

Après avoir :

- vérifié l'identité des lieux et la parfaite exécution des conditions de l'article 2 des conditions générales d'assurance-grêle ;
- partagé les parcelles de même culture en autant de fractions de rendement et de dommage de grêle uniforme ;
- évalué la superficie de toutes les parcelles grêlées ou non, contenant des cultures de même nature que celles comprise dans le contrat ;

- estimé quel aurait été le rendement en quantité dans les parcelles ou les fractions de parcelles sinistrées, si les produits assurés étaient arrivés à maturité sans avoir été grêlés.

L'expert tend à fixer le taux de perte qui s'exprime théoriquement en pourcentage de 0 à 100%. Un taux de perte de 50% signifie que la grêle a fait perdre à l'agriculteur la moitié de la récolte escomptée. En cas d'une perte totale de la récolte avec un taux de 100%, l'indemnisation est plafonnée à un maximum de 85%. Le reste de 15% est à la charge de l'assuré (agriculteur) sauf convention contraire insérée au contrat et moyennant paiement d'une surprime spéciale. Des pertes supérieures à 100% ne sont pas impossibles puisqu'il arrive qu'une chute de grêle détruise les bourgeons fructifères de l'année suivante. Ces pertes supposées sur la récolte de l'année suivante ne seront pas retenues par les experts. Il se peut, en outre, qu'une parcelle subisse les effets de plusieurs chutes de grêle au cours de la saison agricole, mais c'est le résultat final sur la récolte qui sera pris en compte sans distinguer les effets de tel ou tel orage.

## **6. La tarification**

La tarification s'effectue par application des taux de cotisations aux capitaux assurés. Le taux de cotisation référence est en général celui de la classe 1 des cultures (blé). Les tarifs des classes des cultures<sup>67</sup> sont déterminés à partir de ce taux de référence assorti d'un coefficient multiplicateur. Outre le type de culture, la tarification diffère selon les gouvernorats de tout le pays, les délégations de chaque gouvernorat et même à l'intérieur d'une délégation si les statistiques de l'assureur le permettent (tableau 35). Dans chaque gouvernorat ou délégation..., chaque classe de culture est traduite par un taux de cotisation technique à partir duquel l'assurance est considérée comme pratiquée à perte.

---

<sup>67</sup>Voir tableau n°20 du chapitre 4.

Délégation	Tarification : Classe				
	Classe 1 (blè)	Classe 2 (orge)	Classe 3 (légumes)	Classe 4 (oliviers)	Classe 5 (pommiers et poiriers)
Kasserine	5.79	6.55	7.73	9.33	11.60
Fériana	5.46	6.21	7.36	8.91	11.10
Foussana	5.86	6.61	7.77	9.33	11.61
Jedelyène	6.05	6.76	7.86	9.29	11.00
Sbiba	6.71	7.51	8.83	10.32	12.21
Sbeïtla	6.10	6.89	8.10	9.73	12.09
Elayoun	6.32	7.07	8.22	9.71	11.50
Hassi lefrid	5.81	6.55	7.70	9.26	11.50
Majel bel abbès	5.46	6.21	7.36	8.91	11.09
Hydra	6.32	7.07	8.22	9.71	11.50
Théla	6.32	7.07	8.22	9.71	11.50
<b>Gouvernorat</b>	<b>6.02</b>	<b>6.77</b>	<b>7.94</b>	<b>9.47</b>	<b>11.52</b>

Tableau 35. Tarification agricole du risque-grêle dans le gouvernorat de Kasserine (Centre-ouest) pour la campagne agricole de 2004/2005 (source : CTAMA de Kasserine).

## Conclusion

Le contrat d'assurance-grêle, avec ses obligations et ses indemnités, paraît adapté aux enjeux économiques posés par le risque-grêle et semble l'unique moyen de minimiser le poids des pertes en particulier pour l'agriculteur. Cependant, la réalité est souvent différente. Les sociétés d'assurances évitent généralement les régions les plus exposées à la grêle, et établissent des modes d'indemnisation assurant leurs propres intérêts : en cas de sinistres couverts, ces sociétés ne font que transférer les primes versées par les agriculteurs non sinistrés vers les autres sinistrés. C'est pourquoi les agriculteurs demeurent souvent hésitant à souscrire une assurance-grêle.

A l'origine, l'assurance-grêle à base mutualiste, répondait à des besoins de garantie de revenu pour l'agriculteur sinistré et l'enjeu des chutes de grêle était souvent social.

Cependant, le risque s'est déplacé, cet enjeu devenant économique voire même financier accompagnant ainsi l'évolution récente de la société.

Il convient donc de trouver des systèmes de régulation qui empêchent une prime à la concentration économique. En effet, les agriculteurs ayant des fonds propres peuvent souscrire une assurance. Or l'assurance leur garantit des revenus et sécurise les emprunts. En revanche pour les petits arboriculteurs, l'effet de spirale est inverse car ne pouvant souscrire d'assurance ils sont à la merci d'incidents climatiques pouvant conduire parfois à la faillite si l'arboriculteur est trop endetté.

## **Chapitre 9. Vers de nouveaux modes de gestion durable du risque-grêle : Filets paragrêle, assurance antigrêle active et diversification des cultures ou/et des revenus**

### **Introduction : l'arboriculture, quel besoin et quelle sécurité ?**

La grêle entraîne toujours des pertes quantitatives et qualitatives sur les fruits. Les volumes commercialisables sont réduits et demeurent d'une qualité moyenne inférieure. D'autre part, ces dernières années, les consommateurs devenus de plus en plus attentifs et exigeants veulent des fruits parfaits et sans trace. L'objectif majeur est alors de préserver la récolte en cas de sinistre et donc les activités aval de conditionnement et de commercialisation.

Autrefois, les agriculteurs et les arboriculteurs en particulier se prémunissaient de la grêle en assurant les récoltes. L'agriculteur et surtout l'arboriculteur tendaient à réagir indirectement contre la grêle en assurant les récoltes, mais peu à peu l'augmentation des coûts d'assurance, l'obligation d'être assuré pour obtenir un crédit agricole, le refus de certaines compagnies d'assurer le risque-grêle, la perte systématique des récoltes remboursées mais non remplacées par l'assureur, ou encore la répétition des chutes de grêle plusieurs années de suite sur une même exploitation, tous ces facteurs ont poussé les arboriculteurs à rechercher des moyens antigrêle plus actifs et plus fiables que l'assurance.

Ces dernières décennies, l'apparition des fibres polyoléfiniques a apporté une nouvelle solution : en effet la production des premiers filets de protection a permis de retenir les grêlons afin qu'ils n'attaquent ni n'abîment les plantes ni les fruits. Cependant, la pose des filets sur les vergers est accompagnée de quelques contraintes à plusieurs niveaux.

### **1. Les filets paragrêle**

#### ***1.1. Historique***

Les premières expériences d'emploi de filets ont été réalisées en Italie en 1957 (OSAER A. et al..., 1996). Les nombreuses situations orageuses et la mise en place de larges réseaux d'observation ont abouti à la conception d'un système qui consiste à tendre des bandes de filets sur une infrastructure de type multichapelle. La grêle s'écoule, au fur et à mesure de sa chute, dans l'espace entre les bandes de filets.

A partir de 1975, des arboriculteurs de Styrie (région de Graz au Sud-est de l'Autriche) ont adopté le système de protection antigrêle italien tout en l'adaptant à leurs structures de vergers sous formes de petites parcelles très vallonnées. De même, les agriculteurs français du Limousin (situé au Sud-est de la France) de la région de Manosque ont d'abord choisi d'adopter les systèmes italiens très tendus, ensuite, ils ont évolué vers le système autrichien adapté à des vergers plus hauts.

A partir de 1987, les vergers devenant de plus en plus denses, on a créé des filets moins tendus permettant d'accumuler la grêle. Cette méthode, idéale dans son principe, n'est applicable qu'aux cultures pérennes à forte valeur à l'hectare mais seules les cultures fruitières remplissent, pour l'instant, ces conditions. Elle constitue la solution la plus réaliste pour protéger les fruits contre les impacts de grêle. Cependant, l'opportunité de s'équiper en filets paragrêle pose des questions: quel mode de couverture et quel filet choisir, durant quelle période de l'année et sur quelles parcelles les installer, quelle proportion du verger couvrir, quel coût, comment financer cet équipement et sur quels délais, quelles incidences du filet sur les facteurs climatiques et sur les facteurs de production ?...etc.

### ***1.2. Les modes de couverture par les filets paragrêle***

Les filets, pour être efficaces, doivent être déployés par-dessus la végétation, ce qui nécessite un support plus ou moins important selon le mode de couverture envisagé. Le support peut être une infrastructure lourde et complexe servant à maintenir le filet et permettant de travailler en dessous sans gêne pour les arbres, le matériel, ou le personnel. Mais ce support peut aussi être le végétal lui-même ou son système de palissage légèrement modifié. Dans les deux cas, le filet ne doit pas subir de détérioration avant la chute de grêle et doit surtout assurer la protection tant des fruits que du végétal vis-à-vis des grêlons de toute grosseur.

On peut définir deux grands systèmes de couverture par les filets antigrêle :

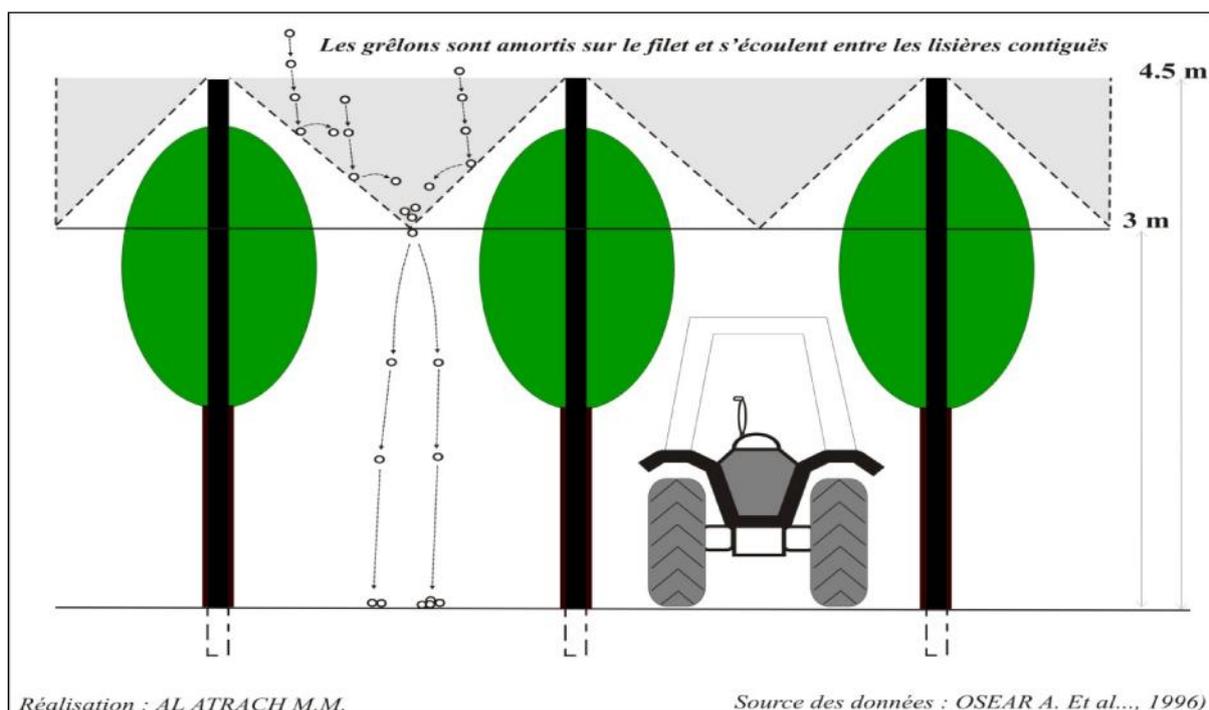
- Systèmes de couverture structurée avec infrastructure spécifique pour couvrir totalement le verger.
- Systèmes de couverture non structurée sans infrastructure spécifique pour couvrir totalement ou partiellement le végétal.

### 1.2.1. La couverture structurée

C'est un système où les filets sont supportés par une infrastructure de poteaux plus hauts que la végétation et reliés entre eux par un réseau de câbles et de fils fixés eux-mêmes à des ancrages solides.

#### 1.2.1.1. Les filets en chapelle : Système italien tendu en forte pente

Le filet est maintenu tendu longitudinalement et transversalement en forte pente. Il ne peut pas flotter sous l'effet du vent. Ce système est basé sur le rebond de la grêle sur les filets et sur son écoulement progressif dans un espace entre deux bandes de filet. Les grêlons sont donc amortis par le filet et glissent le long de la pente pour se déverser ensuite au milieu de l'inter-rang (figure 143). La hauteur de la charpente s'élevant généralement entre 3 et 5 mètres, permet le passage des machines entre les lignes d'arbres pour le traitement ou la récolte.



**Figure 143. Filet en chapelle : Système italien tendu en forte pente.**

Les filets en chapelle sont tenus par une charpente métallique fixée à des poteaux en bois ou en béton. Les filets sont tendus sur la charpente métallique et forment un toit (photo 89). Les grêlons rebondissent et tombent dans l'entre-rang grâce à la pente du filet (photo 90).



**Photo 89.** Filet en chapelle : Système italien tendu en forte pente à Foussana au gouvernorat de Kasserine (cliché : GI Fruits).



**Photo 90.** L'entre-rang des filets en chapelle à Foussana au gouvernorat de Kasserine (cliché : GI Fruits).

Des variantes du système italien en chapelle modifiés consistent à ne pas tendre les filets. Dans ce cas les tubes tendeurs d'extrémité sont supprimés et remplacés par la technique du « nouage » (photos 91, 92 et 93).



**Photo 91. Filet en chapelle modifié avec nouage (vue de face) : Système italien non tendu en forte pente à Jédéliène au gouvernorat de Kasserine (cliché : AL ATRACH M.M. le 02/08/2007).**



**Photo 92. Filet en chapelle modifié avec nouage (vue de profil) : Système italien non tendu en forte pente à Jédéliène au gouvernorat de Kasserine (cliché : AL ATRACH M.M. le 02/08/2007).**



**Figure 93. Filet en chapelle modifié avec nouage pour les jeunes pousses de pommiers à Hammar de la délégation de Sbeïtla au gouvernorat de Kasserine (cliché : AL ATRACH M.M. 02/08/2007).**

Pour conserver une pente importante afin d'assurer l'écoulement continu de la grêle, cette technique oblige à avoir une hauteur de faîtage encore plus importante, donc des poteaux plus hauts (photo 94).



**Photo 94. Hauteur importante des filets en chapelle avec une pente forte assure l'écoulement continu de la grêle ; Ain Khmaissia à Sbiba au gouvernorat de Kasserine (cliché : AL ATRACH M.M. le 02/08/2007).**

Outre la protection contre la grêle, l'installation des filets en système chapelle assure une meilleure conduite des irrigations goutte à goutte (photos 95 et 96).



**Photo 95.** Une meilleure conduite goutte à goutte suite à l'installation du filet en chapelle dans un champ de vignoble à Sidi Ali Saleh au gouvernorat du Kef au Nord-ouest (cliché : AL ATRACH M.M. le 31/07/2007).



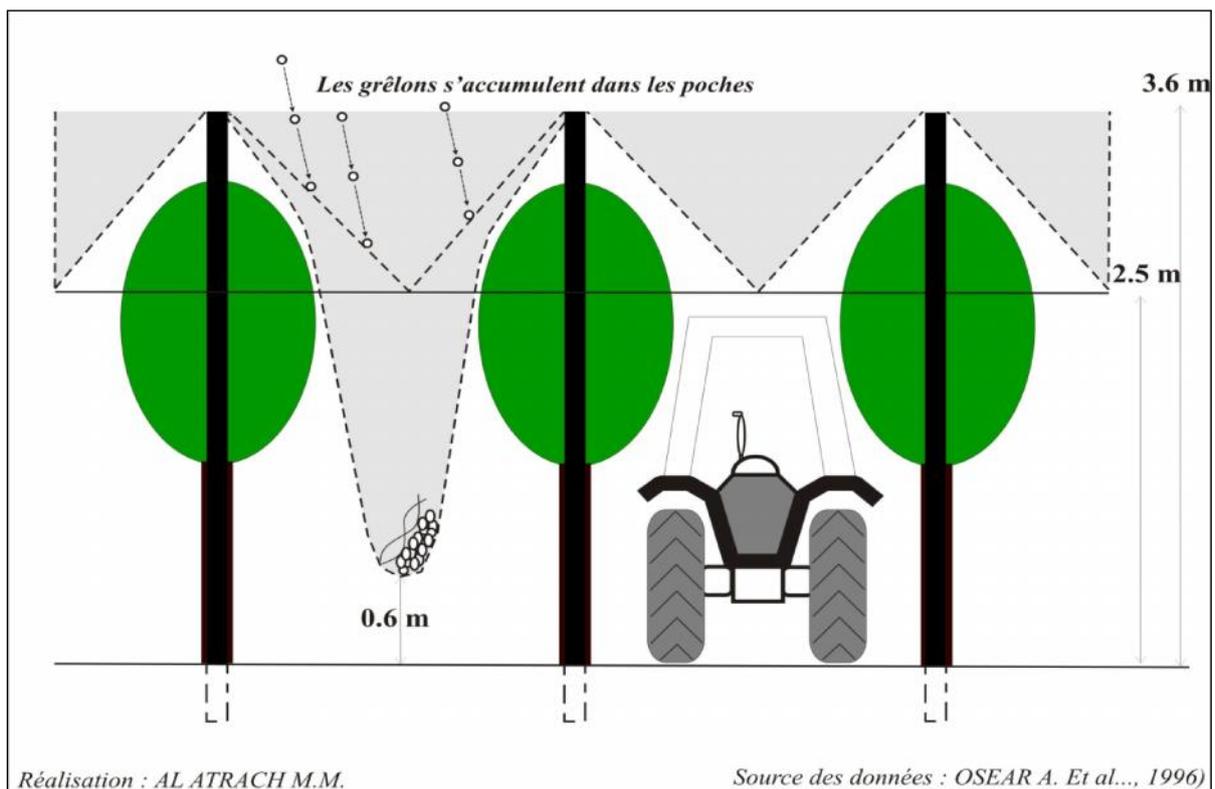
**Photo 96.** Une meilleure conduite goutte à goutte suite à l'installation du filet en chapelle dans un champ de vignoble à Sidi Ali Saleh au gouvernorat du Kef au Nord-ouest (cliché : AL ATRACH M.M. le 31/07/2007).

L'intérêt de la méthode des filets provient de sa grande fiabilité : les fruits sont bien protégés de la grêle mais aussi du vent. De plus, ces filets n'abîment pas l'arbre puisqu'il n'y a pas de point de contact entre l'un et l'autre.

Les filets ont une durée de vie de 7 à 15 ans et la structure peut aller jusqu'à 25 ans si elle a été bien conçue.

#### 1.2.1.2. Les filets en plats : Système autrichien

Les filets en plats sont reliés directement entre eux tous les deux mètres par des plaquettes en bois à griffe sur leurs lisières contiguës. Par conséquent, les filets sont peu tendus et la grêle s'accumule pour former des poches car la hauteur de faîtage a été réduite pour n'obtenir qu'une pente de 20 à 40% seulement (figure 144). Sous le poids de la grêle, le filet s'abaisse dans l'interrang jusqu'à environ 60 centimètres du sol.



**Figure 144. Filet en plat : Système autrichien.**

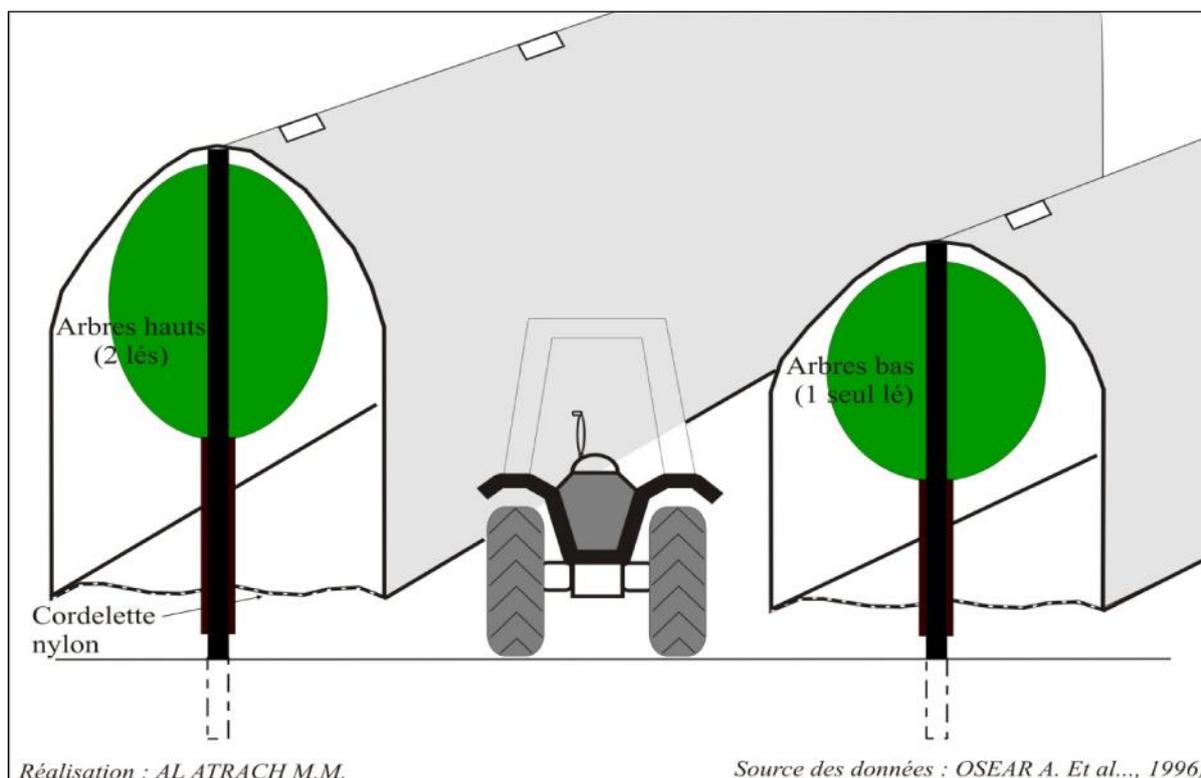
Avec l'expérience, les arboriculteurs autrichiens ont conservé le principe du filet peu tendu en lui donnant un peu plus de pente, de cette façon, le poids de la grêle est supporté par les poteaux intermédiaires. L'infrastructure reste solide et bien ancrée.

### 1.2.2. La couverture peu ou non structurée

Dans ce système, l'infrastructure est légère. C'est le palissage des arbres qui en fait office. Les poteaux sont légèrement plus hauts que ceux d'un palissage ordinaire et plus enfoncés dans le sol. Il n'y a pas de câblerie particulière hormis le fil de faîtage qui peut être ajouté aux fils de palissage.

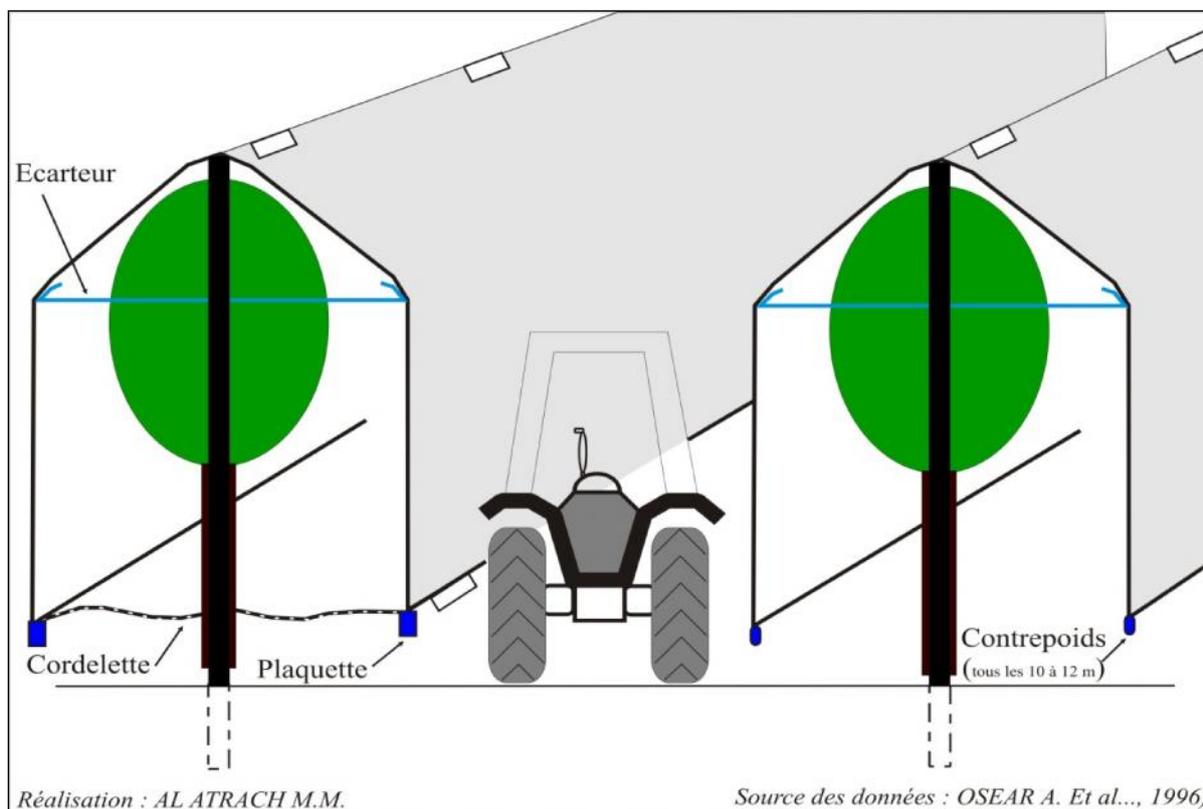
#### 1.2.2.1. Le filet monorang

Le système monorang est déployé par-dessus la végétation et retombe de chaque côté de la rangée d'arbres de telle sorte que les grêlons ne peuvent pas s'accumuler. Le filet est posé sur un fil de faîtage tendu entre les poteaux de palissage. Il forme simplement une sorte de tunnel au-dessus de la ligne d'arbres (figure 145).



**Figure 145. Filet monorang.**

Parfois, pour éviter le frottement des filets sur les fruits en périphérie de la rangée d'arbres et pour limiter le passage des rameaux à travers les mailles, on peut fixer des écarteurs qui permettent au filet de prendre le long de la végétation (figure 146).



**Figure 146. Filet monorang avec écarteurs.**

#### 1.2.2.2. La couverture directe sans infrastructure spécifique

La couverture directe par le filet est déployée directement sur la végétation sans supports particuliers. C'est donc la végétation qui supporte les bandes de filets où se forment des poches de grêle. On suppose que les arbres à protéger sont très vigoureux et suffisamment développés pour pouvoir disposer les filets en couverture totale.

Au cours du relevé de terrain, ce type d'installation est spécifique des pommiers de la région de Sbiba au Centre-ouest où la moyenne d'âge des arbres dépassent les 30 ans. Ainsi, les arbres peuvent suffire, à maintenir les filets (pose directe) ou bien on peut se servir du haut de palissage pour tendre des cordelettes en nylon en travers des interrangs (photos 97). Les lisières contiguës sont reliées entre elles à l'aplomb du centre de l'interrang et attachées aux troncs. Il est nécessaire d'empêcher les filets de se soulever sous l'effet du vent.

Le système de la pose directe des filets paragrêle, ainsi que celui du filet monorang, demande des vergers assez larges et des distances adéquates entre les lignes d'arbres pour assurer le passage des engins, avec un système de taille adaptée (photo 98)



**Photo 97.** Filets attachés aux troncs des pommiers à Sbiba au gouvernorat de Kasserine (cliché : AL ATRACH M.M. le 08/08/2010).



**Photo 98.** Distance adéquate entre les lignes des pommiers couverts par les filets paragrêle à Sbiba au gouvernorat de Kasserine (cliché : AL ATRACH M.M. le 08/08/2010).

Il est préférable de donner une pente aux bandes de filets de façon à recueillir la plus grande quantité de fruits possible, tombés violemment à cause des averses de grêle ou même à cause du vent dans les poches qui se forment entre les arbres (photo 99).



Photo 99. Des poches se forment entre les arbres de pommiers couverts par les filets paragrêle à Sbiba au gouvernorat de Kasserine (cliché : AL ATRACH M.M. le 08/08/2010).

### *1.3. Contraintes*

#### *1.3.1. Coût d'installation*

L'installation de ces filets est très coûteuse surtout pour les petits exploitants à moindre revenus qui représentent la majorité des agriculteurs en Tunisie. La couverture en filet paragrêle d'un hectare de terre agricole coûte en moyenne 18 000 DT (tableau 36). Or, les revenus d'une bonne année agricole ne dépassent pas 9 000 DT pour un petit agriculteur. En outre, l'endettement empêche l'agriculteur d'accéder à ce type de protection.

#### *1.3.2. Déroulage et repliage.*

La date d'ouverture des filets paragrêle qui s'effectue généralement au mois d'avril, se matérialise en fonction du contexte météorologique du printemps. Si le verger, pratique la lutte antigel par aspersion, les filets ne peuvent être ouverts avant que le risque-gel ait disparu. Il est à noter aussi que cette opération se fait après la pollinisation.

Type	Système de couverture	Profil	Coût d'un hectare	Durée	Avantages	Inconvénients
<b>Filets structurés</b>	En chapelle : italien tendu en forte pente		20000 à 30000 DT	15 à 20 ans	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solide</li> <li>- Efficace</li> <li>- Fiable</li> <li>- Durable</li> </ul>	Coût d'installation très élevés
	En chapelle : italien non tendu		15000 à 20000 DT	10 à 15 ans		
	En plats : autrichien peu tendu		10000 à 15000 DT	10 à 15 ans		
<b>Filets peu structurés</b>	Monorang		5000 à 10000 DT	?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plus simple (déroulage et repliage rapides)</li> <li>- Moins coûteux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Moins bonne protection.</li> <li>- Frottement sur les fruits qui les abîme.</li> <li>- Gène des applications des produits phytosanitaires.</li> </ul>
<b>Filets non structurés</b>	Pose directe		4000 à 6000 DT	1 à 5 ans		

Tableau 36. Coûts approximatifs d'installation des différents types des filets paragrêle en Tunisie (source diverses).

Pour le repliage, il sera réalisé généralement après la récolte et dans tous les cas ça se fait en automne vers la fin du mois d'octobre avant les vents et les tempêtes, deux phénomènes météorologiques susceptibles de dégrader fortement les filets. Par contre, pour le cas des filets monorangs, le repliage se fait manuellement dès la récolte. Pour le déroulage et le repliage, il faut compter 30 à 50 heures de main d'œuvre par hectare et par an.

#### 1.4. Incidences des filets antigrêle sur les facteurs climatiques

La protection grâce aux filets entraîne une modification du microclimat du verger. Des essais en Italie, en Suisse, en Autriche et en France, ont été menés pour déterminer d'éventuels effets sur la qualité des fruits ainsi que sur la présence des principaux champignons pathogènes ravageurs. Le principe consiste à avoir deux matériels étalonnés, l'un disposé sous le filet et l'autre hors-filet.

##### 1.4.1. Température

Les expériences étrangères<sup>69</sup> (OSAER A. et al., 1996) montrent que les écarts enregistrés au niveau de la cime des arbres ne dépassent jamais les +1,5°C. Cependant, ces écarts s'accroissent dans les vallées et les régions venteuses où il y a davantage d'échanges de masse d'air. Des suivis de mesures portant sur les températures maximales en période plutôt chaude (en été au cours des mois de juillet et d'août) et sur les températures minimales (au printemps durant le mois de mai), montrent des courbes sans différence particulière selon le système de couverture (en chapelle, en plat ou monorang), la nature (tissé, tricoté ou extrudé) ou la couleur (cristal, vert ou noir) des filets antigrêle (figure 147).

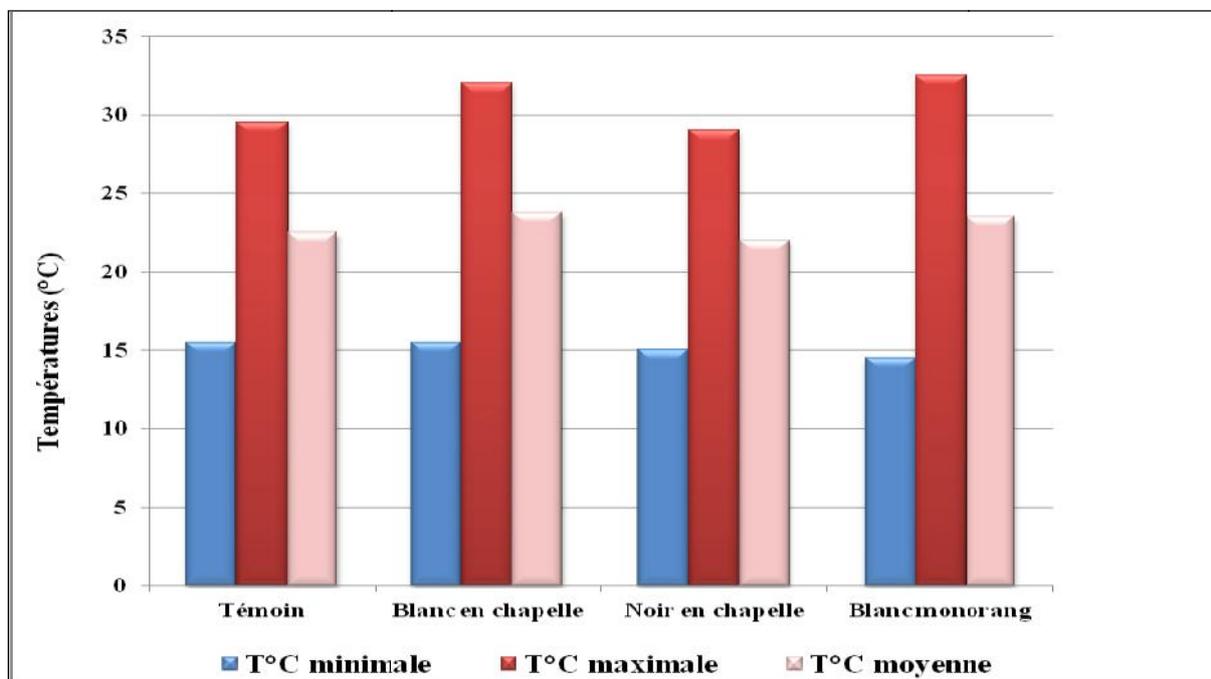


Figure 147. Relevés des températures sous et hors filet du 27/07 au 02/09/1996 dans un verger de pommiers à Nîmes dans le Sud de la France (OSAER A. et al., 1996).

<sup>69</sup> Les expériences ont été effectuées dans la station de la Morinière à Montesquieu dans le Sud-ouest de la France ainsi qu'à Balandran à Nîmes plus au Sud en 1996.

Il ressort de ces mesures que les filets ont dans leur ensemble, peu d'influence sur les températures : des écarts maximum de +0,5°C à +0,8°C pendant les périodes chaudes. En période plus tempérée, les températures sont tout à fait semblables.

#### *1.4.2. L'évapotranspiration (ETP)*

Pour les mesures d'ETP, les évaporomètres de Piche montrent une nette différence d'évaporation sous et hors filet blanc (OSAER A. et al., 1996). Les jours de vent, en l'absence de filet, les différences peuvent atteindre 18% avec un surcroît de 10.9% d'évaporation en moyenne pendant le mois de juillet 2001.

#### *1.4.3. Protection contre le gel*

Des essais italiens (OSAER A. et al., 1996) ont montré que dans certaines conditions, les filets offrent une protection contre les gelées. Le givre formé sur les filets fait de ces derniers un véritable « toit » sous lequel la température peut être supérieure de +0,5 à +0,8°C. Si l'on fait le choix de tendre les filets avant même la floraison (mois du mars) en particulier dans les régions à risque, on doit prendre en compte que cela gênera l'accès des abeilles pour la pollinisation. Généralement, l'effet antigel du filet ne peut être mis évidence que durant les gels printaniers de faible importance (minimum de 2,5°C). Par contre, pour le cas des gelées plus importantes, la protection contre le gel doit être considérée comme aléatoire. L'aspersion sur frondaison classique, sous filets, constitue une solution performante en particulier pour les systèmes en chapelle (les travaux de l'ARDEPI)<sup>70</sup>.

#### *1.4.4. Humidité relative*

A part la légère augmentation nocturne de l'humidité relative de 2 à 4%<sup>71</sup> sous filet noir, les résultats des mesures effectuées dans la région de Montesquieu au Sud-ouest de la France (OSAER A. et al., 1996) n'ont pas entraîné de modifications significative de l'humidité relative en dessous des filets comparativement à celle hors-filets. Selon les mêmes principes, les courbes illustrent sensiblement les mêmes tendances : leurs écarts demeurent peu importants (figure 148).

---

<sup>70</sup>Réseau de références régionales « antigel » en arboriculture. Les rapports de l'Association régionale pour la maîtrise des irrigations en France des années entre 1998 et 2007.

<sup>71</sup> Selon les périodes de l'année.



Figure 148. Humidité relative hors et sous filet (cristal autrichien) du 30/07 au 31/07/1996 dans un verger de pommiers à La Mornière dans le Sud de la France (OSAER A. et al., 1996).

#### 1.4.5. Rayonnement solaire

La couverture par les filets paragrêle influence sur l'intensité lumineuse entre leur toit et le sol. Le contexte méridional, dans lequel les essais ont été réalisés, bénéficie d'excellentes conditions d'ensoleillement (1500 à 2000 micro E/m<sup>2</sup> 5-1). Dans les zones moins ensoleillées, une réduction de l'intensité lumineuse par les filets peut avoir des conséquences différentes. Il conviendra donc de ne pas extrapoler tous les résultats et observations présentés ici à des vergers plus septentrionaux.

Les tests de transmittance réalisés par le laboratoire de bioclimatologie de l'INRA en Avignon au Sud-est de la France ont démontré que les filets utilisés, tant noirs que blancs, réduisent l'intensité lumineuse transmise à hauteur d'environ 10% pour un filet blanc et à hauteur d'environ 20% pour un noir. Les mesures au milieu du rang des vergers, et sous filet noir, révèlent une perte de 27% d'intensité lumineuse à un mètre du sol. Cette différence est explicable par le chevauchement des filets au-dessus de l'entre-rang.

En France et en Styrie, d'autres résultats sont à signaler : les pertes de rayonnement les plus importantes sont le matin et le soir puisqu'elles s'élèvent à 20% et 34% et les moins

importantes vers midi puisqu'elles n'atteignent que 15 à 16%<sup>72</sup>. Il apparaît toutefois que les pertes de rayonnement varient aussi en fonction de la saison. Elles atteignent leur valeur minimale au moment du solstice d'été et augmentent à l'approche de l'automne (figure 149).

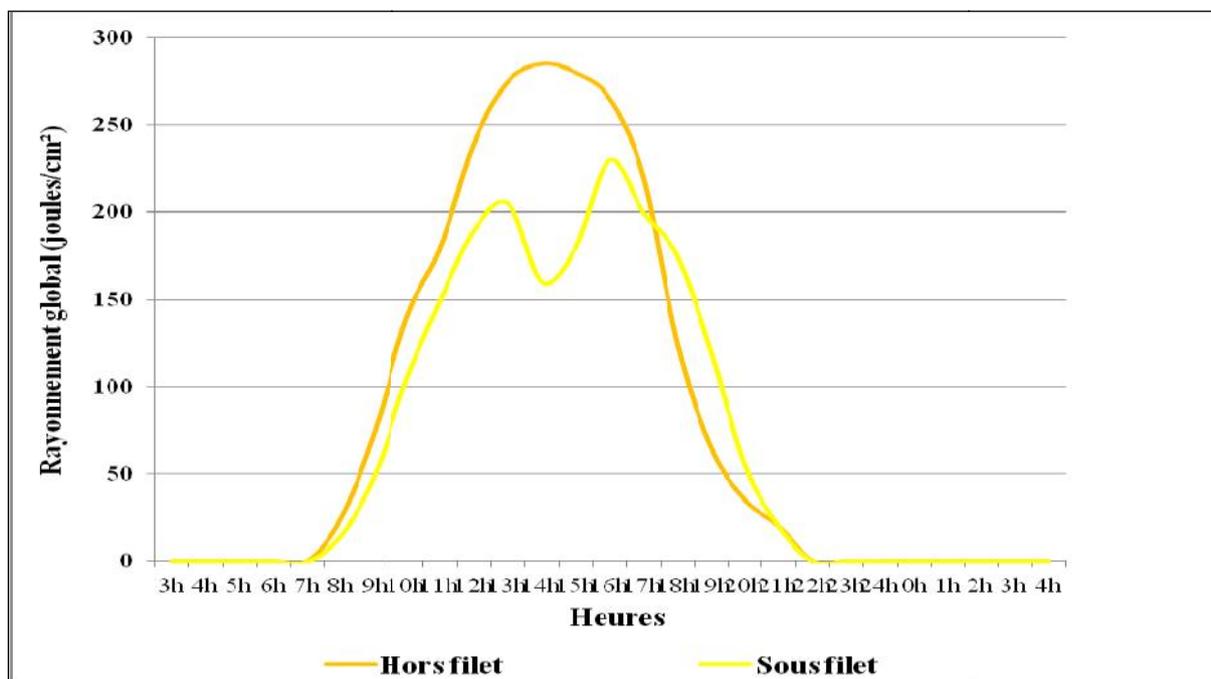


Figure 149. Rayonnement global sous et hors filet (cristal transversal) du 27/07 au 28/07/1996 dans un verger de pommiers à La Mornière dans le Sud de la France (OSAER A. et al., 1996).

D'autres résultats ont été retenus et montrent bien la différence importante de l'absorption du rayonnement solaire selon la couleur des filets et selon le système de protection. Le filet noir absorbe plus de rayonnement que le filet blanc en cristal, et un filet en pente douce absorbe aussi plus de rayonnement qu'un autre à plat. Il est à ajouter que la couverture intégrale en monorang intercepte plus de rayonnement qu'un filet sur la végétation, ceci notamment lorsque l'angle de rayonnement touche les parties retombantes du filet le matin et le soir.

#### 1.4.6. Vent

Le maillage des filets paragrêle contribue sans doute à diminuer les effets du vent. Des essais italiens ont montré un effet « brise-vent » qui peut aller jusqu'à 20% (TRILLOT, 1996). Les pourcentages se rapportent au poids de fruits tombés par rapport au poids de la récolte globale. Des expériences réalisées par le *Centre Interrégional Expérimental Arboricole* (C.I.R.E.A) de France dans plusieurs vergers en 1996 ont montré qu'il existe un effet réel du

<sup>72</sup> Les mesures ont été effectuées à 80 cm sous filet noir (maille 4 x 8 mm) et fil de 0.3 mm de diamètre.

filet sur la réduction du vent (figure 150). A Pugère, station méditerranéenne au Sud-est de la France, il a été observé que le vent sous filet par temps de *Mistral*, est très fortement ralenti. Par contre, des tourbillons peuvent être générés dans le cas de systèmes monorang (OSAER A. et al., 1996).

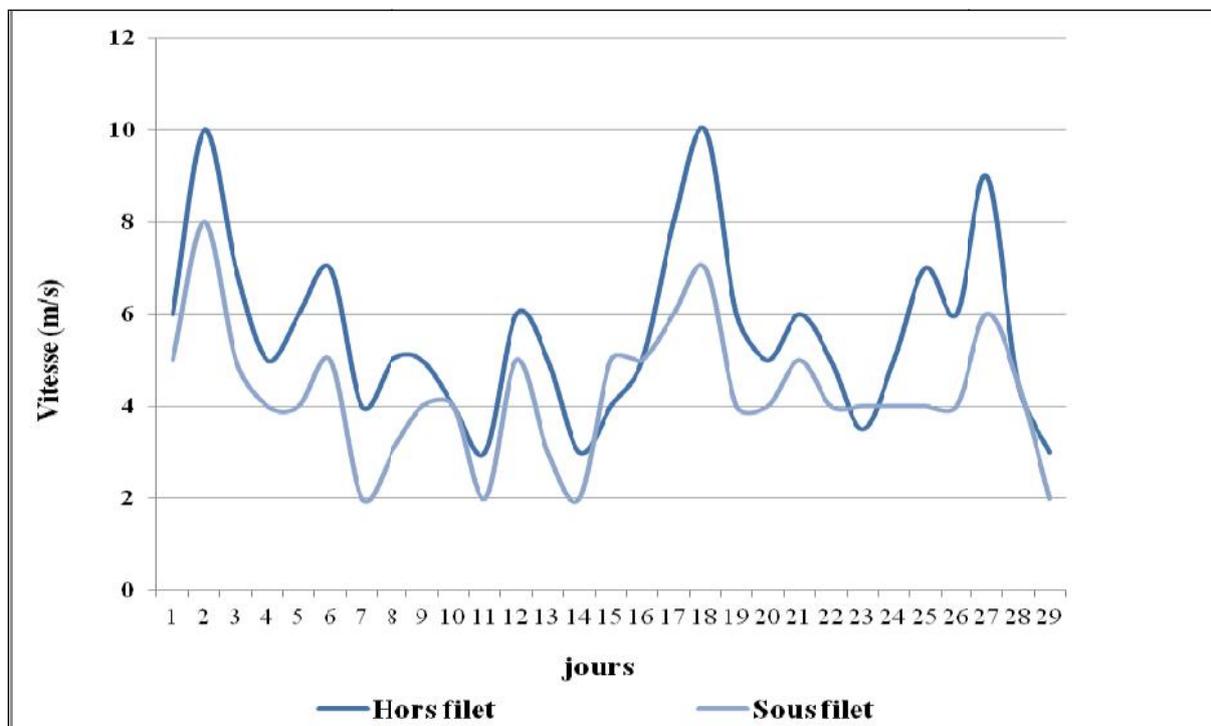


Figure 150. Vitesse maximum du vent sous et hors filet (cristal transversal) au mois de mai 1996 dans un verger de pommiers au CIREA au Sud de la France (OSAER A. et al., 1996).

## 1.5. Autres contraintes

### 1.5.1. Vol des abeilles

Si l'ouverture des filets pendant la période de la floraison minimise le risque des gelées, elle gêne le vol des abeilles et empêche leur accès sous les filets au moins de 50%. Ceci créera des conditions défavorables à la floraison et par conséquent une diminution de la nouaison. Il paraît donc logique, si on veut dérouler les filets pendant la floraison, d'augmenter le nombre de ruches à l'hectare.

Des travaux plus détaillés réalisés dans ce même contexte en 1999 et 2000<sup>73</sup>, ont montré que l'installation du filet paragrêle avait un effet négatif sur le développement des colonies d'abeilles (figure 151) ainsi que sur la surface de couvain dans les ruches (figure 152).

<sup>73</sup> Revue de l'Arboriculture fruitière, n°544, décembre 2000.

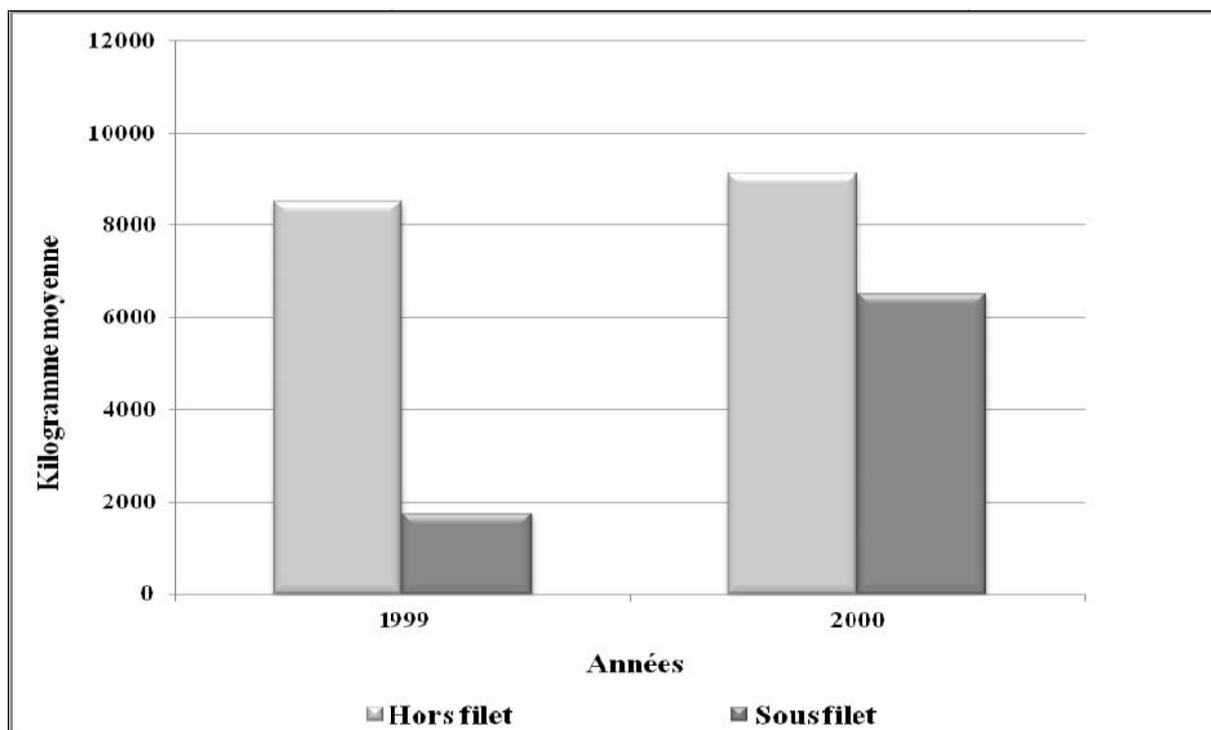


Figure151. Effet des filets paragrêle sur le développement de la population d'abeilles (source : revue «L'arboriculture fruitière » n° 544, mai 2000).

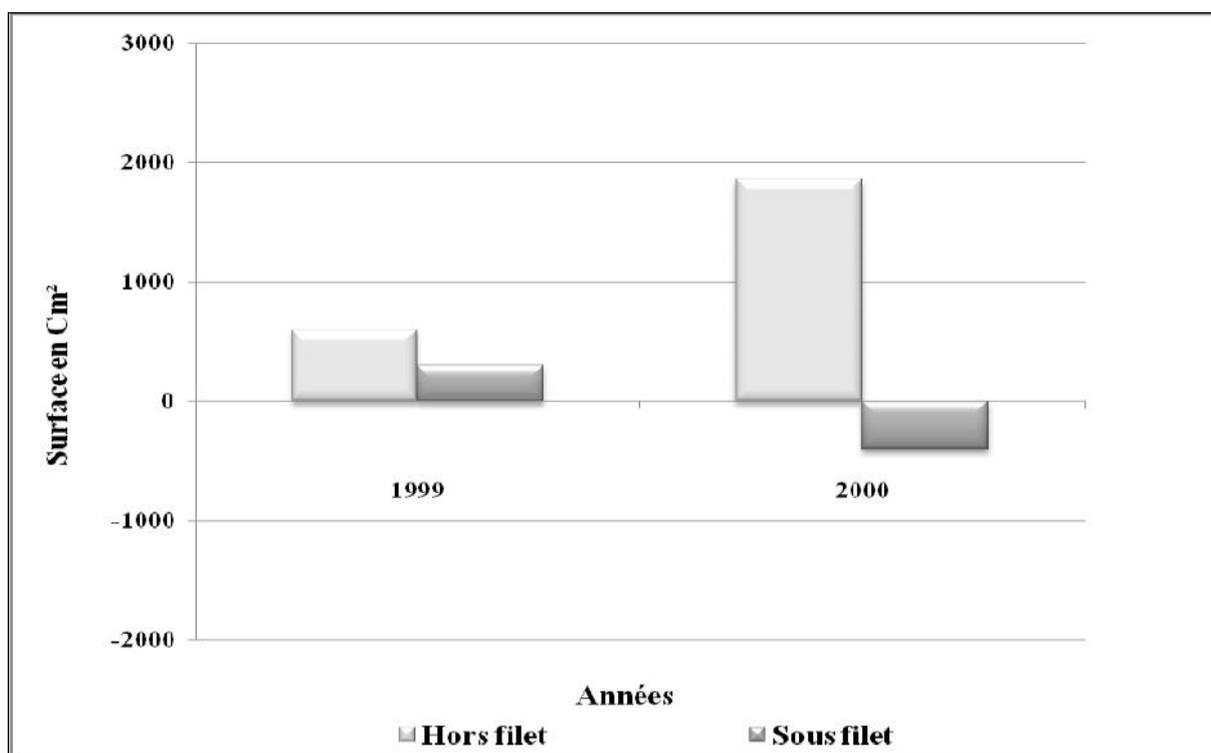


Figure 152. Effet des filets paragrêle sur la surface de couvain (source : revue «L'arboriculture fruitière » n° 544, mai 2000).

### 1.5.2. Facteurs phytosanitaires

La présence des champignons pathogènes est déterminée par les facteurs de température et durée d'humidité des feuilles. Il a été constaté que sous l'effet des filets, la formation de la rosée, une des causes d'humidité des feuilles, est fortement diminuée en haut des arbres, voire même inexistante. En revanche, après une averse de pluie, la durée d'humidité des feuilles est souvent plus longue sous filet. Dans certains cas, les feuilles ne séchaient même pas entre deux averses. Ceci favorise donc théoriquement les infections de champignons pathogènes (OSAER A. et al., 1996).

Pour les maladies cryptogamiques, il convient d'être vigilant sur l'augmentation des durées d'humectation en verger couvert, du fait de la réduction du vent. C'est le cas de la tavelure pour laquelle des aggravations de contamination secondaire sous filet sont parfois signalées (photo 100). En 1999, un développement de *Rot noir* (taches noires dues à *Sphaeropsis mlarum*) à l'approche de la récolte sur *Pink Lady* a mis en évidence un effet négatif marqué des filets tant blancs que noirs (revue "L'Arboriculture fruitière", n°553, octobre 2001). Dans ce même contexte, des parasites comme l'Oïdium et des ravageurs comme les carpocapses, les acariens et les araignées noirs peuvent être générés en présence des filets. Le monorang, par exemple, favorise le développement d'acariens lorsque le végétal commence à devenir dense sous filet (OSAER A. et al., 1996).



**Photo 100. Tavelure sur les pommes (source : CRDA, Kasserine).**

### 1.5.3. Maturité de récolte

Parmi les principaux indices de mesure de la maturité de récolte c'est la coloration des fruits. Sous filets noirs, par exemple, la perte de rayonnement se traduit par une moindre formation d'anthocyanes, responsable de la coloration rouge. Cette influence négative se mesure par la réduction de la surface et de l'intensité de coloration (figure 153). Pour *Mondial Gala* (une variété de pomme), il est noté sous filet une diminution de la coloration et un retard de maturité se traduisant par un début de récolte plus tardif (OSAER A. et al., 1996).

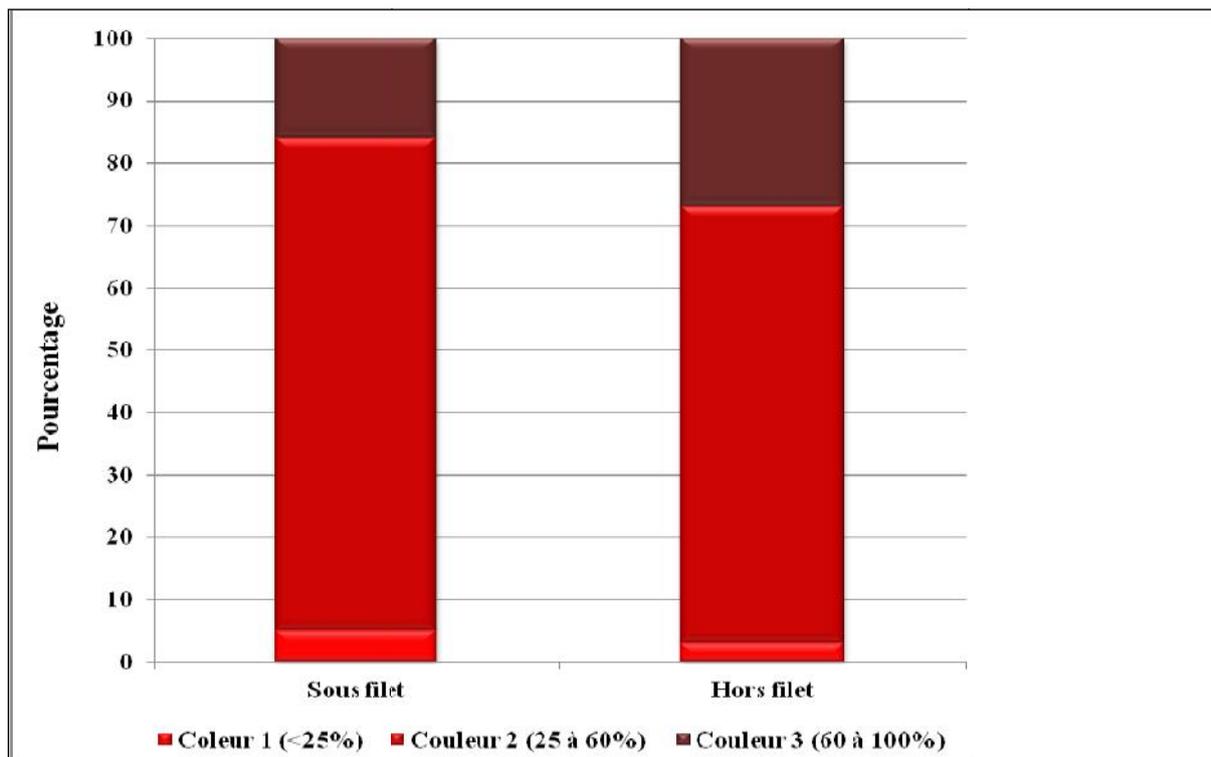


Figure 153. Coloration de *Mondial Gala* sous et hors filet en 1996 dans un verger en Aquitaine au CIREA dans le Sud de la France (OSAER A. et al., 1996).

Comme pour *Mondial Gala*, le décalage de la coloration est confirmé sous filet chez *Golden Delicious* (une autre variété de pomme). Ainsi, l'évolution de la couleur jaune du fond de ce type de fruit semble plus lente dans des vergers couverts, en particulier par des filets noirs (figure 154). Sous filet blanc, le cas est, néanmoins, moins compromis (revue "L'Arboriculture fruitière", n°571, mai 2003).

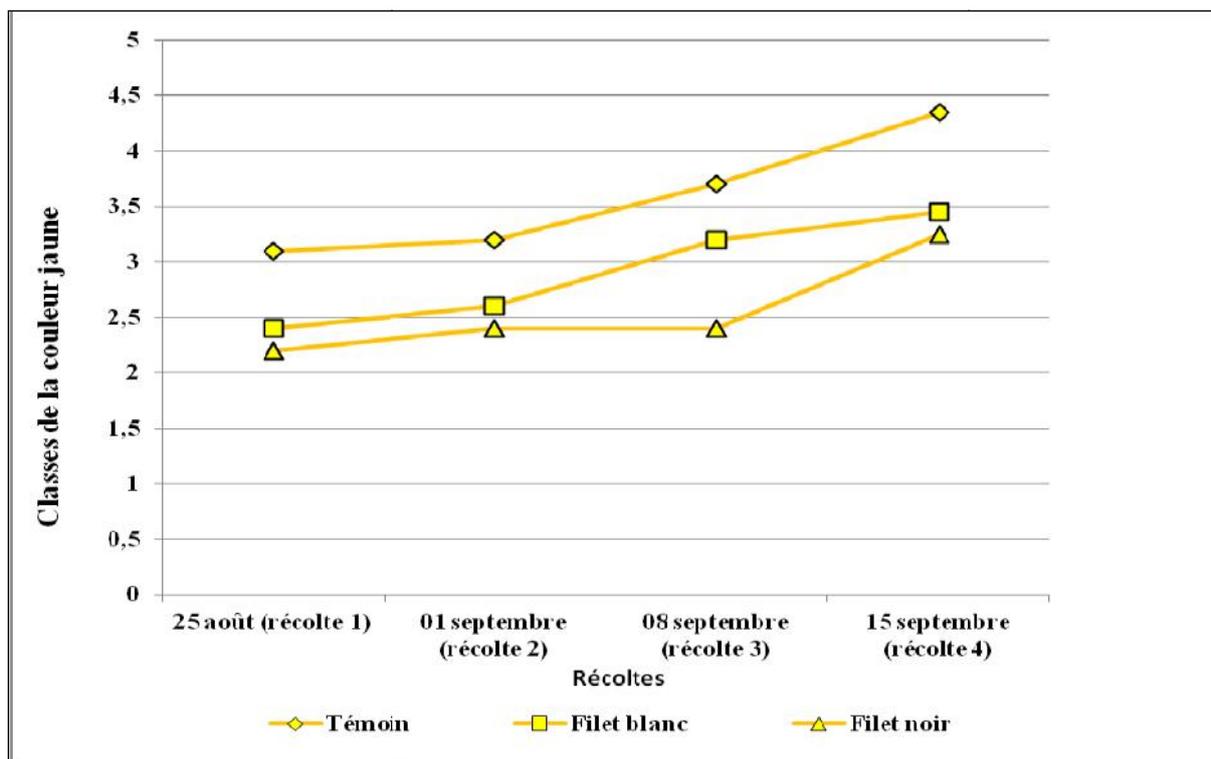


Figure 154. Evolution de la couleur jaune de la pomme Golden Delicious en fonction de la couleur du filet (source : revue «L'arboriculture fruitière » n° 571, mai 2003).

D'autres tests ont été réalisés concernant la mesure de la maturité des fruits, ils permettent d'évaluer la régression de l'amidon et de suivre sa transformation en sucres solubles à l'approche de la maturité. La régression de l'amidon est évaluée en 10 stades : stade 1 = aucune régression, à stade 10 = régression complète. A Nîmes, dans le Sud de la France, les résultats de ce type de test montrent que les différences sont très faibles. Il a été mesuré à l'Amidomètre sur des pommes de variété *Golden Delicious* 7.2 pour le témoin non couvert et 6.9 pour le monorang filet noir tissé (OSAER A. et al., 1996). D'autres essais de suivi de l'évolution de l'Amidon<sup>74</sup> ont été réalisés sur la variété de *Mondial Gala*. Les résultats ont montré un petit retard de maturité de l'ordre de deux à sept jours en fonction de la couleur du filet (figure 155).

<sup>74</sup> D'après la revue de « L'arboriculture fruitière », mai 2003.

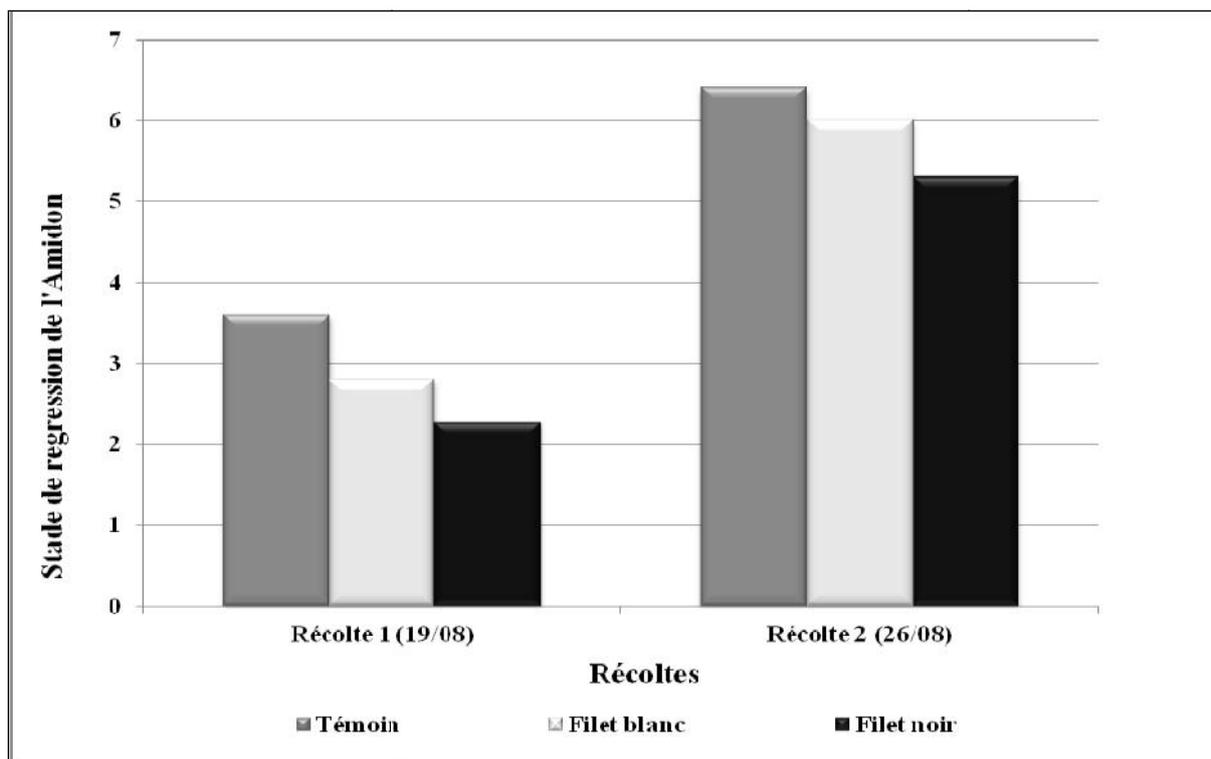


Figure 155. Evolution de l'Amidon dans le fruit de Mondial Gala sous et hors filet (source : revue «L'arboriculture fruitière » n° 571, mai 2003).

Enfin, d'autres indices comme le taux d'acidité (taux d'acide malique/litre de jus du fruit en multipliant par 0.67 le volume de soude versé) et le taux de sucre ou indice réfractométrique<sup>75</sup>, sont à retenir. D'une façon générale, les mesures effectuées à la Morinière dans le Sud-ouest de la France pour une même date de prélèvement des fruits, ont montré une petite différence en faveur des fruits non couverts (OSAER A. et al., 1996).

A la retenue de la maturité de récolte, les fruits moins colorés et moins sucrés sous filets surtout noirs impliquent que la date de récolte doit être retardée.

#### 1.5.4. Facteurs de productivité

Trois facteurs de productivité ont été retenus pour l'examen de l'effet de l'installation des filets par-grêle. Le premier facteur est l'induction florale, qui se prépare chez les arbres fruitiers 8 à 10 mois avant la floraison. Le résultat à la floraison, qui se traduit concrètement par le nombre de boutons floraux et leur qualité, est le reflet des conditions climatiques que l'arbre aura subi durant cette période. Les observations détaillées sur la nouaison des poiriers

<sup>75</sup> Le taux de sucre dans le jus de fruit mesuré avec un Réfractomètre et exprimé en pourcentage de matières sèches solubles

(variété *Passe Carassane*) faites en Italie après 6 ans de pose de filet noir, n'ont pas montré de diminution de rendement ni du poids moyen des fruits (OSAER A. et al., 1996).

Le deuxième facteur de productivité est le rendement. De fait, l'observation effectuée en parcelles de production et ainsi que d'autres essais à la Mornière dans le Sud de la France, font apparaître un effet plutôt favorable des vergers couverts de filets dans la répartition des calibres avec deux variétés de pommes *Royal Gala* et *Golden Delicious* (OSAER A. et al., 1996).

Voyons enfin le suivi de l'amélioration de la qualité de l'épiderme (boisage, coups de soleil, rosissement). Nous avons pu mesurer un certain nombre d'effets du filet monorang et noir sur la qualité de l'épiderme des fruits d'un verger de *Golden Delicious* âgé de 16 ans et planté à 4 m x 1.50 m près de Nîmes au Sud de la France. Ce verger a produit 66% de fruits de 1<sup>er</sup> choix, à hauteur de 58% dans la parcelle témoin, et seulement 21% de fruits marqués par le frottement et à rugosité pédonculaire à hauteur de 60% dans la parcelle non couverte. En outre, les fruits de la parcelle témoin avaient une tendance au jaune doré, rosé, plus marqués. De même, en France, dans le Val de Loire, il a également noté que les fruits de *Golden Delicious* en verger de production, sous filet cristal ont des lenticelles moins apparentes, moins de marque, moins de rugosité et que la couleur d'ensemble du lot est plus homogène (OSAER A. et al., 1996).

D'autres résultats sont recueillis des essais effectués par le CEHM<sup>76</sup> en 1998 et 2000 ainsi que par la PUGERE<sup>77</sup> en 2001 et 2002 pour la plupart de ces critères de la qualité de l'épiderme. La pose des filets sur les pommiers de *Granny-Smith* a donné des résultats favorables et significatifs. Les fruits cueillis sous les filets sont pourvus de lenticelles moins marquées, moins verts (blanchiment), indemnes de gros défauts et sont moins "typés" (figure 156). Prenant le cas des coups de soleil par exemple, les notations de 2001 et 2002 de la Pugère ont montré qu'ils baissent dans un verger couvert de filets par rapport à autre non couvert (figure 157). Cependant, cet effet diffère selon la couleur du filet et c'est ainsi que ces coups de soleil diminuent notablement avec des filets noirs.

---

<sup>76</sup> Centre Expérimental Horticole de Marsillagues au Sud de la France.

<sup>77</sup> La station d'expérimentation la Pugère au Sud-est de la France a comme activités la recherche et les études dans le domaine agricole.

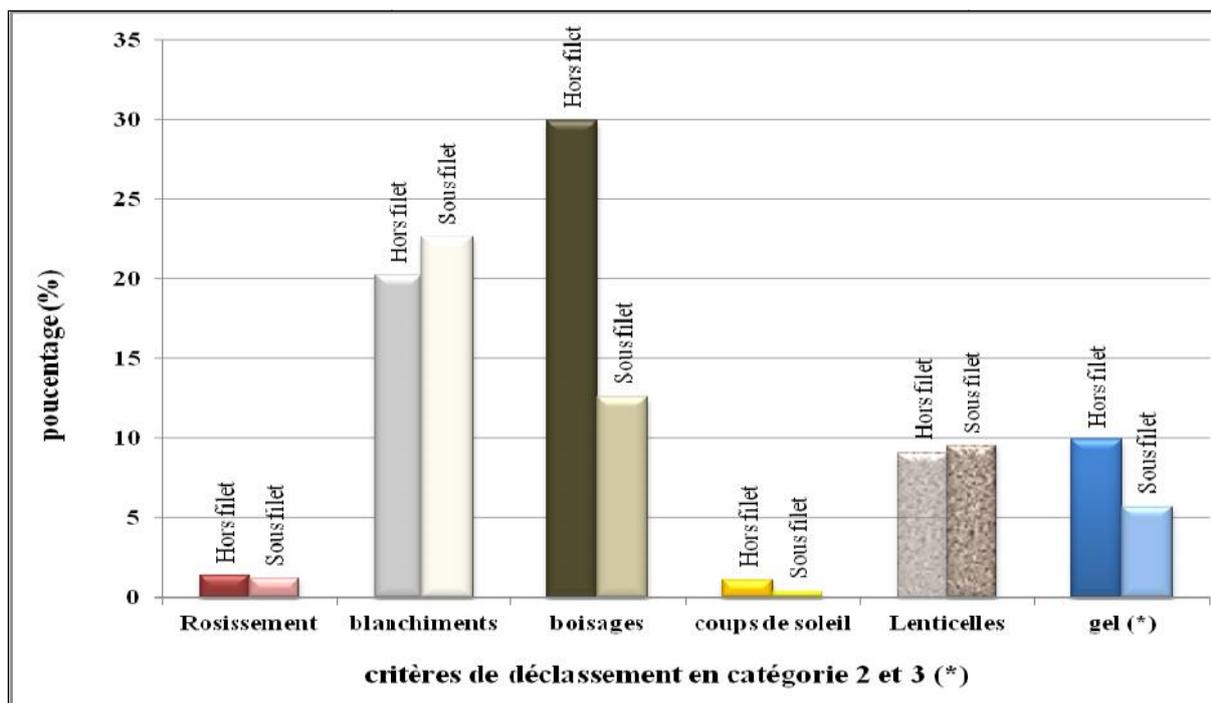


Figure 156. Critères de déclassement en catégorie 2 et 3 de Pink Lady (source : revue «L'arboriculture fruitière » n° 553, octobre 2001).

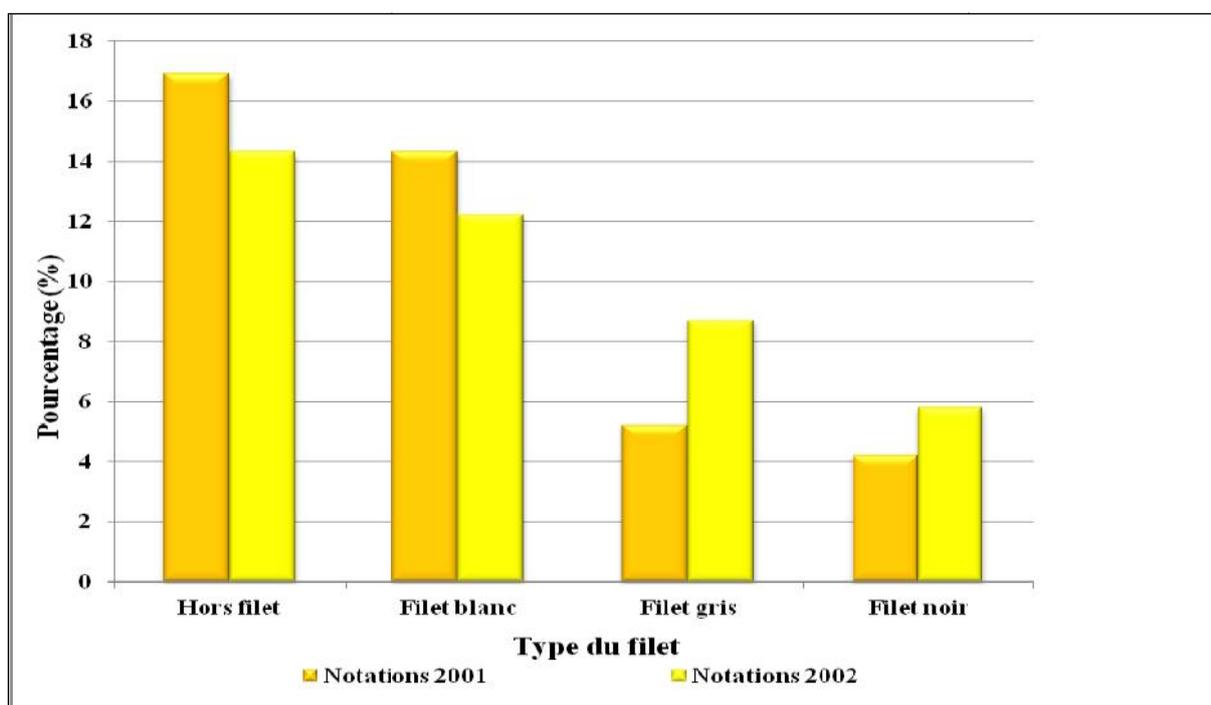
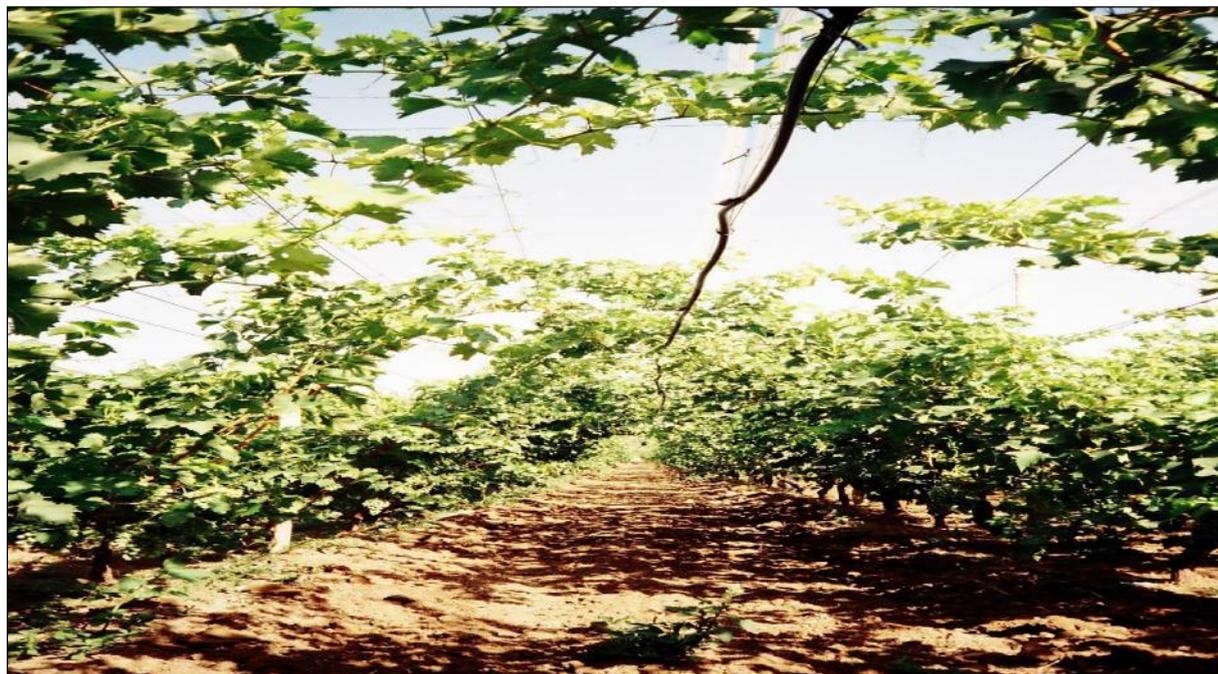


Figure 157. Effet du filet sur les coups de soleil pour le Pink Lady (source : revue «L'arboriculture fruitière » n° 571, mai 2003).

### 1.5.5. Contact filet / végétation

La couverture par les filets paragrêle provoque leur frottement sur la végétation ainsi que les fruits en périphérie de la rangée d'arbres surtout pour les nouvelles pousses de l'année qui

prennent des formes plus ou moins en courbes (photo 101) ou bien passent à travers les mailles (photos 102, 103 et 104).



**Photo 101.** Formes en courbes des rameaux sous l'effet de l'installation du filet dans un champ de vignoble à Sidi Ali Saleh au gouvernorat du Kef au Nord-ouest (cliché : AL ATRACH M.M. le 31/07/2007).



**Photo 102.** Passage des nouvelles pousses de l'année à travers les mailles du filet dans un champ de vignoble à Morneguia au gouvernorat de Ben Arous au Nord-est (cliché : GI Fruits).



**Photo 103.** Passage des nouvelles pousses de l'année à travers les mailles du filet dans un champ de vignoble à Morneguia au gouvernorat de Ben Arous au Nord-est (cliché : GI Fruits).



**Photo 104.** Passage des branches à travers le filet dans un champ de pommiers à Sbiba au gouvernorat de Kasserine (cliché : AL ATRACH M.M.).

Cette contrainte est typique à l'utilisation des filets monorangs, même ceux ayant des écarteurs : en effet, des écarteurs trop espacés et trop flexibles auront tendance à "flécher" et reposer sur la végétation. La pose directe des filets antigrêle sur la végétation cause plus profondément la même contrainte surtout pour les pousses de l'année qui passent à travers les mailles (photo 105).



*Photo 105. Passage des nouvelles pousses de l'année à travers les mailles suite à la pose directe du filet sur les pommiers à Sbiba au gouvernorat de Kasserine (cliché : AL ATRACH M.M. le 08/08/2010).*

## **2. Les filets paragrêle en Tunisie**

### **2.1. Financement**

D'une manière générale, l'installation des filets paragrêle, en Tunisie, dépasse souvent l'échelle de l'agriculteur et de l'exploitation et touchent à certains enjeux de l'économie nationale. Le 10 mars 2003, le décret n°2003-518 détermine un grand projet d'installation des filets préventifs de la grêle et fixe trois catégories de la part relative de l'état (figure 158) :

- Investissement de catégorie « A » : 60%.
- Investissement de catégorie « B » : 50%.
- Investissement de catégorie « C » : 40%, sans que le montant de la prime ne dépasse 7 200 DT/hectare.

<p><b>MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES RESSOURCES HYDRAULIQUES</b></p> <p><b>Décret n° 2003-518 du 10 mars 2003, complétant le décret n° 94-427 du 14 février 1994, portant classification des investissements et fixant les conditions et les modalités d'octroi des encouragements dans les secteurs de l'agriculture et de la pêche.</b></p> <p>Le Président de la République,</p> <p>Sur proposition du ministre de l'agriculture, de l'environnement et des ressources hydrauliques,</p> <p>Vu le code d'incitation aux investissements promulgué par la loi n° 93-120 du 27 décembre 1993, ensemble les textes qui l'ont modifié ou complété et notamment la loi n° 2002-77 du 23 juillet 2002,</p> <p>Vu le décret n° 94-427 du 14 février 1994, portant classification des investissements et fixant les conditions et les modalités d'octroi des encouragements dans le secteur de l'agriculture et de la pêche, ensemble les textes qui l'ont modifié ou complété et notamment le décret n° 2001-2185 du 17 septembre 2001,</p> <p>Vu le décret n° 2001-419 du 13 février 2001, fixant les attributions du ministère de l'agriculture,</p>	<p>Vu l'avis des ministres des finances et du développement et de la coopération internationale,</p> <p>Vu l'avis du tribunal administratif.</p> <p>Décète :</p> <p>Article premier. - Il est ajouté à l'article 12 du décret n°94-427 du 14 février 1994 susvisé ce qui suit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- l'installation des filets préventifs des grêles pour protéger les arbres fruitiers.</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>* investissement de catégorie "A" : 60%</li> <li>* investissement de catégorie "B" : 50%</li> <li>* investissement de catégorie "C" : 40%, sans que le montant de la prime ne dépasse 7200 dinars par hectare.</li> </ul> <p>Et ce, dans les zones relevant des gouvernorats de Bizerte, Manouba, Ben Arous, Nabeul, Béja, Jendouba, Kef, Siliana, Zaghouan, Kairouan, Kasserine, Mahdia, Sidi Bouzid et Gafsa.</p> <p>Art. 2. - Les ministres des finances, du développement et de la coopération internationale et de l'agriculture, de l'environnement et des ressources hydrauliques sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret qui sera publié au Journal Officiel de la République Tunisienne.</p> <p>Tunis, le 10 mars 2003.</p> <p style="text-align: right;"><b>Zine El Abidine Ben Ali</b></p>	
<p>Pour la légalisation de la signature : le président de la municipalité</p>	<p>ISSN.0330.7921</p>	<p>Certifié conforme : le président directeur général de l'I.O.R.T</p>

Figure 158. Décret n° 2003-518 de 10 mars 2003 pour l'installation des filets préventifs de la grêle (source : journal officiel).

Les régions concernées par ce projet sont celles relevant des gouvernorats de Bizerte, Manouba, Ben Arous, Nabeul, Béja, Jendouba, Kef, Siliana et Zaghouan au Nord, de Kairouan, Kasserine, Mahdia, et Sidi Bouzid au Centre, et du gouvernorat de Gafsa au Sud. Dans ce cadre, on présente l'exemple de la région Sidi Ali Saleh au gouvernorat du Kef au Nord-ouest tunisien où 4 hectares de vignobles sont couverts de filets contre la grêle (photos 106 et 107).



**Photo 106.** L'installation des filets paragrêle dans un champ de vignoble financée par l'Etat à Sidi Ali Saleh au gouvernorat du Kef au Nord-ouest (cliché : AL ATRACH M.M. le 31/07/2007).



**Photo 107.** L'installation des filets paragrêle dans un champ de vignoble financée par l'Etat à Sidi Ali Saleh au gouvernorat du Kef au Nord-ouest (cliché : AL ATRACH M.M. le 31/07/2007).

## 2.2. Concentration régionale dans les Hautes steppes tunisiennes.

Malgré les efforts, les superficies concernées par les filets paragrêle n'ont pas dépassé les 46 hectares pour la campagne agricole 2005/2006 et n'ont atteint que les 202,4 hectares pendant la campagne agricole 2009/2010 (tableau 37).

Campagne agricole	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010
Superficie en hectare	46	97	?	197,9	202,4

**Tableau 37. Superficies agricoles concernées par les filets paragrêle entre 2005 et 2010 dans le gouvernorat de Kasserine (source : CRDA Kasserine).**

Ces filets se sont intéressés souvent aux pommiers du gouvernorat du Kasserine, après deux années 2003 et 2005 particulièrement grêlifères en Tunisie, notamment dans la région des Hautes Steppes. Dans ce gouvernorat, les délégations de Sbiba et de Foussana, les deux premiers producteurs de pommes, sont les plus concernées par les filets paragrêle (figure 159). Cela s'explique par l'importance des superficies de pommiers ainsi que par la présence de la grêle, fréquente l'été. La superficie concernée par les filets paragrêle dans ces seules délégations s'élève à presque 85% du total avec 170,9 hectares pendant la campagne agricole 2009/2010. Les pommiers de Sbiba ont toujours l'avantage avec presque 100 hectares couverts en filets paragrêle soit presque la moitié du total des superficies.

## 2.3. Une méthode à la disposition des grands exploitants seulement

Dans le gouvernorat de Kasserine, 202,4 hectares ont été couverts par les filets paragrêle d'un total d'environ de 6000 hectares de pommiers en 2010, soit à peine 3,37%. Il convient aussi d'ajouter que seuls 60 arboriculteurs sont intéressés par ses filets, soit un maximum de 0,66% de l'ensemble des arboriculteurs (9130 pour la campagne agricole 2005/2006). On comprend bien qu'outre cette présence très modeste des filets paragrêle, ils ne sont pas à portée de tous les agriculteurs. En effet, ce sont les grands exploitants qui peuvent acquérir ce type d'installation en particulier ceux qui possèdent d'autres ressources que l'agriculture (tableau 38).

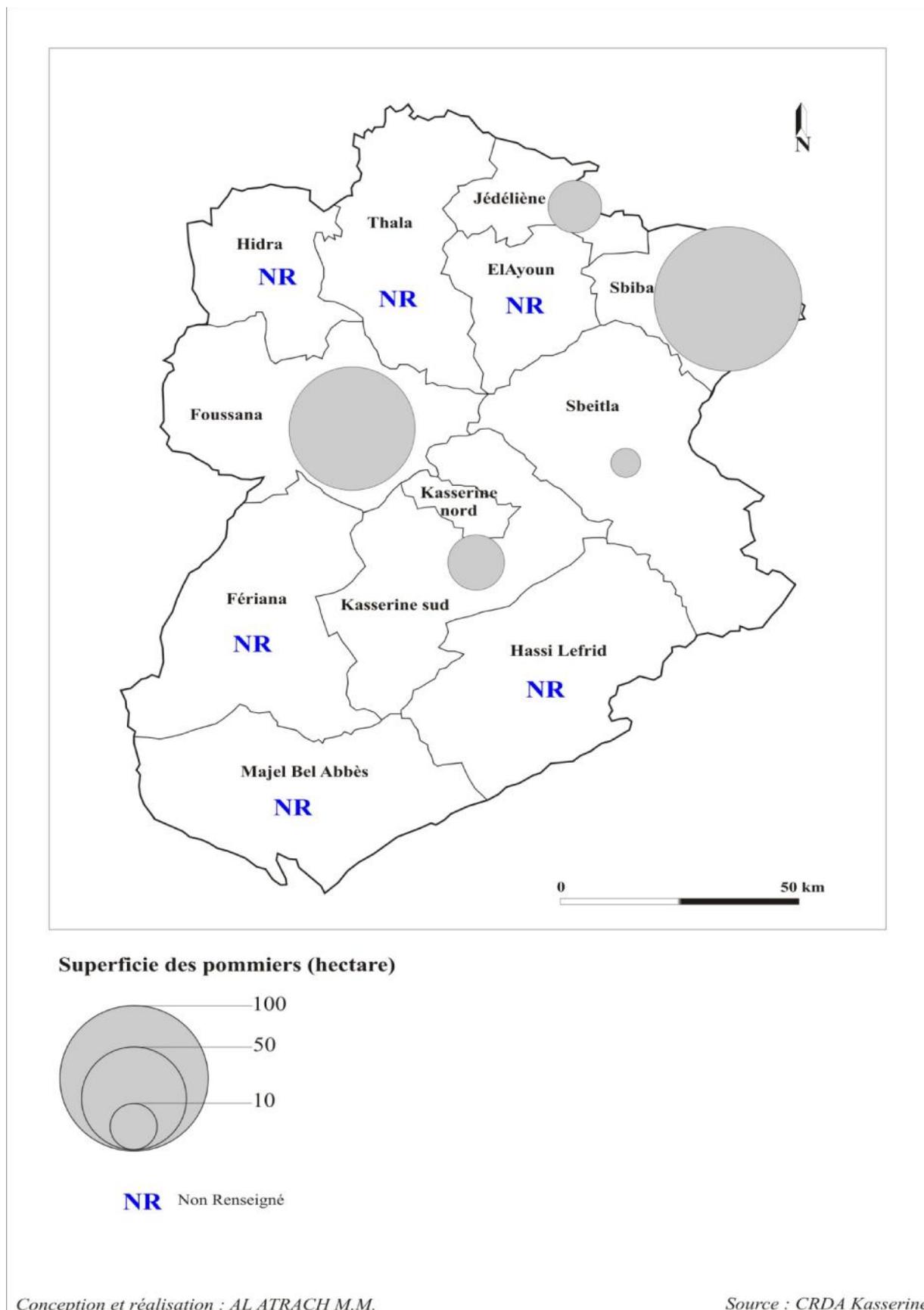


Figure 159. Superficies des pommiers couvertes par les filets préventifs de la grêle au gouvernorat de Kasserine pour la campagne agricole 2009/2010.

Délégation	Nombre d'agriculteurs	Superficies en hectares	Type de filets
Sbiba	29	98,7	70.7 ha en chapelle et 28 ha couverture directe
Foussana	24	72,2	En chapelle
Kasserine Sud	3	14,5	En chapelle
Jédéliène	3	13	En chapelle
Sbeïtla	1	4	En chapelle
<b>TOTAL</b>	<b>60</b>	<b>202,4</b>	-

Tableau 38. Répartition de la couverture en filets paragrêle en 2010 à Kasserine (source : CRDA Kasserine)

Dans la délégation de Sbiba, premier producteur de pommes du pays, les superficies de pommiers couvertes atteignent 98,7 hectares soit presque la moitié du total des superficies concernées par les filets paragrêle, mais seulement 3,95% du total des superficies de pommiers dans cette délégation. Presque 50% des superficies couvertes par les filets (46 hectares) n'appartiennent qu'à 7 agriculteurs, dont un seul a pu accéder au type en chapelle (7 hectares) et le reste est couvert par le système de pose directe. Il est à noter que la délégation de Sbiba est partagée entre trois grandes tribus à savoir *Daoudia*, *Zneidia* et *Khleifia* qui bénéficiaient d'un grand pouvoir dans les conseils locaux et mêmes régionaux. Ce pouvoir leur donnait toujours l'avantage de s'équiper en filets paragrêle, en particulier celui des Daoudia au sud de Sbiba qui présentent la majorité (photo 108).

Dans la délégation de Foussana, deuxième producteur national de pommes après Sbiba, les statistiques déclarent 72,2 hectares de pommiers couverts de filets paragrêle d'un total de 1290 en 2010 soit moins de 5,6%. Lors d'une enquête réalisée auprès des agriculteurs de pommiers de cette région, on a remarqué que 21% des superficies couvertes n'appartiennent qu'à 2 agriculteurs (15 hectares). Or ces derniers possédaient, outre la culture de pommes, d'autres sources de revenus, en l'occurrence le commerce (photo 109).



**Photo 108. Filets en chapelle à Ain Khmaissia à Sbiba dans le gouvernorat de Kasserine (cliché : AL ATRACH M.M. le 02/08/2007).**



**Photo 109. Filet en chapelle à Foussana dans le gouvernorat de Kasserine (cliché : CTAMA).**

Il convient de retenir le cas de la délégation de Jédéliène au Nord du gouvernorat de Kasserine. On n'a décompté, lors de l'enquête, que 13 hectares de pommiers protégés par les filets paragrêle en chapelle sur un total de 380 hectares soit à peine 3.42% (photo 110). 12

hectares appartiennent seulement à 2 agriculteurs qui bénéficient, outre de l'agriculture, d'autres sources de revenus qui proviennent essentiellement de l'étranger (la France).



Photo 110. Filet en chapelle à Jédéliène dans le gouvernorat de Kasserine (cliché : AL ATRACH M.M. le 02/08/2007).

#### ***2.4. Et les petits exploitants ? La méthode de la couverture directe des filets et gestion du problème de coût***

Les petits exploitants, qui présentent la majorité (276 000, soit environ 55% du total des agriculteurs), recourent chaque année aux crédits des banques agricoles pour démarrer la saison. Ils se trouvent, en effet, obligés de s'assurer contre la grêle avec une valeur s'élevant entre 10 et 15% des récoltes.

Ces petits exploitants ne peuvent pas prendre en charge ni l'achat ni l'installation des filets paragrêle, en particulier ceux à infrastructure lourde. En effet, les relevés de terrain effectués auprès de ces petits agriculteurs ont montré que les revenus provenant de l'agriculture ne dépassent pas 8 000 DT par an et par exploitant lors des bonnes saisons.

Par ailleurs, une bonne partie de ces petits exploitants ont davantage confiance en la lutte active contre le risque-grêle qu'en l'assurance. Ainsi ils choisissent le système de couverture des cultures contre la grêle le moins coûteux. Cette méthode est basée sur la pose directe des

filets sur les arbres remplaçant les supports en béton ou en bois des autres systèmes de filets (photos 111 et 112).



**Photo 111. Couverture par la pose directe des filets paragrêle sur les pommiers à Sbiba dans le gouvernorat de Kasserine (cliché : AL ATRACH M.M. le 08/08/2010).**



**Photo 112. Couverture par la pose directe des filets paragrêle sur les pommiers à Sbiba au gouvernorat de Kasserine (cliché : AL ATRACH M.M. le 08/08/2010).**

En Tunisie, la couverture d'un hectare par ce système de pose directe des filets paragrêle coûte entre 4 000 et 6 000 DT. Lors des enquêtes, on a compté 28 hectares couverts par ce

type d'installation, soit environ 14% du total des superficies couvertes. Ils se trouvaient tous dans la délégation de Sbiba dans le gouvernorat de Kasserine et plantés en pommiers à récolte tardive (*Golden Delicious* et *Richared*). La période de la mise en place de ces filets s'étend sur trois mois par ans, généralement du mois de juillet au mois de septembre.

Les arbres à protéger doivent être très vigoureux et suffisamment développés de façon à pouvoir disposer les filets en couverture totale. A Sbiba, la moyenne d'âge des arbres dépasse les 30 ans. Les arbres peuvent suffire, ainsi, à maintenir les filets.

Outre la gestion du coût, la méthode de pose directe des filets paragrêle sur la végétation est très simple. Le déroulage et le repliage sont beaucoup plus rapides qu'avec les autres systèmes à infrastructure lourde. De plus, leur installation ne nécessite pas beaucoup de mains d'œuvre et donc de peu de coût.

### **3. Vers une nouvelle vision de l'assurance-grêle**

#### **3.1. Rapprocher l'assurance-grêle de l'agriculteur**

L'assurance agricole, demeure le parent pauvre du secteur des assurances en Tunisie. Sa participation tombe à 2,78% dans les émissions globales du secteur en 2007 contre les 60% en Europe et en Amérique du Nord. A l'échelle régionale, les statistiques de la CTAMA ont démontré que les agriculteurs du Nord-ouest tunisien sont les plus conscients de l'assurance, viennent ensuite ceux du Centre, et enfin du Sud du pays, et ce pour des raisons climatiques.

Les chiffres rapportent aussi que 70% des agriculteurs non assurés sont touchés par le risque-grêle. 45% des agriculteurs étant obligés de souscrire des contrats d'assurance (pour les crédits bancaires) pensent le faire volontairement. 55% des agriculteurs concluent des contrats d'assurance, car ils constatent que la récolte prévue est bonne et 40% des agriculteurs prévoient la survenance du risque. La CTAMA assure 5% des superficies réservées aux grandes cultures contre le risque-grêle mais seulement 1,9% de la superficie consacrée aux arbres fruitiers. L'assurance du cheptel, qui couvre la mort naturelle ou accidentelle des animaux, donne une valeur de 4% du nombre total des bovins par exemple.

L'UTAP explique la faiblesse des adhésions des agriculteurs à l'assurance agricole par le phénomène du morcellement des terres agricoles qui représente un obstacle de taille pour une catégorie importante de petits agriculteurs : les terres de moins de 10 hectares, surtout de

moins de 5 hectares, représentent en effet 53% du nombre total des exploitations agricoles (tableau 39).

<b>Catégories des terres</b>	<b>Part</b>	<b>Nombre d'exploitants</b>
<b>&gt; de 10 hectares</b>	53%	276 000
<b>de 10 à 20 hectares</b>	20%	102 000
<b>de 20 à 50 hectares</b>	24%	124 000
<b>de 50 à 100 hectares</b>	2%	10 000
<b>&lt; de 100 hectares</b>	1%	4 000
<b>TOTAL</b>	100%	516 000

**Tableau 39. Structure des terres agricoles en 2007 en Tunisie (source : CTAMA).**

Le pourcentage est de 20% pour les agriculteurs exploitant des superficies dépassant les 10 hectares. Cela intéresse en particulier les agriculteurs rattachés au secteur organisé comme les SMVDA (Sociétés de Mise en Valeur et de Développement Agricole), les Agro-combinats, et l'OTD (Office des Terres Domaniales).

Outre ce facteur de morcellement des terres, ces derniers sondages estiment aussi que 60% sont conscients de l'importance de l'assurance agricole mais qu'une bonne partie d'entre eux ne souscrit pas de contrat d'assurance. Le reste des agriculteurs n'est donc pas conscients de l'importance de l'assurance agricole. De même, environ 80% des agriculteurs assurés recourent à l'assurance uniquement pour bénéficier de crédits bancaires ou de subventions de l'Etat.

### **3.2. L'assurance multirisque agricole**

L'assurance multirisque agricole regroupe en un seul contrat d'assurance la plupart des garanties utiles. Elle couvre les dommages causés à l'ensemble de l'exploitation, c'est-à-dire aux bâtiments désignés dans le contrat d'assurance, y compris ceux à usage d'habitation, à

leur contenu (mobilier, matériel agricole...etc.), aux marchandises, aux animaux et aux récoltes. Certains de ces biens sont également garantis s'ils se trouvent hors des bâtiments ou de la propriété, à l'occasion de déplacements pour les besoins de l'exploitation ou en cas d'entraide agricole.

Les événements pris en charge par le contrat d'assurance multirisques agricole sont l'incendie, l'explosion, la chute de la foudre, la tempête, la grêle, le poids de la neige sur les toitures, le dégât des eaux, le vol, le bris des glaces, les catastrophes naturelles (inondations, tremblements de terre, avalanches...etc.).

L'assurance multirisque agricole garantit aussi les responsabilités civiles (agricoles et familiales). En effet, en raison des relations étroites qui existent entre les activités professionnelles et les activités privées, il vaut mieux assurer les deux types de responsabilité par le même contrat d'assurance.

Des garanties complémentaires optionnelles peuvent être incluses dans le contrat d'assurance multirisque agricole, à savoir :

- les dommages causés aux récoltes des voisins au cours ou à l'occasion d'opérations de traitement chimique effectuées sur vos propres plantations, cultures ou récoltes (dissémination accidentelle par le vent sur les plantations des voisins) ;
- les dommages (par exemple intoxications alimentaires) causés à des consommateurs par les productions que vous vendez sur un marché ou à la ferme (garantie de responsabilité « produits livrés ») ;
- les dommages de pollutions accidentelles tels que la rupture d'une cuve remplie d'engrais liquide qui se déverse dans une rivière et intoxique les poissons. La société d'assurances indemnise la société de pêche et de pisciculture à votre place. Cette garantie ne prend en charge que la pollution accidentelle concomitante à l'événement soudain et imprévu et non pas celle qui serait la conséquence de négligences régulières (par exemple, des déversements quotidiens de lactose dans une rivière) ou qui se réalise de façon lente et progressive ;
- les dommages résultant des activités de diversification agricole (chambres d'hôtes, camping à la ferme...).

Le contrat d'assurance multirisque agricole peut aussi annexer la garantie de protection juridique, qui prend en charge les frais engagés pour défendre devant les tribunaux ou obtenir

d'un responsable la réparation de dommages. Un contrat d'assurance de protection juridique séparé peut être souscrit si les garanties sont plus étendues.

Par ailleurs, le contrat d'assurance multirisque agricole ne couvre pas certains risques pour lesquels il est nécessaire de souscrire des contrats d'assurance spécifiques. Il s'agit :

- des dommages causés aux récoltes du fait de la grêle, de la tempête ou d'autres aléas climatiques ;
- des désordres de construction de bâtiments neufs ou réhabilités (assurance dommages ouvrage obligatoire) ;
- de responsabilité du fait des véhicules terrestres à moteur. Cette assurance obligatoire doit faire l'objet d'un contrat d'assurance séparé (contrat automobile). En revanche, certaines assurances multirisques agricoles comprennent une garantie couvrant la responsabilité civile du fait des tracteurs et des machines automotrices ;
- de la mortalité du bétail par maladie ou accident ;
- des activités annexes d'une certaine importance ou à caractère industriel, comme les conserveries, les distilleries, l'élevage industriel de volaille, de bétail... (extension possible, toutefois, dans certains contrats multirisques au titre de la garantie des risques spécialisés) ;
- des installations classées ;
- des conséquences de la faute inexcusable de l'employeur (maladie, accident) ou d'une personne pour laquelle l'assuré s'est substitué dans la direction de l'exploitation.

En outre, plus on multiplie les risques dans un contrat, plus il faut du temps pour mesurer le risque agricole. En admettant, par exemple, un gel tous les 5 ans et une chute de grêle tous les 10 ans, 15 ans seront nécessaires (au minimum) pour mesurer la sinistralité sur un contrat combinant les deux risques. Le calcul devient, par conséquent, très difficile pour les assureurs.

### **3.3. Mieux l'information circule, mieux le risque est connu**

La circulation de l'information au sein du système de gestion du risque-grêle reste mauvaise jusqu'à présent, étant donné que chaque partenaire fonctionne selon ses propres intérêts. Cependant, les flux de l'information assurent la régulation du système. Pour l'assureur, par exemple, la maîtrise de l'information est nécessaire à la sélection des risques.

La méconnaissance climatologique des aléas climatiques est un deuxième facteur qui explique le faible degré de l'information. Les régions concernées par ces aléas nécessitent, en effet, la constitution d'une base de données climatologiques spécifiques, et la mise en place d'un système de veille et d'alerte, et inclure aussi l'assistance météorologique utile pour le développement agricole de la région. Pour le cas de la grêle, la prévision dépend d'un réseau de base de données très dense et très fiable (surtout les grêlimètres) et l'utilisation des radars *Doppler* qui permettent de mieux localiser les régions qui vont être touchées.

La connaissance des données météorologiques est déterminante pour la prévision des risques ainsi que pour la planification et la gestion de la production agricole. Pour l'agriculteur, une bonne connaissance du climat peut l'encourager à ne pas planter dans les régions et les périodes à hauts risques. D'autre part, des mesures agrométéorologiques fiables permettront aux assureurs de prévoir les risques d'intempéries et de délimiter les zones touchées par les dégâts, ainsi que l'évaluation des pertes et des rendements en temps réel. Dans ce cadre, la mise en place d'un système d'assurance pour l'agriculture doit couvrir tous les aléas climatiques naturels (gel, grêle, sécheresse, incendie, inondations,...etc.).

#### **4. Diversification des cultures ou / et des revenus**

Depuis toujours, l'aléa climatique constitue le risque le plus redouté des exploitants. La grêle reste un aléa climatique majeur sur lequel les exploitants ont toujours été sensibilisés. La diversification de l'exploitation constitue l'un des plus anciens outils de gestion des risques liés à la production. Elle constitue un moyen efficace de diminuer la fluctuation du revenu, en ce qu'elle fait appel à différents processus de production.

La diversification désigne la combinaison diverses cultures dans une même parcelle ou encore différentes variétés de la même culture. Pour la céréaliculture la combinaison des cultures d'orge avec des cultures de blé dur et de blé tendre laisserait la première à l'abri des chutes de grêle du mois de juillet (figure 160).

Dans le cas de l'arboriculture aussi, la combinaison d'arbres fruitiers à récoltes précoces (nèfles et cerises) avec celles à récoltes tardives (pêchers et pommiers) permettrait de garantir des revenus en cas de chutes de grêle en juillet, août et septembre (figure 160). La même situation s'applique pour le même type de culture mais de variétés différentes : ainsi, pour le cas des pommiers par exemple, mélanger les variétés tardives (*Golden Delicious* ou/et

*Richared*) avec d'autres précoces (*Chahla*, *Zina* ou/et *Aziza*) pourrait minimiser le coût des pertes en cas de chutes de grêle vers la fin d'été.

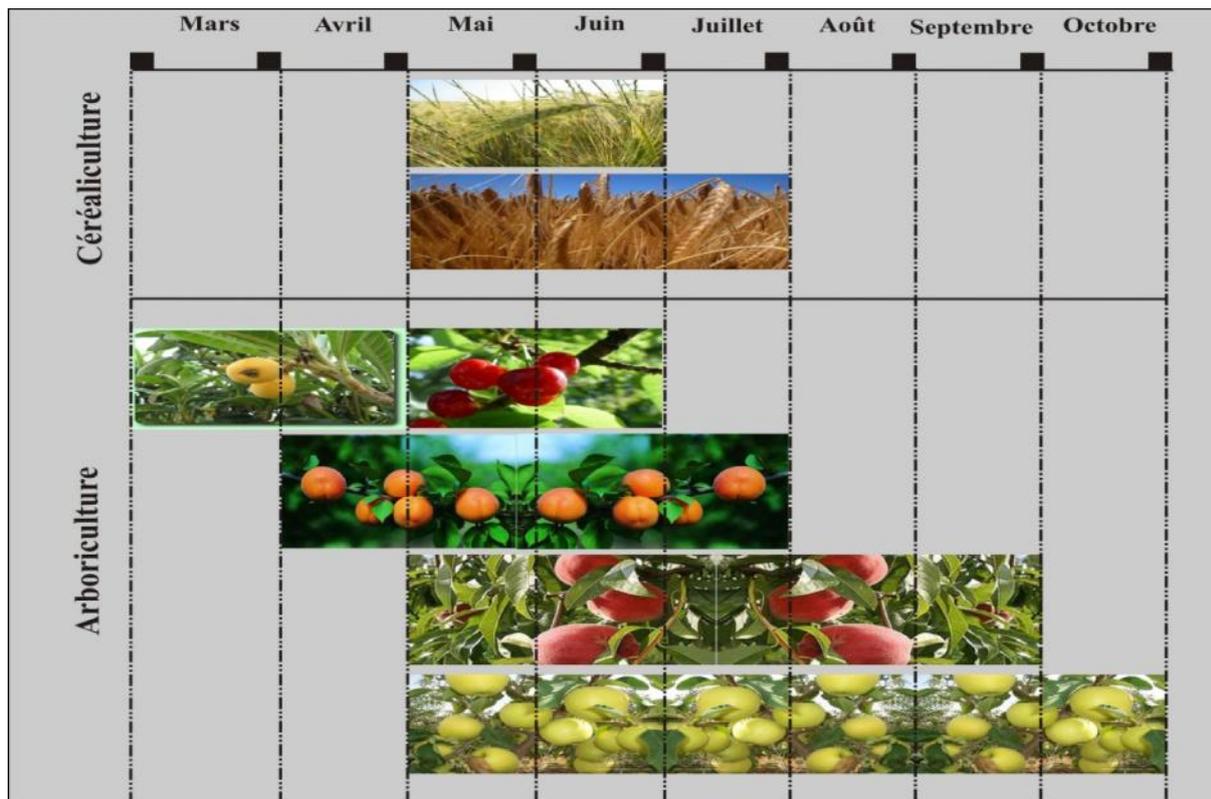


Figure 160. Diversification des cultures : une méthode de gestion du risque-grêle.

**Conclusion : L'assurance, les filets-paragrêle et la diversification des cultures sont souvent des compléments pour une gestion fiable du risque-grêle**

Dans le système de la gestion du risque-grêle, chaque intervenant intervient selon ses propres intérêts. L'agriculteur critique souvent l'assurance pour ses élevés les indemnités réduites. En outre, l'arboriculteur ne dispose pas de moyens pour accéder aux filets paragrêle qui restent jusqu'à présent très coûteux. L'assureur, quant à lui cherche à échapper aux cultures fragiles et aux régions trop exposées. Enfin, pour les autres intervenants en particulier l'Etat et les pouvoirs publics, ils n'interviennent qu'en cas des sinistres juste pour minimiser le poids des pertes sans participer à une politique de prévention plus globale.

Si on change le point du départ, on commence par l'agriculture qui présente le centre d'intérêt du système de gestion-grêle. Les champs de la céréaliculture se prêtent beaucoup à l'assurance que d'autres formes de gestion-grêle. L'agriculteur, l'assureur, et les pouvoirs

publics doivent travailler donc ensemble que pour les intérêts de la céréaliculture : l'agriculteur doit être plus conscient du rôle de l'assurance. L'assureur doit être plus proche de l'agriculteur et moduler toujours ses formules d'assurance. Les pouvoirs publics en particulier l'Etat, doivent jouer le rôle régulateur entre l'agriculteur et l'assureur à travers des encouragements : pour la campagne agricole 2012/2013 par exemple, le Ministère de l'Agriculture annonce que l'Etat prendra en charge 50% des frais d'assurance agricole contre la grêle et les incendies (journal "*La Tunisienne*" du jeudi le 04 octobre 2012).

Les arbres fruitiers sont des cultures très fragiles et il n'y a que les filets paragrêle qui pourraient assurer une bonne gestion contre la grêle. Cette gestion pose deux principaux intervenants, en l'occurrence l'arboriculteur et l'Etat. L'arboriculteur doit intégrer cette lutte active dans ses pratiques agricoles et l'Etat doit intervenir pour faciliter l'accès à ce type de solution<sup>78</sup>.

La stratégie de la diversification des cultures est une méthode est prête à être adaptable à la fois pour les cultures céréalières et les cultures arboricoles : l'adoption de cette méthode ne gère pas le risque-grêle dans le sens général, mais elle vise simplement à le décomposer

Quel que soit le type d'intervention pour la gestion de la grêle, les différents intervenants doivent conjuguer leurs forces pour assurer les intérêts de l'évolution de l'agriculture, chaque type de culture fixant un système de gestion propre et adéquat.

---

<sup>78</sup> Comme le décret n°2003-518 qui détermine un grand projet d'installation des filets para grêle et fixe trois catégories de prise en charge par l'Etat.



## **Conclusion de la troisième partie : La "gestion-grêle", un système en évolution avec des intervenants qui s'adaptent dans la douleur**

Le système de gestion du risque-grêle est commandé par des paramètres extérieurs qui ne sont pas stables. La variabilité naturelle des chutes de grêle dans l'espace et dans le temps et l'évolution rapide de l'agriculture et ses exigences ont fait naître une demande en matière de lutte active et d'assurance. Ce processus a donné un caractère évolutif au système de gestion-grêle qui a posé plus d'enjeux en matière de gestion du risque.

En Tunisie, on a vu la complexité du système d'intervenants en matière de gestion de risque-grêle : il y a l'agriculteur, l'assureur, les pouvoirs publics et quelques organismes en question. Cependant, la crise des deux chutes de grêle du 02 et du 10 mai 2002, ont marqué les limites de ces intervenants. L'agriculteur qui doit prendre un crédit bancaire pour démarrer chaque saison agricole, se voit parfois refusé les assurances nécessaires. L'assureur, est confronté à l'évolution de l'agriculture et au développement des exportations qui exigent une qualité de fruits parfaite, et donc des moyens anti-grêle actifs plus performants que l'assurance (car l'assurance ne rembourse pas les parts de marché perdues à l'exportation). Les pouvoirs publics en particulier l'Etat, n'interviennent qu'en cas de crise et elles ne disposent pas de scénarios de gestion du risque-grêle sur le long terme à cause des faibles moyens et de l'endettement chronique de la majorité des agriculteurs. Des organismes, détiennent des données pour mesures l'aléa (l'Institut National de la Météorologie), ou les dommages (les Commissariats Régionaux pour le Développement agricole), mais ils ne s'en saisissent pas pour assurer des solutions durables pour la gestion-grêle.

Chaque intervenant a joué son rôle indépendamment des autres, en fonction de ses propres intérêts. Or, une gestion fiable du risque-grêle nécessite la coordination entre tous les partenaires du système de gestion-grêle qui puisse faire émerger le développement durable de l'agriculture comme un intérêt commun.



## **CONCLUSION GÉNÉRALE**

### **1. La géographie de la grêle en Tunisie**

Les chutes de grêle, leur saisonnalité ainsi que leur répartition spatiale s'expliquent globalement par un emplacement latitudinal du territoire tunisien au contact entre la zone tempérée et les climats sub-tropicaux et tropicaux. C'est tout un espace qui est considéré comme le plus grêlé à l'échelle mondiale comme le "Midwest" aux Etats-Unis, le Sud-ouest du Canada, l'Europe occidentale (Sud de l'Angleterre, Sud de la France, Nord de l'Espagne, le Nord de l'Italie et la Suisse, la Grèce et la Finlande), le Nord de l'Inde, le Sud-ouest de la Chine et aussi la partie sud de l'Amérique latine (l'Argentine), l'Ouest de l'Afrique du Sud, l'Ouest de l'Australie. Ces espaces ont pour point commun d'être la croisée des descentes frontales venant du Nord et des remontées d'air chaud tropical. Le contact entre ces masses d'air et l'instabilité due au relief favorisent, sans équivoque, la formation des nuages grêligènes. Dans ce contexte, la Tunisie du fait de son climat relativement sec se trouve à la marge des régions considérées comme grêlifères. Toutefois, la géographie et la climatologie du pays à échelle régionale et locale expliquent que certains secteurs soient exposés à un risque de chute de grêle dommageable pour les activités économiques et en particulier l'agriculture.

La géographie de l'aléa grêle (les chutes de grêle) en Tunisie a défini quatre régions comme les régions les plus grêlifères, mais avec des saisonnalités bien distinctes : le Nord-Ouest (8 jours par an) et les extrêmes nord-est (3 jours par an) en hiver, puis le Haut Tell et les Hautes Steppes en été (2 jours par an pour chacune). De point de vue dimensions des grêlons, et bien que les mesures grêlimétriques soient absentes, les données disponibles montrent que dans les deux premières régions, les chutes de grêle d'hiver tombent souvent sous forme de petites particules de grésil (moins de 5 mm de diamètre) ; plus au Sud, la grêle d'été prend la relève dans les deux autres régions, mais avec des grêlons qui peuvent parfois atteindre plus de 20 mm de diamètre.

### **2. L'apparition de territoires agricoles vulnérables**

Les efforts d'augmentation des productions agricoles liés au développement de l'agriculture commerciale et les exigences de qualité liées à la nouvelle vocation marchande ont engendré l'apparition d'exploitations spécialisées sur un seul produit agricole (la région

des Hautes Steppes qui s'abonne aux productions fruitières) ou un seul type de culture (le secteur de Sbiba qui se spécialise dans la culture des pommes). Cette partition territoriale des productions est intimement accompagnée de l'apparition de territoires agricoles de plus en plus vulnérables au risque-grêle. Ces territoires exigeraient de plus en plus les meilleures protections ce qui demanderait des coûts très élevés.

### **3. Une première géographie du risque grêle en Tunisie**

Le risque tient compte de deux principaux facteurs : la fréquence et la saisonnalité des chutes de grêle d'une part et d'autre part la répartition géographique des cultures vulnérables (figure 161).

#### ***Les régions à fort risque :***

Elles combinent une forte concentration de cultures fragiles en particulier les pommiers et une forte exposition aux chutes de grêle d'été. Ce sont les régions fruitières du Centre-ouest (les Hautes Steppes et ses périphériques) : les sous-bassins versants de l'Oued Zeroud, Oueds Hatab et Oued Sbeitla. Le risque-grêle est très présent dans les plaines et les fossés d'effondrement (les bassins fruitiers) comme ceux de Foussana, de Kasserine et de Sbiba-Rouhia.

#### ***Les régions à risque moyen:***

Elles regroupent deux grandes régions à vocation agricole différente : le Cap Bon et le Nord-Ouest. Le Cap Bon au Nord-est du pays est la principale région viticole et d'agrumes. Ces cultures sensibles notamment la viticulture couvrent de vastes surfaces auxquelles s'ajoute la pratique des variétés tardives, ce qui amplifie le risque-grêle (grêle d'hiver).

La deuxième région est le Haut Tell au Nord-ouest. Cette région est assez grêlifère surtout en printemps comporte des cultures peu sensibles au risque-grêle, à savoir, les céréales.

#### ***Les régions à risque faible :***

Elles occupent le reste du territoire et associent :

- Les espaces grêlifères mais sans espace cultivé comme les zones de montagnes (les montagnes de Nord-ouest).
- Des espaces assez grêlifères sans cultures sensibles comme le Centre-est.

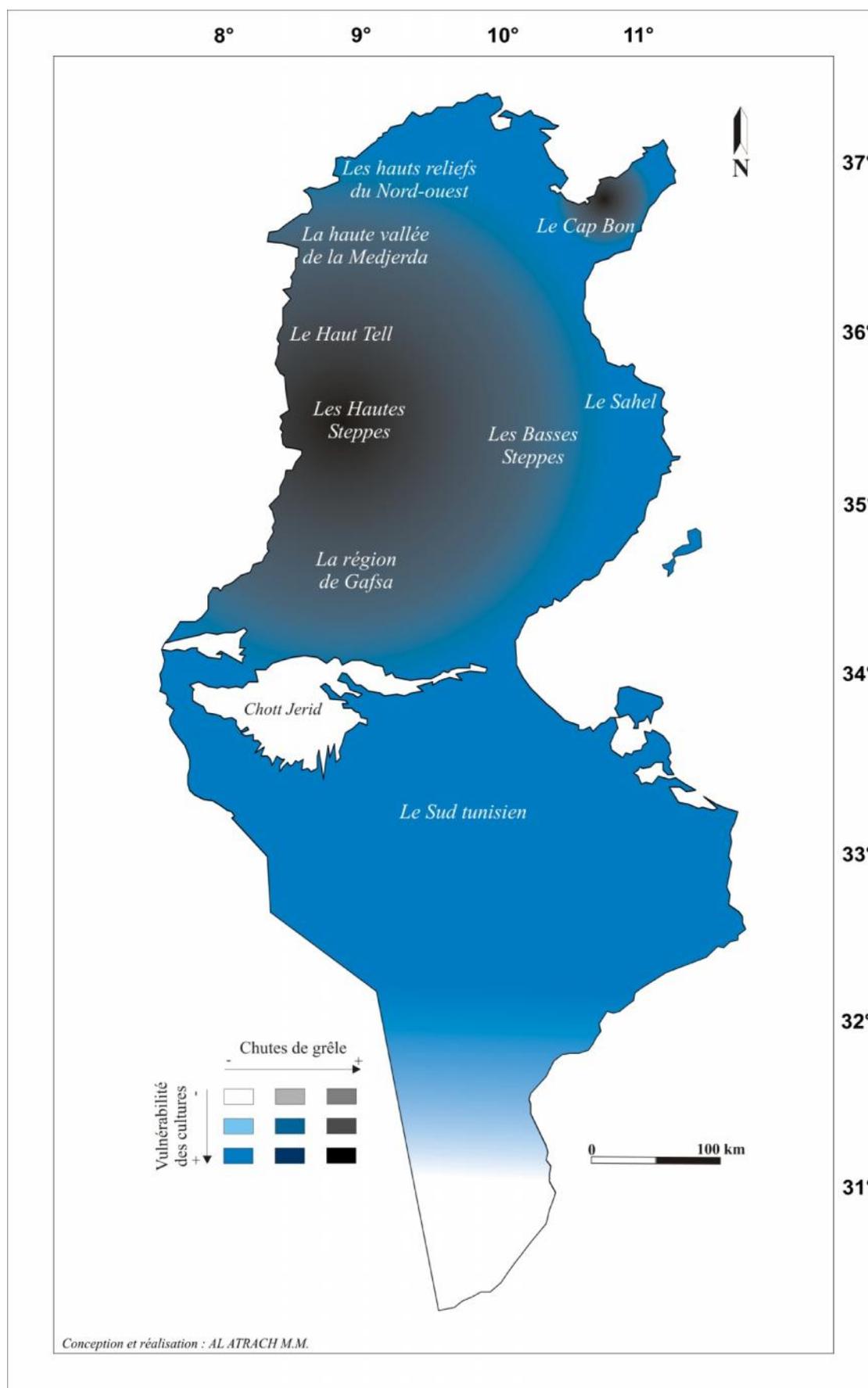


Figure 161. Les espaces du risque-grêle en Tunisie.

- Les espaces rarement grêlifères sans cultures sensibles comme toute la partie sud de la Tunisie où les précipitations sont rares même en été et où les seules cultures sont assez peu sensibles à la grêle (dattiers...).

#### **4. Vers une gestion durable du risque-grêle**

##### ***Une gestion durable du risque-grêle nécessite une stratégie sur le long terme***

L'histoire du risque-grêle en Tunisie a montré que la prise de conscience de la nécessité de mesurer les dommages de la grêle est récente et ponctuelle. Ces mesures et ces évaluations n'ont lieu qu'en cas de crise. Cependant, le système de gestion-grêle est évolutif surtout lorsqu'on voit autant de formules d'assurance et autant de progrès en matière de lutte active. L'absence de coordination entre les partenaires de gestion du risque n'a fait que renforcer la crise. Or, il serait nécessaire à l'avenir de mieux prévoir ce type de crise. Une stratégie sur le long terme assurerait une gestion durable du risque. Cette stratégie regrouperait les différents acteurs qui peuvent réagir dans le système de gestion-grêle et pourrait avoir comme rôle :

- de récolter et diffuser l'information sur le risque-grêle et les risques climatiques en général dans le domaine climatologique et économique ;
- de coordonner l'action des différents partenaires notamment en matière de prévention ;
- de favoriser le dialogue entre ces derniers et ainsi d'anticiper d'éventuelles crises du type de celle de l'année 2002.

##### ***Assurance active du risque-grêle et gestion des problèmes des coûts***

Chaque type de culture pratiquée définit le système de gestion adéquat contre les effets des différents risques climatiques. Pour le cas du risque-grêle, les grandes cultures annuelles, en particulier les céréales, cultivées sur de vastes surfaces et pour une faible valeur à l'hectare, ne peuvent être protégées qu'avec l'assurance. L'agriculteur doit intégrer, donc, la culture de l'assurance dans sa culture agricole globale et l'assureur doit adapter ses produits à l'évolution de l'agriculture.

Pour le cas de l'arboriculture, on trouve soit l'assurance qui rembourse un certain taux de perte sans protéger réellement les cultures, soit les filets paragrêle qui assurent une protection réelle des récoltes. Le développement actuel de la protection antigrêle dans le centre de la Tunisie fait appel de façon encore marginale aux filets pour se protéger de la grêle. Or, ce

type de protection n'est pas à la disposition de tous les arboriculteurs pour des raisons de coût.

*La location des filets paragrêle peut-elle pallier les problèmes de coût... ?*

Cette proposition fait intervenir un trio composé de l'Etat, de l'assureur et de l'agriculteur. Ces trois partenaires s'associeraient pour mutualiser les coûts d'acquisition et d'installation des filets paragrêle ce qui garantirait la gestion durable de l'arboriculture contre le risque-grêle et cette durabilité assurerait des revenus permanents pour chaque intervenant (figure 162).

- l'Etat, assurerait, d'abord, la vente des filets à l'assureur, qui à son tour va les louer à l'agriculteur avec les mêmes frais d'assurance. L'agriculteur bénéficierait des crédits agricoles de l'Etat pour démarrer sa saison;
- l'assureur assurerait le paiement des filets (revenus directs pour l'Etat) à travers les frais de location payés de la part de l'agriculteur.
- L'agriculteur, ses récoltes étant protégées, assurerait le paiement de ses crédits (revenus pour l'Etat).

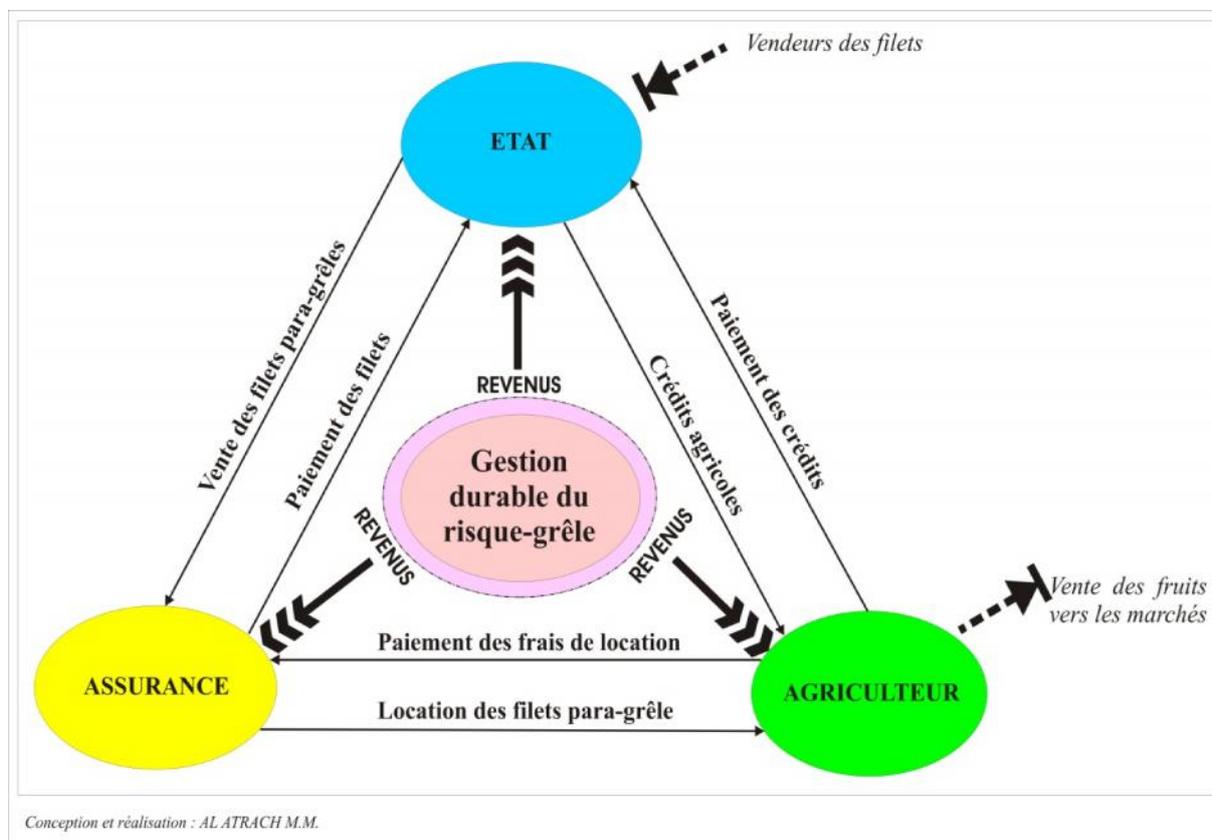


Figure 162. Hypothèse de partenariat public privé pour la prise en charge des filets paragrêle.

Globalement la gestion du risque-grêle en agriculture propose des stratégies réparties en deux grands niveaux. Le premier regroupe les mécanismes de prévention du risque qui consistent soit à réduire la probabilité de la perte (les études des aléas), soit à réduire l'impact du sinistre (les études des vulnérabilités et des enjeux), ou bien soit les deux : Il s'agit ainsi d'interventions en amont du risque. Le deuxième relève les mécanismes de traitement du risque qui consistent à limiter ses impacts négatifs sur le revenu de l'agriculteur (les différents modes de gestion) : les interventions se situent alors en aval du risque. Le bon fonctionnement du système "gestion-grêle" exige un bon lien entre les deux stratégies de prévention et du traitement du risque-grêle.

\*\*\*

L'étude du risque-grêle en Tunisie a soulevé plusieurs pistes de recherche qui pourraient mettre à jour d'autres spécificités du phénomène : la dynamique de la grêle à l'échelle topoclimatique et l'influence de la topographie locale sont des sujets difficiles en l'absence de mesure au sol et de détection radar adaptée. Mais une première approche des dommages à l'échelle fine pourrait apporter quelques réponses. Un autre sujet de recherche, à échelle spatiale plus vaste, paraîtrait très important : les conséquences du réchauffement climatique sur la grêle. Ce sujet a été traité dans plusieurs pays comme en France (DESSENS J., 1995 et BERTHET C. et al., 2011), aux Etats-Unis (LESLIE L.M. et al., 2008 et MAHONEY K. et al., 2012), aux Pays-Bas (BOTZEN et al., 2010), en Australie (NIALL S. et WALSH K., 2005) et aussi en Chine (XIE B. et al., 2008). En Tunisie, dans quel sens peut évoluer la relation entre chutes de grêle et réchauffement climatique<sup>79</sup> ? Elle est étroitement liée à l'évolution de la pluviométrie<sup>80</sup> surtout celle d'été. Si les étés s'assèchent dans les régions intérieures c'est-à-dire si les précipitations convectives diminuent (en fréquence ? en intensité ?), on peut penser que la fréquence de la grêle diminuera dans le même sens surtout si la température<sup>81</sup> des basses couches augmente. Mais le sujet est délicat et ne saurait être tranché sans une expertise plus poussée qui dépasse les objectifs de ce mémoire.

---

<sup>79</sup> *Le rapport d'ALOUI A., sur les changements climatiques en Tunisie en 2010 et celui proposé par le ministère de l'Agriculture et de l'environnement en collaboration avec la Coopération Technique Allemande (giz) en 2011 sur l'élaboration d'une "Stratégie Nationale sur le Changement Climatique" de la Tunisie (voir bibliographie).*

<sup>80</sup> *Les contributions de HENIA L., BEN BOUBAKER H. et BENZARTI Z., sur les changements climatiques en Tunisie et les ressources en eau, ainsi que celles de JGUIRIM H., et HLAOUI Z., sur les tendances des pluies et des régimes pluviométriques (voir bibliographie).*

<sup>81</sup> *L'étude de BOUSNINA A., sur les variations et la variabilité des températures en Tunisie (voir bibliographie).*

## BIBLIOGRAPHIE

### Ouvrages et revues

1. ADMIRAT P., et al., (1980) - Mini : reproductibilité de la méthode de dépouillement gravimétriques utilisées dans "grossversuch IV"-, *Atmosphere-Ocean* n° 18, Canada, p. 27-42.
2. AL ATRACH M.M. (2004) - La grêle en Tunisie : *Etude technique, statistique et pratique* -, (Mémoire de DEA), *Faculté des Sciences Humaines et Sociales de Tunis*, Tunisie, 156 p.
3. ALEC P. (1980) - Hailstorms in southern Saskatchewan -, *University of Regina, Saskatchewan*, Canada, volume 19, p. 305-314.
4. ALOUI A. (2010) - Changements climatiques en Tunisie: impacts sur les forêts -, *AGORA*, Rabat (Maroc), 37 p.
5. ARLERY R., GRISSOLLET H. et GUILMET B., 197 - Climatologie : Méthodes et pratiques -, *Gauthier - Villars Editeur*, paris, 417 p.
6. ASSELDONK M., MEUWISSEN M. et HUIRNE R. (2001) - Stochastic simulation of catastrophic hail and winstorm indemnities in the dutch greenhouse sector -, *Risk Analysis*, Germany, volume 21, p. 761-769.
7. ASSOCIATION DEPARTEMENTALE DE LUTTE CONTRE LES FLEAUX ATMOSPHERIQUES DE LA HAUTE-GARONNE "ADLFA 31" (2013) - Compte rendu technique et financier de l'année 2012 -, *Etudes et Prévention Grêle en Haute-Garonne*, Toulouse, 34 p.
8. ASSOCIATION NATIONALE D'ETUDE ET DE LUTTE CONTRE LES FLEAUX ATMOSPHERIQUES "ANELFA" (2001) – Analyse des principales situations à grêle de la saison 2001 -, *Rapports de campagne 2011*, p. 55-68.
9. ATTIA H. (1977) - Les hautes steppes tunisiennes : de la société pastorale à la société paysanne -, *Université de Tunis*, p. 1-192 et p. 490-583.
10. BAZZAZ F. et SOMBROEK W. (1997) - changements du climat et production agricole -, *Fao et polytechnica*, paris, 406 p.
11. BELLIL M. (1973) - Etude de la température et de quelques phénomènes climatiques particuliers dans la haute vallée de la Medjerda et ses régions de bordure -, *Faculté des lettres et des sciences humaines*, Tunis, 76 p.
12. BELTRANDO G. et CHEMERY L. (1995) - Dictionnaire du climat -, *Larousse*, France, 344 p.
13. BELTRANDO G. (2004) - Les climats : processus, variabilité et risques -, *Armand colin/sejer*, Paris, 261 p.
14. BEN BOUBAKER H. (2000) - les gradients climatiques en Tunisie : application à la température et à la pluie-, *Faculté des Lettres et des Sciences Humaines de la Manouba*, Tunisie, 3 p.
15. BEN BOUBAKER H., et al, (2001) - Les ressources en eau de la Tunisie, contraintes du climat et pression anthropique -, *Eau, Environnement et milieux méditerranéens*, ENS éditions, p. 38-52.

16. BEN BOUBAKER H. et HENIA L. (2005) - La tornade du 13 novembre 2004 sur le cap bon en Tunisie -, XVIIIème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Gênes (Italie), p. 358- 361.
17. BEN BOUBAKER H. (2009) - Fortes chaleurs et topoclimat thermique à Siliana (Tunisie tellienne) -, *Géographie et Développement*, 18, p. 65-92.
18. BEN BOUBAKER H. (2010) - Les paroxysmes climato-thermiques en Tunisie : approche méthodologique et étude de cas -, *Association Internationale de Climatologie*, Climatologie, vol. 7, p.56-87.
19. BEN MILOUD E. (1998) - Contribution à l'étude de la grêle en Tunisie : mécanisme et occurrence -, *Institut national de la météorologie*, Tunisie, 21 p.
20. BENZARTI Z., BEN BOUBAKER H. et HENIA L. (2004) - Circulations méridiennes et extrêmes pluvio-thermiques en Tunisie -, *Actes du XVIIe colloque de l'AIC*, Caen (France), p. 117-121 p.
21. BERTHET C. et al, (2011) - The major hail days of 1988-2010 in South-western France -, *6<sup>th</sup> European Conference on Severe Storms* Palma de Mallorca, Balearic Islands (Spain), 3 p.
22. BERTHET C. et DESSENS J. (2013) – Anomalies in frequency/intensity correlations in hail climatology -, *7<sup>th</sup> European Conference on Severe Storms*, Helsinki (Finland), Poster.
23. BOLIN W. et DÖÖS J. ( ? ) - The greenhouse effect : climatic change and ecosystems -, *Wiley & sons*, EU, 521 p.
24. BOUSNINA A. (1998) - Les pluies dans les hautes steppes -, *Actes de séminaires de DEA, Faculté des Sciences Humaines et Sociales de Tunis*, Tunisie, 88 p.
25. BOUSNINA A. (2000) - Variations et variabilité des températures en Tunisie, 1901-1985: Variations séculaires des températures en Tunisie -, *Faculté des sciences humaines et sociales de Tunis*, Tunisie, 1120 p.
26. BOYER P. (2008) - Assurer les calamites agricoles -, *Notes et études économiques*, n° 30, Paris, 31 p.
27. BRIMELOW J. et REUTER G. (2002) - Modeling maximum hail size in Alberta thunderstorms -, *Weather and forecasting*, Canada, volume 17, p. 1048-1068.
28. BROWNING K.A. et FOOTE G.B. (1976) - Airflow and hailgrowth in supercell storms and some implications for hail suppression -, *Quart. Jour. Royal meteor. Soc.* Vol. 102, p. 499-533.
29. BUCKLEY B.W., et al, (2000) - Two record breaking australian hailstorms: storm environments, damage characteristics and rarity -, *Insurance Australia Group*, Sydney (Australie), 8 p.
30. BYERS HORACE R. (1942) - Non frontal thunderstorms -, *University of Chicago*, EU, 25 p.
31. CARREGA P. (1982) - Les facteurs climatiques limitant dans le sud des alpes occidentales -, *Université de Nice*, France, 122 p.
32. CARREGA P. (2003) - Les climats aux échelles fines -, *Publications de l'AIC*, Vol. 15, p. 19-30.
33. CARREGA P. (2008) - Le vent : importance, mesures, modélisation et tribulations -, *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 51, France, p. 17-29.

34. CARREGA P. et YOHIA C. (2010) - Influence des effets d'échelle de la prise en compte du relief sur les écoulements de l'air et les précipitations. Exemples dans les modèles météorologiques GFS, MM5 et RAMS -, *Actes des Journées de Climatologie de Besançon*, p. 61-78 p.
35. CEPERUELO M. et al..., (2006) - Study of 11 september 2004 hailstorm event using radar identification of 2-D systems and 3-D cells -, *Advances in Geosciences*, Espagne, p. 215-222 p.
36. CHABOUD R. (1982) - Prévision du temps -, *Bordas*, paris, 156 p.
37. CHANGNON S.A. (1966) - Effect of Lake Michigan on Severe Weather -, *Great Lakes Research Division Publication 15*, University of Michigan, Ann Arbor, p. 220-234.
38. CHANGNON S.A. (1977) - Scales of hail -, *Journal of Applied Meteorology*, 16, p. 626-648.
39. CHANGNON S.A. (1984) - Temporal and spatial variations in hail in the upper Great Plains and Midwest -, *Illinois state water survey*, Illinois (EU), p. 1531-1541.
40. CHANGNON S.A. (1997) - Surrogate data to estimate crop-hail loss -, *Journal of applied meteorology*, Illinois (EU), volume 36, p. 1202-1210.
41. CHANGNON S.A. (1999) - Data and approaches for determining hail risk in the contiguous United States -, *Journal of applied meteorology*, Illinois (EU), volume 38, p. 1730-1739.
42. CHANGNON S. A. (2002) - Climatology of Hail Risk in the United States-, *Publication CRR-40*, Changnon Climatologist, Mahonet, IL, 78 p.
43. CHANGNON S. A. et BURROUGHS J. (2003) - Tri-state hailstorm; The most costly on record -, *Monthly Weather Review*, 131, 9. P. 1734-1739.
44. CHANGNON S.A. et KUNKEL K.E. (2006) - Severe storms in the Midwest -, *Midwestern Regional Climate Center* (Illinois State Water Survey), Illinois (EU), 74 p.
45. CHANGNON S. A., et al (2009) – Hailstorms across the nation -, *Illinois State Water Survey*, Illinois (EU), 92 p.
46. COLLECTION CARREFOURS (2004) - La géographie des risques dans le monde -, *Ellipses éditions marketing*, paris, 501 p.
47. CORDIER J. (2010) - Les risques agricoles : typologie, outils privés et politique publique -, *Congrès cica*, session ii, Marrakech (Maroc), 4 p.
48. CORELOGIC ANALYSIS (2012) - Tornado and hail risk beyond tornado Alley -, *Analysis of Weather Patterns Featuring CoreLogic* (Wind Probability and Hail Probability), EU, 9 p.
49. DALBY M. ( ? ) - Les risques liés au climat -, *Editions universitaires de Dijon*, France, p. 151-161p.
50. DAUPHINE A. (2001) - Risques et catastrophes, *Armand colin*, Paris, 247 p.
51. DENIS P.Y. (1968) - Constantes et contraintes climatiques dans les grandes oasis du piémont du Cujo (Argentine) -, *Cahiers de géographie du Québec*, vol. 12, n° 25, p. 103-121.

52. DEPARTEMENT de COMMERCE de WASHINGTON (1945) - Radar and weather -, *Washington D-C*, EU, 26 p.
53. DESSENS J. (1978) – Mesures de la grêle à l'aide de données physiologiques-, *Atmosphere-Ocean*, 26, Canadian Meteorological and Oceanographic Society, Canada, p. 107-113 p.
54. DESSENS J. (1980) –Ground seeding hail prevention experiment in France -, *University of Clermont II*, Lannemezan, France, p. 4-17.
55. DESSENS J. (1986) - Hail in southwestern france : hailfall characteristics and hailstorm environment -*Centre de recherches atmosphériques*, France, volume 25, p. 35-47.
56. DESSENS J. (1988) - Comments on "Main results of Grossversuch IV" *Journal of applied meteorology*-, 27 (2), p. 200-202.
57. DESSENS J. (1998) - A physical evaluation of a hail suppression project with silver iodide ground burners in southwestern france -, *Journal of applied meteorology*, Toulouse, volume 27, p. 1588-1599.
58. DESSENS J., VAN DINH P. (1990) - Frequent Saharian dust outbreaks north of the Pyrenees : a sign of a climatic change ?-, *Weather*, 45 (9) Bracknell, UK, p. 327-333.
59. DESSENS J., BERTHET C., SANCHEZ JL. (2009) - Yearly fluctuation of hail precipitation in France -, 5<sup>th</sup> *European Conference on Severe Storms*, Germany, 2 p.
60. DIETERLE J.C. (1971) - Fréquence et répartition géographique des chutes de grêle e sur l e Plateau Suisse, de 1962 à 1970 e t sur la région du Lemman, de 1947 à 1970 -, *Centre météorologique de l'Aéroport*, Genève (Suisse), 40 p.
61. DUTHEIL P-A. (2009) - Phénomènes météorologiques violents : études des supercellules et des tornades -, *département des mesures physiques de limoges*, Frances, 57 p.
62. DIVISION DE LA METEOROLOGIE NATIONALE (1951 – 1955) - Projet de lutte anti-grêle -, *direction des services aériens et maritimes*, Tunisie, 15 p.
63. DOAMARANTEA C., STEFFENSA C. et ARGENTA L. (2011) - Yield and fruit quality of 'gala' and 'fuji' apple trees protected by white anti-hail net -, *Scientia horticultrae*, Brésil, n° 129, p. 79–85.
64. DUBOIS-MAURY J. (2005) - Les risques naturels et technologie -, *Problèmes politiques et sociaux*, n° 908, France, 120 p.
65. ECCEL E., et al (2010) - Quantitative hail monitoring in an alpine area: 35-year climatology and links with atmospheric variables -, *International Journal Of Climatology*, UK, 15 p.
66. EDWARDS R. et THOMPSON R. (1998) - Nationwide comparisons of hail size with wsr-88d vertically integrated liquid water and derived thermodynamic sounding data -, *Edwards and Thompson*, Oklahoma, p. 277-285.
67. EL MELIK T. (1997) –Les masses d'air sur la Tunisie -, Mémoire de DRA, *Faculté des Sciences Humaines et Sociales de Tunis*, Tunisie, 328 p.
68. ESCOURROU G. (1978) - climatologie pratique -, *Masson*, Paris, 196 p.

69. FARNELL C. et al, (2009) - Study of the hailstorm of 17 September 2007 at the Pla d'Urgell. Part one: fieldwork and analysis of the hailpads -, *Journal of Weather & Climate of the Western Mediterranean*, Tethys (Sapin), p. 67-79.
70. FEDERATION FRANCAISE DES SOCIETES D'ASSURANCE (2001) - Grêle : comment les dommages aux cultures sont-ils assurés? -, N° 166, Paris, 2 p.
71. FEDERATION TUNISIENNE DES SOCIETES D'ASSURANCE (1996-2009) - L'assurance tunisienne -, *Rapports annuels de l'assurance tunisienne*, Tunisie.
72. FERAL L., SAUVAGEOT H. et SOULA S. (2003) - Hail detection using S- and C-Band Radar reflectivity difference -, *Journal Of Atmospheric And Oceanic Technology*, volume 20, EU, p. 233-248.
73. FIELD P.R. et al..., (2010) - Hail threat standardisation -, *European Aviation Safety Agency*, Cologne, (Germany), 130 p.
74. FONDATION DE PREVENTION DES ETABLISSEMENTS CANTONAUX D'ASSURANCE (2007) - Répertoire de la protection contre la grêle : Recherches sur le danger de grêle et la résistance de l'enveloppe des bâtiments -, *Direction du projet « Répertoire de la protection contre la grêle*, Berne (Suisse), 35 p.
75. FORIS D. et SPANOS S. (2009) - Hailstone-to-hailstorm relation in northern Greece -, *5<sup>th</sup> European Conference on Severe Storms*, Landshut (Germany), 2 p.
76. GAMMAR A.M et BEN BOUBAKER H. (2008) - Bioclimatologie et Topoclimatologie -, *Actes du IV<sup>ème</sup> colloque du département de Géographie de la FLAH de Manouba*, Tunisie, 231 p.
77. GAMMAR A.M (2009) - Topoclimats et cartographie des précipitations dans la région d'enfidha (tunisie orientale) -, *XXII<sup>e</sup> colloque de l'Association Internationale de Climatologie (AIC), du 1er au 5 septembre 2009 à ClujNapoca*, Roumanie, p. 211-216.
78. GIAIOTTI D., NORDIO S. et STEL F. (2003) - The climatology of hail in the plain of friuli venezia giulia -, *Atmospheric research*, 67-68, Italie, p. 247-259.
79. GINESTOUS G. (1926) - Etudes sur le climat de la Tunisie -, *Laboratoire de géographie*, Tunisie, 441 p.
80. GOURDEAU J. (2004) - Les particularités des nuages -, *Programme espere / accen, laboratoire de météorologie physique*, Clermont-Ferrand, France.
81. GRIFFITH M.M. et NEIL G.T. (1974) - Micro-scale studies of surface hailfall -, *Illinois State Water Survey*, Illinois (EU), volume 15, Illinois (EU), 35 p.
82. GROUPE INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'EVOLUTION DU CLIMAT (1990) - Incidences potentiels du changement climatique -, *Groupe de travail ii*, Paris, 417 p.
83. GUY CARPENTER & COMPANY (2009) - Impact and implications of Swiss hailstorms in July 2009 -, *Guy Carpenter Briefing*, Zurich (Suisse), 12 p.
84. HARRY J., HILLAKER JR. et PAUL JW. (1984) - Crop hail damage in the Midwest corn belt -, *journal of climate and applied meteorology*, Iowa (EU), volume 24, n° 1, p. 3-15.

85. HENIA L. (1979) - Les gouttes d'air froid intéressant la Tunisie -, *revue Tunisienne de Géographie*, n° 2, p. 29-41.
86. HENIA L. (1980) - Les précipitations pluvieuses dans la Tunisie tellienne -, Thèse de doctorat de 3<sup>ème</sup> cycle, *Faculté des lettres et des sciences humaines*, Tunis, 264 p.
87. HENIA L. et BENZARTI Z. (2006) - Changements climatiques et ressources en eau de la Tunisie -, *XIX<sup>ème</sup> Colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, Epernay (France), p. 15-20.
88. HENIA L. (2007) - Les impacts probables des changements climatiques sur les ressources en eau du Maghreb -, *Sciences*, 1, 1er trimestre, p. 24-31.
89. HLAOUI Z. (2010) - Evolution du régime pluviométrique au cours du 20<sup>ème</sup> siècle en Tunisie dans un contexte du changement climatique -, *23<sup>ème</sup> Colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, Rennes (France), p. 273-278.
90. HOUSTON W.A. (1999) - Sever hail damage to mangroves at port Curtis, Australia -, *Kluwer Academic publishers*, Netherland, p. 29-40.
91. INSTITUT FRANCAIS DE LA VIGNE ET DU VIN (2011) - La grêle : la conduite a tenir sur vignes grêlées » *Vigne vin sud-ouest*, Francs, 3 p.
92. INSTITUT NATIONAL DE LA METEOROLOGIE (1954) - Vent fort -, *S/d exploitation*, Tunis, 23 p.
93. ISSA S. (1978) - Précipitations orageuses dans la Tunisie tellienne -, *faculté des sciences humaines et sociales*, Tunis, 147 p.
94. JERBI M. (1970) - Etude écologique des actions parasitaires des espèces fusariennes à l'égard du blé -, *Bulletin de la faculté d'agronomie*, n° 26 et 27 ; CNDA, Tunisie, 58 p.
95. JEWELL R. et BRIMELOW J. (2009) - Evaluation of Alberta hail growth model using severe hail proximity soundings from the United States -, *Weather and Forecasting*, volume 24, EU, p. 1592 -1609.
96. JGUIRIM H. (1999) - Tendances pluviométriques en Tunisie 1901-1990 -, *Faculté des sciences Humaines et sociales de Tunis*, Tunisie, 700 p.
97. KAHRAMAN A. et al..., (2011) - Severe hail climatology of Turkey -, *6<sup>th</sup> European Conference on Severe Storms*, Palma de Mallorca, Balearic Islands (Spain), poster.
98. KASSAR A. (1999) - Lutte anti – grêle -, *Institut national de la météorologie*, Tunisie, 13 p.
99. KUNZ M. et PUSKEILER M. (2010) - High-resolution assessment of the hail hazard over complex terrain from radar and insurance data -, *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 19, N° 5, Stuttgart (Germany), p. 427-439.
100. LAMOUREUX C. (1952) - Hail damage in Iowa : 1923-1948 -, *Monthly weather review*, EU, volume 80, n°3, p. 37-34.
101. LEDUC R. et REYMOND G. (1985) - Connaître la météorologie -, *Presses de l'université de Québec*, (Canada), 300 p.

- 102.** LEIGH R. ET KUHNEL I. (2001) - Hailstorm loss modelling and risk assessment in the Sydney region, Australia -, *University of Macquarie*, n° 24, Australia, p. 171-185.
- 103.** LOPEZ L., GARCIA E. ET SHANCHEZ J.L. (2007) - A short-term forecast model for hail -, *Atmospheric research*, n°83, p. 176-184.
- 104.** LOZOWSKI E.P. et STRONG G.S. (1976) -An Alberta study to subjectively measure hailfall intensity -, *University of Alberta*, volume 15, Alberta (Canada), p. 33-53.
- 105.** LUDLAM F.H. (1980) - Clouds and storms : the behavior and effect of water in the atmosphere -, *Pennsylvania state university press*, EU, 438 p.
- 106.** MAHUL O. (1998) - Vers une redéfinition du rôle de l'assurance agricole dans la gestion des risques sur récoltes -, *Cahiers d'économie et sociologie rurales*, n° 49, Rennes (France), p. 34-58.
- 107.** MAHONEY K. (2012) - Changes in hail and flood risk in high-resolution simulations over Colorado's mountains -, *Nature Climate Change*, Vol 2, EU, p. 125-131.
- 108.** MAKITOV V. (2007) – Radar measurements of integral of hailstorms used on hail suppression projects -, *Atmospheric research*, n°83, p. 380-388.
- 109.** MCMASTER H. (2001) - Hailstorm risk assessment in rural new south Wales -, *University of Macquarie*, Australia, n°24, p. 187-196.
- 110.** MELKI M. (1993) - Effet de la variabilité saisonnière des facteurs climatiques sur les rythmes de croissance des céréales et leur potentiel de production de grains -, *Institut national agronomique*, Tunisie, 30 p.
- 111.** MEZEIX J.F. et CAILLOT P. (1981) - a confirmatory evaluation of the Grossversuch IV experiment using hailpad data (french network 1977 - 1981) -, *Groupement National d'Etudes des Fleaux Atmospheriques*, Grenoble (France), 6 p.
- 112.** MEZEIX J.F. (1984) - Comments on "hail southwestern France. Part ii : results of a 30-year hail prevention project with silver iodide seeding from the ground -, *Journal of climate and applied meteorology*, volume 26, France, , p. 1774-1776.
- 113.** MILLER A. (1943) – Climatology -, *E.P. Dutton – company publishers*, 325 p.
- 114.** MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DE L'ENVIRONNEMENT & COOPERATION TECHNIQUE ALLEMANDE (2011) - Elaboration de la "Stratégie Nationale sur le Changement Climatique" de la Tunisie (Rapport de diagnostic) -, *Groupement ALCOR – TEC*, Tunisie, 148 p.
- 115.** MIOSSEC J-M. (1999) - Identité tunisienne : de la personnalité géographique d'un pays du Maghreb, du monde Arabo-Islamique et de la Méditerranée -, *Ann. Géo.*, n° 607 © Armand Colin, p. 255-276.
- 116.** MONCHICOURT CH. (1913) - La région du haut tell en Tunisie -, *Librairie Armand colin*, Paris, 325 p.
- 117.** MOUGOU R., BEN ACHOUR O. et SAKKIS N. (1992) - La grêle en Tunisie : étude technique -, *INRAT*, Tunisie, 487 p.
- 118.** NASRI MANSOUR (2007) - L'assurance des risques traditionnels -, *CTAMA*, Tunis, 27 p.

119. NATIONAL HAIL RESEARCH EXPERIMENT (1975) - Lutte anti- grêle -, *Institut national de la météorologie*, Tunisie, 117 p.
120. NEIL G.T., GRIFFITH M.M. et STANLEY A. CHANGNON (1976) – Examples of the wind factor in crop-hail damage -, *Journal of applied meteorology*, volume 15, Illinois (EU), p. 1116-1120.
121. NIALL S. et WALSH K. (2005) - The impact of climate change on hailstorms in south-eastern Australia -, *International Journal Of Climatology*, volume 25, UK, p. 1933–1952.
122. NOTE DE TRAVAIL (1991) - Données de base nécessaires à l'étude de projets de suppression de grêle et augmentation de pluie -, *Institut national de la météorologie*, Tunisie, 38 p.
123. ORGANISATION MONDIALE DE LA METEOROLOGIE (1992) -Vocabulaire météorologique international -, *Secrétariat de l'OMM* ; deuxième édition ; Genève, 784 p.
124. OSAER A. (1996) - Les filets paragrêle -, *centre technique interprofessionnel des fruits et légumes*, Paris, 182 p.
125. OUESLATI A. (1999) - Les inondations en Tunisie -, *Orbis impression*, Tunisie, 206 p.
126. PALENCIA C. et al, (2009) - Hailpad-based research: A bibliometric review -, *Atmospheric Research*, 93, p. 664–670.
127. PALUCH L. (1978) - Size sorting of hail in a three-dimensional updraft and implications for hail suppression -, *National center for atmospheric research*, EU, p. 763-777.
128. PARRY M.L. (1978) - Climatic change : agriculture and settlement -, *Dawson. archon books*; RU, 214 p.
129. PEDELABORDE P. (1983) - Introduction à l'étude scientifique du climat -, *SEDES*, Paris, 353 p.
130. PEGUY CH. P. (1970) - Précis de climatologie -, *Masson et Cie éditeurs*, deuxième édition, Paris, 468 p.
131. PEREZ R. C. et PULIAFITO E. (2006) - Study of hailstorms cells producing big damages in Mendoza (Argentina) -, *ERAD*, Argentine, 4 p.
132. PIGEAN P. ( ? ) - Géographie critique des risques -, *Economica anthropos*, France, 217 p.
133. PO AKAL D. ET ŠTALEC J. (2003) - Statistical analysis of hail in the hail-protected western part of Croatia using data from hail suppression stations -, *Atmospheric research*, n° 76-68, p. 533-540 .
134. PO AKAL D., VE ENAJ Ž. ET ŠTALEC J. (2009) - Hail characteristics of different regions in continental part of Croatia based on influence of orography -, *Atmospheric research*, n° 93, p. 516-525.
135. RENCONTRE ANNUELLE DE GEOGRAPHIE DES RISQUES (2005) - La réduction de la vulnérabilité de l'existant face aux risques naturelles -, *GESTER, université Paul –Valéry et master pro.*, Montpellier ; 270 p.
136. REVUE "AGRESTE PROVENCE ALPES COTE D'AZUR "(2008) - Arboriculture fruitière : Toujours plus de protections contre les aléas climatiques -, *Agreste paca – étude*, n° 39, France, 6 p.
137. REVUE "AGRESTE ALSACE" (2010) - L'arboriculture en alsace : une activité agricole bien enracinée mais minoritaire -, n° 10, avril 2010, France, 2 p.

- 138.** REVUE "GRÊLE INFO" (2009) - 23 juillet 2009: Une journée de grêle dévastatrice -, *Société suisse d'assurance contre la grêle*, Suisse, 12 p.
- 139.** REVUE "JEUNES AGRICULTEURS" (2000) - Les vergers de pommes se couvrent -, n° 552, août 2000, France, 3 p.
- 140.** REVUE "L'ARBORICULTURE FRUITIERE" (2001) - Effets secondaires et conséquences sur la conduite du verger : filets paragrêle -, N° 553, octobre 2003, France, 5 p.
- 141.** REVUE "L'ARBORICULTURE FRUITIERE" (2003) - Quelle couleur de filet pour quelle variété de pommes -, N° 571, mai 2003, France, 5 p.
- 142.** REVUE "L'INFORMATION GEOGRAPHIQUE" (2003) - La couverture paragrêle : bilan des pratiques actuelles -, N° 577, décembre 2003, France, 5 p.
- 143.** REVUE "LA RURALE" (2011) - La grêle : explication du phénomène et méthodes de lutte -, *La rurale-assurance grêle*, France, 3 p.
- 144.** REVUE "LA RURALE" (2011) - Le contrat : les garanties, nos expertises et tarifs -, *La rurale-assurance grêle*, France, 3 p.
- 145.** REVUE "RISK ASSESSMENT" (2012) – Hail -, *DMA 2000 Hazard Mitigation Plan (Oklahoma Country)*, Oklahoma (EU), 11 p.
- 146.** ROBERTS R.A.J. (2005) - Assurance des récoltes dans les pays en développement -, *Organisation des Nations Unies pour l'agriculture et l'alimentation*, Rome (Italie), 59 p.
- 147.** ROMAN M. H. (2001) – Relationship between hailfall intensity and hail damage on ground, determined by radar and lightning observations -, *ADAG Copy AG*, Zurich (Suisse), 140 p.
- 148.** ROUX F. (1991) - Les orages : météorologie des grains de la grêle et des éclairs -, *Editions Payot*, Paris, 355 p.
- 149.** SAIDI H. (1976) - La grêle en Tunisie -, *Institut national de la météorologie*, Tunisie, 116 p.
- 150.** SANCHEZ J., MARCIS J., FUENT M. et CASTRO A. (1997) – A logistic regression model applied to short term forecast of hail risk -, *Université de Léon*, volume 23, n° 5-6, Espagne, p. 645-648.
- 151.** SAOUI L. (1986) - La grêle en Tunisie : étude statistique (1970 - 1979) et prévision -, *Bureau de l'inventaire des ressources hydrauliques*, Tunisie, 66 p.
- 152.** SCHUSTER S. et BLONG R. (2004) - Hailstorms and the estimation of their impact on residential buildings using radar -, *6<sup>th</sup> International Symposium on Hydrological Applications of Weather Radar*, Melbourne, Australie, 7 p.
- 153.** SCHUSTER S., BLONG R. ET MILTON S. (2005) - A hail climatology of the greater Sydney area and new south Wales, Australia -, *International journal of climatology*, n°25, p. 1633-1650.
- 154.** SCHUSTER S., BLONG R. ET MCANENEY K. (2006) - Relationship between radar-derived hail kinetic energy and damage to insured buildings for severe hailstorms in eastern Australia -, *Atmospheric research*, n°81, p. 215-235.

155. SHARMA S. (2012) - Study of hail storm features in mesoscale convective systems over south east Asia by TRMM –precipitation radar and TRMM - microwave imager -, *the 7<sup>th</sup> European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology*, Toulouse (France), 6 p.
156. SIJ J., OTT J., OLSON B. et BAUGHMAN T. (2005) - Growth and yield response to simulated damage in guar -, *American society of agronomy*, EU, p. 1636-1639.
157. SIMEONOV P. (1995) - An overview of crop hail damage and evaluation of hail suppression efficiency in Bulgaria -, *Journal of applied meteorology*, Sofia (Bulgaria), volume 35, p. 1574-1581.
158. SIOUTAS M. et FOLCAS H.A. (2003) - Hailstorms in northern Greece : synoptic patterns and thermodynamic environment -, *University of Athens*, Greece, p. 189-202.
159. SIOUTAS M. (2011) - Hail occurrence in Greece -, *6<sup>th</sup> European Conference on Severe Storms*, Palma de Mallorca, Balearic Islands (Spain), 3 p.
160. SUWAŁA K. (2001) - Hail occurrence in Poland -, *Quaestiones Geographicae*, Poland, 115-126 pages.
161. SWISS RE FOCUS REPORT (2005) - Hailstorms in Europe : a new look at a familiar risk -, *Swiss reinsurance compagny*, Zurich (Suisse), 8 p.
162. TRIPLET J.P. et ROCHE G. (1971) - Météorologie générale -, *Ecole nationale de la météorologie*, Paris, 317 p.
163. TUDURI E. (2003) - The 14 July 2001 hailstorm in northeastern Spain : diagnosis of the meteorological situation -, *Atmospheric Research* 67 – 68, Espagne, p. 541–558 pages.
164. TUOVINEN J. P. et al...,(2009) - Climatology of severe hail in Finland: 1930–2006 -, *Monthly Weather Review*, volume 137, EU, p. 2238-2249.
165. URBAPLAN, CNEA, DIRASSET, SCET-TUNISIE (1985) – Atlas -, *Ministère de l'Équipement et de l'Habita / Direction de l'Aménagement du Territoire*, Tunisie, 120 p.
166. VENTO D. (1978) - L'angle de chute au sol de la grêle -, *Atmosphere-Ocean* 16, Canadian Meteorological and Oceanographic Society, Canada, p. 81-85.
167. VEYRET Y. (2003) - Les risques - *Dossiers des images économiques du monde*, SEDES/VUEF, Paris, 255 p.
168. VEYRET Y. (2004) - Risques naturels et aménagement en Europe -, *Armand colin*, Paris ; 254 p.
169. VEYRET Y. (2004) - Comprendre, rechercher et s'entraîner les risques -, *Amphi géographie*, Paris ; 255 p.
170. VEYRET Y. (2005) - Risques naturels et territoire -, *Bulletin de l'association de géographie française*, Paris, 128 p.
171. VILLEVIEILLE A. (1997) - Les risques naturels en méditerranée : situation et perspectives -, *Les fascicules du plan bleu*, Paris ; 160 p.

- 172.** VINET F. (1997) - Les risques climatiques, crise et gestion du risque : l'exemple de la recrudescence des chutes de grêle de 1992 à 1994 -, *Les risques liés au climat dir. D. Lamarre - éditions universitaires de Dijon*, France, p. 151-161.
- 173.** VINET F. (1998) - La gestion du risque grêle en France -, *Revue risques*, France, p. 34 et p. 41-50 pages.
- 174.** VINET F. (1998) - Le risque grêle en France : une approche de l'aléa par les données grêlimétriques -, *Cahiers nantais*, France, p. 49 et p. 57-70.
- 175.** VINET F. (1999) - Le traitement des données climatiques par carroyage : la cartographie des données grêlimétriques dans le sud-ouest de la France -, *Publications de l'association internationale de climatologie*, n°12, p. 368-376.
- 176.** VINET F. (2000) - Le risque-grêle en agriculture -, *Editions Lavoisier tec&doc*, France, 258 p.
- 177.** VINET F. (2000) - Climatology of hail in France -, (Actes du colloque international de février 2000 à Toulouse : conférence on european tornadoes and severe storms), *Atmospheric research*, p. 56-114 et p. 309-323.
- 178.** VINET F. (1998) - Le risque-grêle en France, étude géographique -, *Thèse de doctorat*, 650 p.
- 179.** VINET F. (2002) - La question du risque climatique en agriculture : le cas de la grêle en France -, *Annales de Géographie*, Volume 111, n°627-628, p. 592-613.
- 180.** VINET F. (2007) - Approche institutionnelle et contraintes locales de la gestion du risque recherches sur le risque inondation en Languedoc-Roussillon -, *Mémoire HDR, Université Paul-Valéry*, Montpellier (France), 270 p.
- 181.** WEBB J., ELSOM D. et MEADEN G. (2009) - Severe hailstorms in Britain and Ireland, a climatological survey hazard assessment -, *Atmospheric research*, n°93, p. 587-606.
- 182.** XIE B. et al, (2008) - Trends in hail in China during 1960–2005 -, *Geophysical Research Letters*, Vol. 35, EU, 5 p.
- 183.** YU B., YIN J. ET SHIMADA J. (2013) - Modeling and quantification of severe hailstorm risk in Spain from re/insurance perspectives -, *7<sup>th</sup> European Conference on Severe Storms*, Helsinki (Finland), 3 p.
- 184.** ZHANG C. et ZHANG Q. (2008) - Climatology of hail in China: 1961/2005 -, *Zhang et al., Peking university*, Beijing (Chine), p. 795-804.

## **Organismes**

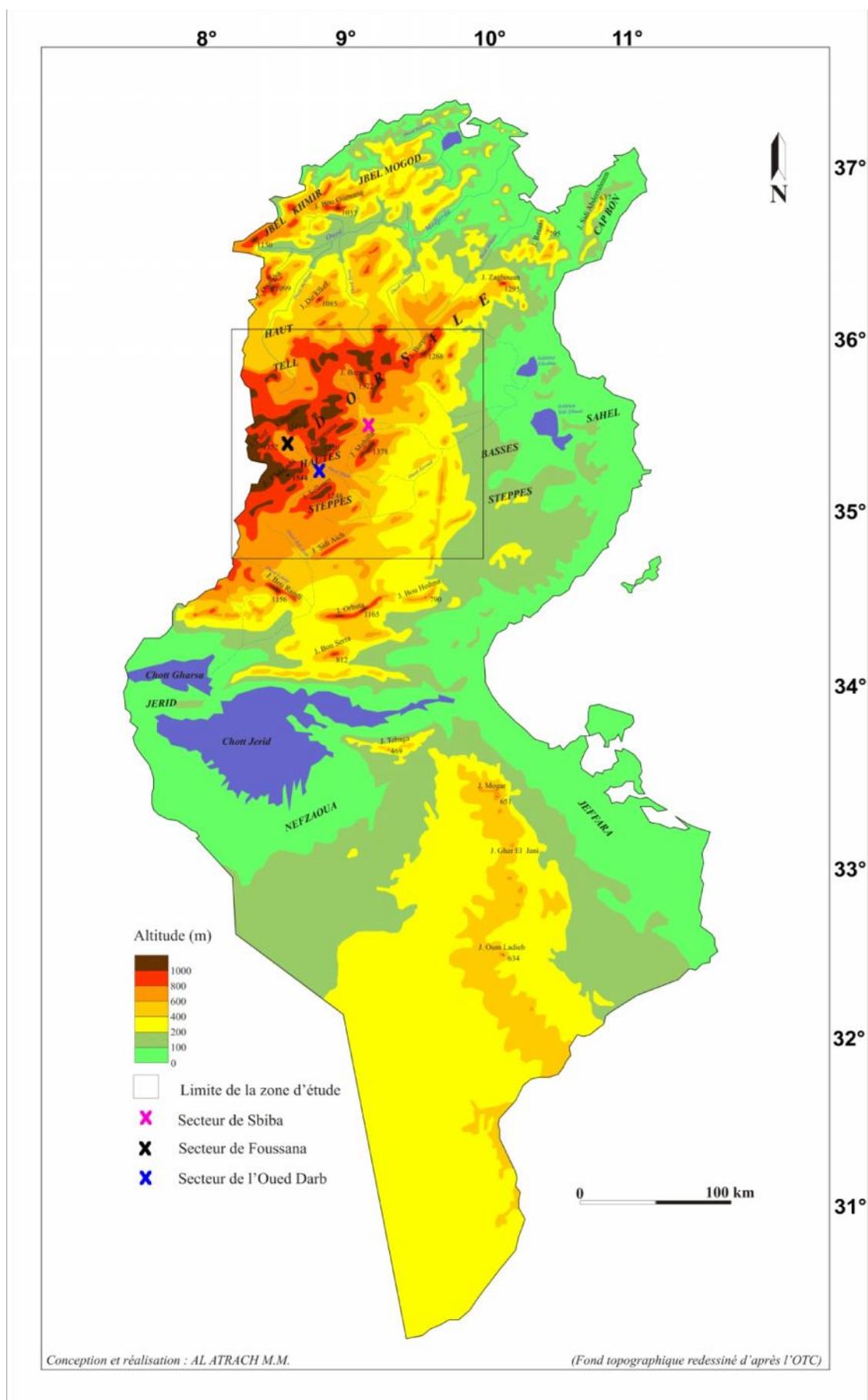
- Archives Nationales / Centre de Documentation Nationale.
- ASTREE Assurances.
- Caisse Tunisienne d'Assurance Mutuelle Agricole (CTAMA).
- Commissariats Régionaux pour le Développement Agricole (Béja, Bizerte, Gafsa, Jendouba, Kairouan, Kasserine, Le Kef, Médnine, Nabeul, Sidi Bouzid et Zaghuan).

- Commissariat National pour le Développement Agricole de Tunis (CNDA).
- Compagnie Méditerranéenne d'Assurances et de Réassurances (COMAR).
- Fédération Tunisienne des Sociétés d'Assurances (FTUSA).
- Groupe Interprofessionnel des Fruits (GI Fruits).
- Institut National de la Météorologie (INM).
- LLOYD Tunisien.
- Ministère de l'Agriculture/Direction de la Vulgarisation et de la Formation Agricole (DVFA).
- Ministère de l'Agriculture/Direction Générale de la Production Végétale (DGPV).
- Ministère de l'Agriculture/Direction Nationale de la Production Agricole (DNPA).
- Ministère de l'Agriculture/Observatoire Nationale d'Agriculture (ONAGRI).
- Office de Topographie et de Cartographie (OTC).
- Société Tunisienne d'Assurances et de Réassurances (STAR).

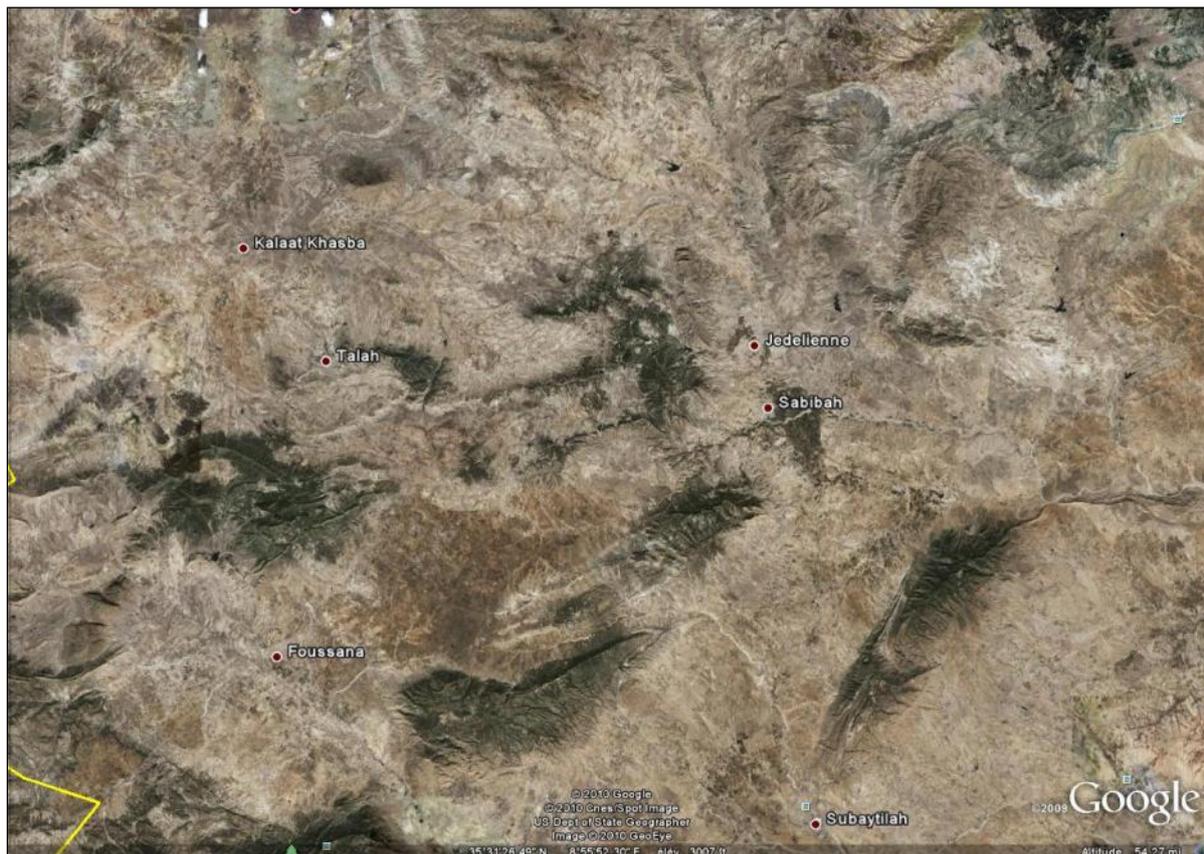
### **Sites Internet**

- [www.grtr-strasbourg.fr](http://www.grtr-strasbourg.fr)
- [www.infomet.am.ub.esarxiometeosatarxius](http://www.infomet.am.ub.esarxiometeosatarxius)
- [www.meteociel.fr](http://www.meteociel.fr)
- [www.meteo-france.fr](http://www.meteo-france.fr)
- [www.meteosat.com](http://www.meteosat.com)
- [www.soaringmeteo.com](http://www.soaringmeteo.com)
- [www.sat24.com](http://www.sat24.com)
- [www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)
- [www.scirus.com](http://www.scirus.com).

**ANNEXE**  
**(QUESTIONNAIRE)**  
**(La région des Hautes Steppes tunisiennes au Centre-ouest)**



Limite de la zone d'étude : Les Hautes Steppes tunisiennes.



Vue de proche des secteurs d'étude

NOM.....

PRÉNOM.....

ÂGE.....ans. . ..

SEX : .....

DÉLÉGATION.....المعتمدية

NIVEAU D'ÉDUCATION.....

**LA GRÊLE DOMMAGEABLE DANS LA RÉGION DES HAUTES STEPPES TUNISIENNES**

1. Depuis quand résidez-vous à Kasserine ?  
.....

2. Connaissez-vous la grêle ?

Oui  Non

3. Quelle est pour vous la saison la plus grêlée ?  
.....

4. Quel est pour vous le mois le plus grêlé ?  
.....

5. Combien de fois par an votre verger subit-il des chutes de grêle ?  
.....

6. Durant la journée, à quelles heures généralement la grêle manifeste-t-elle ?  
.....

7. D'après votre expérience, de quelle direction viennent généralement les orages de grêle ?

Nord-ouest..... Ouest..... Sud-ouest.....

8. Pouvez-vous prédire si tel orage portera de la grêle ou non ?

Oui  Non

Comment ?.....  
.....  
.....  
.....  
.....

9. Le plus souvent quelles sont les dimensions des grêlons ?

D < 5 mm..... D > 5mm.....

10. Quel était le record des plus gros grêlons ? Et c'était à quel mois et à quelle année ?

.....  
.....  
.....  
.....

**L'ARBOLICULTURE DANS LA RÉGION DES HAUTES STEPPES TUNISIENNES (GOVERNORAT DE KASSERINE)**

11. Quel type de culture pratiquez-vous ?

.....  
.....

12. Pourquoi avez vous choisi cette culture ?

.....  
.....  
.....  
.....

13. Depuis quand pratiquez-vous cette culture ?

.....

14. Quelle la superficie totale de cette culture ?

.....

15. Vous l'avez acheté et vous l'avez hérité ? ou locataire ?

.....  
.....

16. Combien de membres de famille s'occupent de cette activité ?

.....

17. Y a-t-il des revenus autres que ceux venant de votre agriculture ?

Oui  Non

Les quels ? .....

.....  
.....

**LES DOMMAGES DE LA GRÊLE ET LES MOYENS DE PROTECTION**

18. Autres que la grêle, quels sont les risques naturels qui menacent la pratique de votre culture ?

.....  
 .....  
 .....

19. Ces risques, présentent-ils des risques majeurs face à votre activité agricole ?

Oui  Non

A quelles périodes de l'année.....  
 .....  
 .....

20. Pouvez-vous les classer de la plus grave (1) à la moins grave (6)?

Inondation	Gel	Sécheresse	Grêle	coup de vent tempête	Autres (précisez)

21. Vous assurez-vous contre la grêle ?

Oui  Non

Si oui Quand et comment ?.....  
 .....  
 .....

Si non Pourquoi ?.....  
 .....  
 .....

22. Utilisez-vous les filets paragrêle ?

Oui  Non

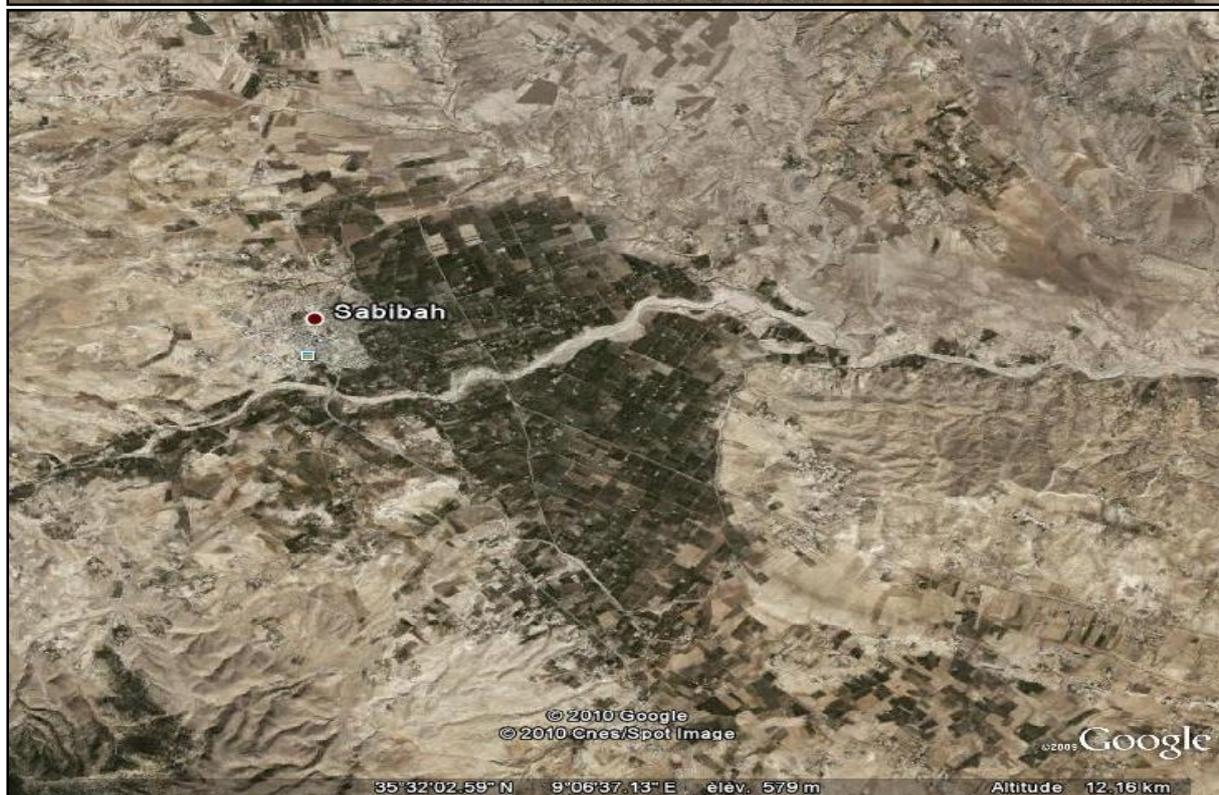
Si oui Quand et comment ?.....  
 .....  
 .....

Si non Pourquoi ?.....  
 .....  
 .....

23. Pensez-vous qu'on puisse limiter les conséquences des chutes de grêle ? par quels moyens ?.....

.....  
 .....  
 .....

## QUESTIONNAIRE (Aux agriculteurs des pommiers à Sbiba)



Le secteur de Sbiba.

NOM.....

PRÉNOM.....

ÂGE..... ans. . ..

SEX : .....

DÉLÉGATION.....المعتمدية

NIVEAU D'ÉDUCATION.....

### LES POMMIERS DE LA RÉGION DE SBIBA

1. Quelle superficie cultivez-vous en pommiers ?

.....

2. Combinez-vous d'autres arbres fruitiers avec les pommiers ? هل تدمج معها غراسات

Oui..... Non.....

Les quels..... ما هي؟

.....

.....

3. Quelles variétés pratiquez-vous les plus ?

.....

.....

.....

4. Pourquoi ces variétés et pas d'autres ?

لماذا هذه الأصناف دون غيرها؟

.....

.....

.....

5. Quels sont leurs rendements par pied ou par hectare ? كم يبلغ مردودها بالنسبة للشجرة  
الواحدة أو في الهكتار؟

.....

.....

.....

6. Quelle est la destination du produit ?

ما هي وجهة المنتج؟

Pour l'exportation  للتصدير

Pour la consommation locale  للاستهلاك المحلي

7. Quelle destination garantie-t-elle le plus de revenus ? أي وجهة تضمن مداخيل أكثر؟

Comment ? كيف؟

8. En absence de la grêle, ces revenus sont toujours garantis ? هل في غياب تساقط البرد، هل هذه المداخيل مضمونة دائما؟

Oui..... Non.....

9. Quels sont les risques qui peuvent menacer les cultures de pommes, autres que la grêle ? ما هي المخاطر الأخرى، عدى حجر البرد، التي يمكن أن تهدد غراسات التفاح؟

## LA GRÊLE ET LES MOYENS DE PROTECTION

10. Combien de fois par ans voyez-vous la grêle ? كم من مرة خلال السنة تشاهد فيها تساقط حجر

A quel mois ? في أي شهر؟

11. Durant quel stade végétatif les dégâts se manifestent-ils le plus souvent ?

مرحلة نباتية يسجل أكثر مستوى للأضرار المنجرة عن حجر البرد؟

12. Avant ces chutes de grêle, faites-vous des pratiques de prévention ?

البرد، هل تقوم بعمليات وقائية؟

Oui.....

Les quelles ? ما هي؟

Non.....

Pourquoi ?

13. Parmi ces méthodes quelles sont pour vous les plus efficaces contre la grêle ?

الطرق الوقائية التي تراها ناجعة أكثر؟

filets	Assurance	Canon antigrêle	Fusées antigrêle	Prière

14. Vous assurez-vous contre la grêle ?

هل تؤمن غراسات التفاح ضد حجر البرد؟

Oui.....

Quand et comment ?.....متى و كيف؟

.....

Non.....

Pourquoi ?.....

.....

15. Utiliser-vous les filets paragrêle ?

هل تستعمل الشباك الواقية من حجر البر

Oui.....

Comment ?.....كيف؟

.....

Non.....

Pourquoi ?.....

.....

16. Quelles sont vos sources de financement ?

ما هي مصادرك للتمويل؟

.....  
 .....  
 .....  
 .....

17. Vous Souvenez-vous des deux chutes de grêle du 02 et du 10 mai 2002 ? هل تتذكر  
 2002 10 02

Oui

Non

18. Votre parcelle a subi des dégâts ou non ?

هل تضررت غراساتك؟

Oui

Non

19. A combien, les pertes ont été estimées (en %) ? (%)

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

20. Avez-vous été remboursé ou non ? هل وقع تعويضك في هذه الخسائر؟

Oui  Non

Pour combien ?.....بكم تحديدا؟

.....  
.....  
.....

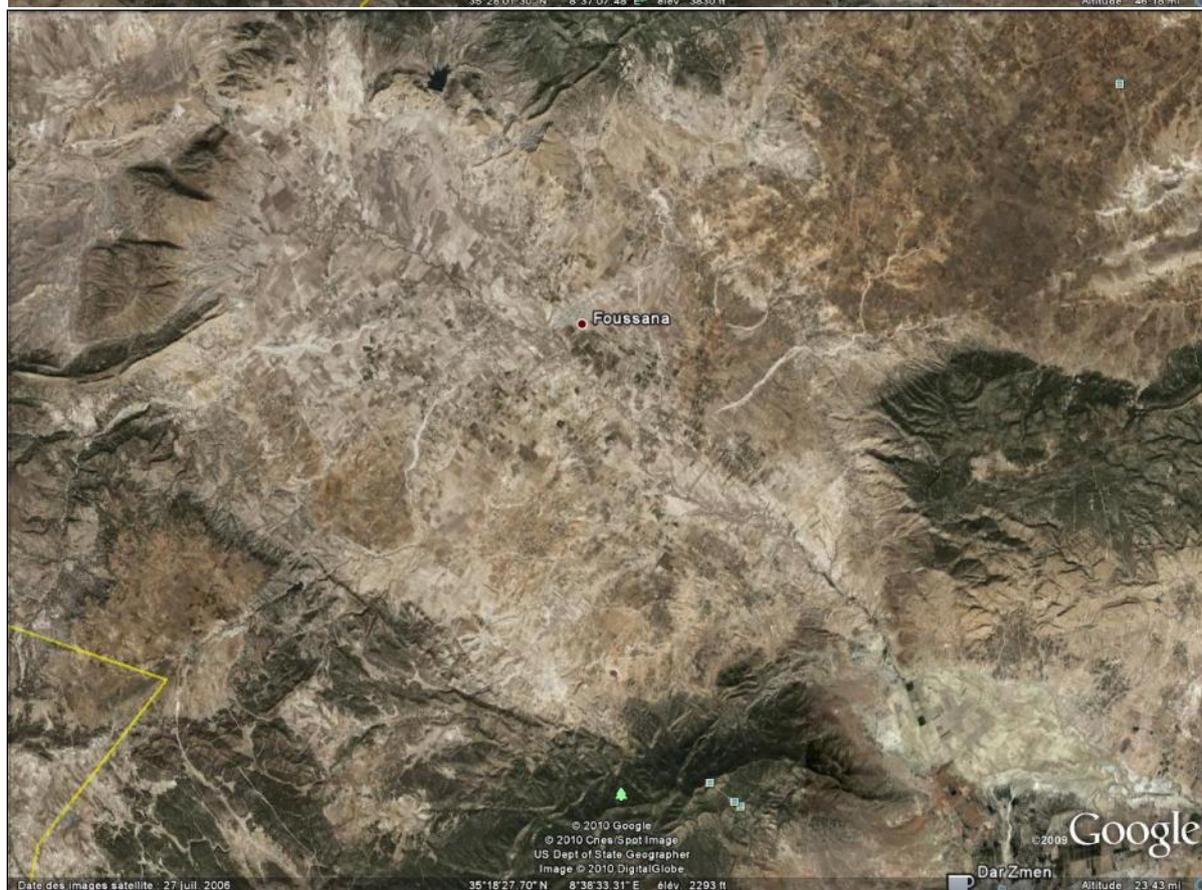
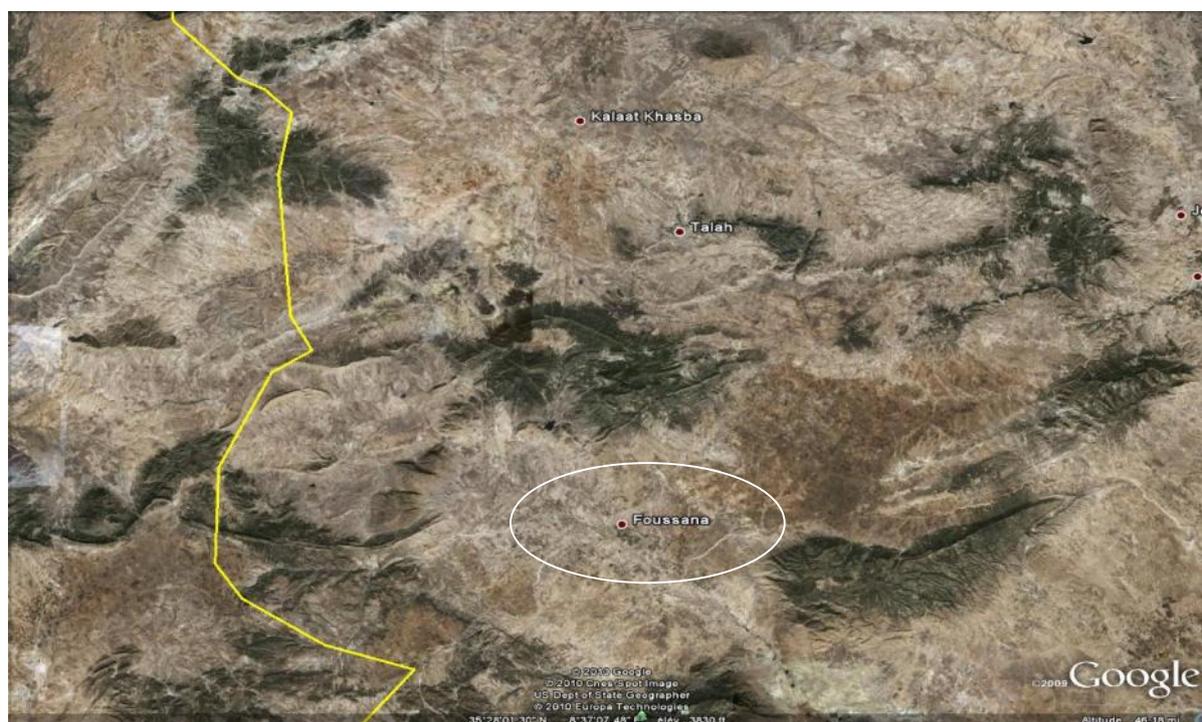
21. Après une chute de grêle, prenez vous des mesures particulières ? هل تساقط البرد، هل تقوم بعمليات معينة؟

Oui  Non

lesquelles (traitement phytosanitaire, engraissement des terres...etc.) ? ما هي ( إعادة تهيئة الأرض... )

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

## QUESTIONNAIRE (Aux agriculteurs des pommiers à Foussana)



**Le secteur de Foussana.**

NOM.....

PRÉNOM.....

ÂGE.....ans. .

SEX : .....

DÉLÉGATION.....المعتمدية

NIVEAU D'ÉDUCATION.....

### LES POMMIERS DE LA RÉGION DE FOUSSANA

1. Quelle superficie cultivez-vous en pommiers ?

.....

2. Combinez-vous d'autres arbres fruitiers avec les pommiers ? هل تدمج معها غراسات

Oui..... Non.....

Les quels..... ما هي؟

.....

3. Quelles variétés pratiquez-vous les plus ?

.....

4. Pourquoi ces variétés et pas d'autres ? لماذا هذه الأصناف دون غيرها؟

.....

5. Quels sont leurs rendements par pied ou par hectare ? كم يبلغ مردودها بالنسبة للشجرة ؟  
الواحدة أو في الهكتار؟

.....

6. Quelle est la destination du produit ?

ما هي وجهة المنتج؟

Pour l'exportation  للتصدير

Pour la consommation locale  للاستهلاك المحلي

7. Quelle destination garantie-t-elle le plus de revenus ?

أي وجهة تضمن مداخيل أكثر؟

Comment ?..... كيف؟

8. En absence de la grêle, ces revenus sont toujours garantis ? هل في غياب تساقط البرد، هل هذه المداخيل مضمونة دائما؟

Oui..... Non.....

9. Quels sont les risques qui peuvent menacer les cultures de pommes, autres que la grêle ? ما هي المخاطر الأخرى، عدى حجر البرد، التي يمكن أن تهدد غراسات التفاح؟

## LA GRELE ET LES MOYENS DE PROTECTION

10. Combien de fois par ans voyez-vous la grêle ? كم من مرة خلال السنة تشاهد فيها تساقط حجر

A quel mois ?..... في أي شهر؟

11. Durant quel stade végétatif les dégâts se manifestent-ils le plus souvent ?

مرحلة نباتية يسجل أكثر مستوى للأضرار المنجرة عن حجر البرد؟

12. Avant ces chutes de grêle, faites-vous des pratiques de prévention ?

البرد، هل تقوم بعمليات وقائية؟

Oui.....

Les quelles ?..... ما هي؟

Non.....

Pourquoi ?.....

13. Parmi ces méthodes quelles sont pour vous les plus efficaces contre la grêle ?

الطرق الوقائية التي تراها ناجعة أكثر؟

filets	Assurance	Canon antigrêle	Fusées antigrêle	Prière

14. Vous assurez-vous contre la grêle ?

هل تؤمن غراسات التفاح ضد حجر البرد؟

Oui.....

Quand et comment ?.....متى و كيف؟

.....

Non.....

Pourquoi ?.....

.....

15. Utiliser-vous les filets paragrêle ?

هل تستعمل الشباك الواقية من حجر البر

Oui.....

Comment ?.....كيف؟

.....

Non.....

Pourquoi ?.....

.....

16. Quelles sont vos sources de financement ?

ما هي مصادرك للتمويل؟

.....

.....

.....

.....

17. Vous Souvenez-vous des deux chutes de grêle du 02 et du 10 mai 2002 ? هل تتذكر

2002 10 02

Oui

Non

18. Votre parcelle a subi des dégâts ou non ?

هل تضررت غراساتك؟

Oui

Non

19. A combien, les pertes ont été estimées (en %) ? (%)

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

20. Avez-vous été remboursé ou non ? هل وقع تعويضك في هذه الخسائر؟

Oui  Non

Pour combien ? .....بكم تحديدا؟

.....  
.....  
.....

21. Après une chute de grêle, prenez vous des mesures particulières ? هل بعد تساقط البرد، تقوم بعمليات معينة؟

Oui  Non

lesquelles (traitement phytosanitaire, engraissement des terres...etc.) ? ما هي ( إعادة تهيئة الأرض... )

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

**Table des figures**

N°	Titre	Page
1	Répartition et intensité des orages de grêle sur la surface du globe	14
2	Exemple de la différence entre jour de grêle et chute de grêle à l'échelle temporelle	30
3	Exemple de la différence entre jour avec grêle et chute de grêle à l'échelle spatiale	30
4	Réseau des stations retenues	32
5	Répartition du nombre annuel moyen de chutes de grêle en Tunisie entre 1976 et 2005.	39
6	Régime saisonnier moyen du nombre de jours de grêle en Tunisie entre 1976 et 2005.	40
7	Grêle d'hiver et grêle d'été en Tunisie entre 1976 et 2005.	41
8	Répartition de la fréquence de la grêle d'hiver en Tunisie entre 1976 et 2005.	43
9	Répartition de la fréquence de la grêle d'été en Tunisie entre 1976 et 2005.	46
10	Répartition du nombre printanier moyen de chutes de grêle en Tunisie entre 1976 et 2005.	49
11	Répartition du nombre estival moyen de chutes de grêle en Tunisie entre 1976 et 2005.	52
12	Répartition de la pluviométrie moyenne de l'été en Tunisie (1935-1994).	53
13	Structure des hydrométéores dans un nuage orageux.	57
14	Processus microphysiques de formation de la grêle.	59
15	Parcours d'un grêlon au sein d'un nuage.	60
16	Coupe transversale d'un grêlon.	60
17	Dynamique de la grêle dans un orage multicellulaire.	61
18	Dynamique de la grêle dans un orage supercellulaire.	62
19	Coupe horizontale d'une supercellule.	64
20	Coupe verticale d'une supercellule et principales zones des précipitations.	64
21	Limite des régions grêlifères en Tunisie.	66
22	Limites des zones des lieux des dépressions en surface.	67
23	Part des mois d'été en jours de grêle entre 1976 et 2005.	68
24	Situation atmosphérique du 03/05/1998.	69
25	Situation atmosphérique au sol du 08/06/2011	70
26	Situation atmosphérique du 20/05/1990.	73
27	Situation atmosphérique du 18/05/2000.	74
28	Situation atmosphérique du 19/09/1984.	74
29	Part des mois d'hiver en chutes de grêle entre 1976 et 2005.	75
30 et 30 bis	Situation atmosphérique au sol du 14/11/2012 (à gauche) et 15/11/2012 (à droite).	76
31	Situation atmosphérique du 14/11/2012.	76
32	Situation atmosphérique du 15/11/2012.	77
33	Situation atmosphérique du 22/02/1982.	78
34	Situation atmosphérique du 18/04/1985.	80
35	Situation atmosphérique du 06/04/2013.	81
36	Situation atmosphérique au sol du 28/04/1985.	82
37	Situation atmosphérique du 07/10/1998.	85
38	Fréquence moyenne des diamètres des grêlons en Tunisie.	91
39	Fréquence saisonnière des diamètres des grêlons en Tunisie.	92
40	Fréquence horaire des chutes de grêle par tranches de 06 heures en Tunisie.	94
41	Durée des orages de grêle à Jendouba (N-O)	95
42	Durée des orages de grêle à Ghar El Melh (N-E).	95
43	Durée des orages de grêle à Kasserine (C-O).	95

44	Durée des orages de grêle à Kairouan (C-E).	95
45	Durée des orages de grêle à Gafsa (S-O).	95
46	Durée des orages de grêle à Gabès (S-E).	95
47	Variation inter-annuelle des nuages de grêle en Tunisie entre 1976 et 2005.	96
48	Mise en évidence des cœurs de grêle lors d'une averse de grêle.	97
49	Situation atmosphérique du 18/05/2000.	98
50	Dégâts de l'averse de grêle du 18 mai 2000 à Gafsa dans la région du Sud-ouest tunisien.	99
51	Températures au niveau du 850 hPa.	100
52	Situation atmosphérique du 19/09/2007.	101
53	Trajets des nuages de grêle en Tunisie.	106
54	Vent de la circulation générale et trajectoires des orages.	107
55	Trajectoirs des orages de grêle et relief en Tunisie.	109
56	Grêle et relief dans la région de Gafsa (Sud-ouest de la Tunisie).	111
57	Géographie des chutes de grêle en Tunisie.	121
58	Les dégâts de la chute de grêle sur la vigne.	131
59	Répartition des surfaces des céréales (blé et orge) en 2004/2005 en Tunisie.	136
60	Répartition des surfaces arboricoles en 2004/2005 en Tunisie.	138
61	Evolution de la production du secteur arboricole entre 1956 et 2005 en Tunisie.	139
62	Répartition des chutes de grêle pendant la maturation des céréales (blé et orge).	140
63	Répartition des superficies céréalières par gouvernorat en 2005 en Tunisie.	140
64	Répartition des chutes de grêle pendant la maturation des olives.	142
65	Répartition des superficies des oliviers par gouvernorat en 2005 en Tunisie.	142
66	Répartition des chutes de grêle pendant la maturation des vignes.	144
67	Répartition des superficies des vignobles par gouvernorat en 2005 en Tunisie.	144
68	Répartition des chutes de grêle pendant la maturation des abricots.	146
69	Répartition des superficies des abricotiers par gouvernorat en 2005 en Tunisie.	146
70	Répartition des chutes de grêle pendant la maturation des agrumes.	148
71	Répartition des superficies d'agrumes par gouvernorat en 2005 en Tunisie.	148
72	Répartition des chutes de grêle pendant la maturation des amandes.	150
73	Répartition des superficies des amandiers par gouvernorat en 2005 en Tunisie.	150
74	Répartition des chutes de grêle pendant la maturation des grenades.	152
75	Répartition des superficies des grenadiers par gouvernorat en 2005 en Tunisie.	152
76	Répartition des chutes de grêle pendant la maturation des dattes.	153
77	Répartition des superficies des dattiers par gouvernorat en 2005 en Tunisie.	153
78	Répartition des chutes de grêle pendant la maturation des prunes.	155
79	Répartition des superficies des pruniers par gouvernorat en 2005 en Tunisie.	155
80	Répartition des chutes de grêle pendant la maturation des pêches.	157
81	Répartition des superficies des pêcheurs par gouvernorat en 2005 en Tunisie.	157
82	Répartition des chutes de grêle pendant la maturation des pistaches.	159
83	Répartition des superficies des pistachiers par gouvernorat en 2005 en Tunisie.	159
84	Répartition des chutes de grêle pendant la maturation des pommes et des poires.	160
85	Répartition des superficies de pommiers et de poiriers par gouvernorat en 2005 en Tunisie.	160
86	Répartition des chutes de grêle pendant la maturation des pommes.	163
87	Répartition des superficies des pommiers par gouvernorat en 2005 en Tunisie.	163
88	Périodes des cépages en Tunisie.	164
89	Nombre mensuel moyen de chutes de grêle dans les stations du Nord-est de la Tunisie entre 1976 et 2005.	164
90	Répartition des superficies et des variétés des pommes par délégation au gouvernorat de Kasserine en 2010.	166

91	De la vulnérabilité des cultures à la tarification.	171
92	Les cultures fruitières concernées par l'assurance agricole en 2007.	201
93	Les superficies agricoles concernées par l'assurance en 2007.	201
94	Evolution des chiffres d'affaires de la grêle entre 2006 et 2007.	202
95	Règlements des sinistres-grêle par la CTAMA entre 2004 et 2007.	203
96	Taux des dégâts de grêle en Tunisie entre 1997 et 2001.	204
96 bis	Superficies touchées par la grêle à Kasserine entre 1997 et 2001.	206
97	Taux des dégâts entre 1997 et 2001.	206
98	Secteur agricole de Foussana et trajectoires de grêle.	207
99	Secteur agricole de l'Oued Darb et trajectoires de grêle.	209
100	Secteur agricole de Sbiba et trajectoires de grêle.	212
100 bis	Superficies touchées par la grêle au Kef entre 1997 et 2001.	215
101	Taux des dégâts entre 1997 et 2001.	215
101 bis	Superficies touchées par la grêle à Siliana entre 1997 et 2001.	218
102	Taux des dégâts entre 1997 et 2001.	218
102 bis	Superficies touchées par la grêle à Kairouan entre 1997 et 2001.	220
103	Taux des dégâts entre 1997 et 2001.	220
103 bis	Superficies touchées par la grêle à Sidi Bouzid entre 1997 et 2001.	221
104	Taux des dégâts entre 1997 et 2001.	221
105	Trajectoires des nuages de grêle à Nabeul (la région du Cap Bon au Nord-est).	222
105 bis	Superficies touchées par la grêle à Nabeul entre 1997 et 2001.	223
106	Taux des dégâts entre 1997 et 2001.	223
107	Taux de cotisation plancher « grêle » sur blé.	226
108	Taux de cotisation plancher « grêle » sur orge.	226
109	Taux de cotisation plancher « grêle » sur oliviers.	227
110	Taux de cotisation plancher « grêle » sur légumes.	227
111	Taux de cotisation plancher « grêle » sur pommiers et poiriers.	228
112	Relation entre les dommages et la fréquence des chutes de grêle.	229
113	Dégâts des chutes de grêle des 02 et 10 mai 2002 sur les pommiers de Sbiba du Gouvernorat du Kasserine.	232
114	La production de quelques cultures fruitières dans le gouvernorat de Kasserine durant les campagnes agricoles de 2001/2002 et de 2002/2003.	234
115	Les dégâts causés par les chutes de grêle des 02 et 10 mai 2002 dans les différentes délégations du gouvernorat de Kasserine.	236
116	Evolution de la production de pommes en Tunisie entre 1990 et 2005 et l'effet de la grêle des 02 et 10 mai 2002.	237
117	Les dégâts des chutes de grêle des 02 et 10 mai 2002 dans du Gouvernorat du Kasserine.	238
118	Image Infrarouge du 02 mai 2002.	239
119	Image Infrarouge du 10 mai 2002.	239
120	Situation atmosphérique au sol le 02 mai 2002.	240
121	Situation atmosphérique en altitude du 02 mai 2002.	241
122	Situation atmosphérique en altitude le 10 mai 2002.	241
123	Déplacement des courants-jet en altitude le 02 mai 2002 à 12h00 TU.	242
124	Déplacement des courants-jet en altitude le 10 mai 2002 à 12h00 TU.	242
125	Masse d'air l'air d'origine saharienne conditionnée par le déplacement des courants-jet en altitude le 02 mai 2002 à 00h00TU.	243
126	Masse d'air d'origine saharienne conditionnée par le déplacement des courants-jet en altitude le 10 mai 2002 à 00h00 TU.	244
127	Nombre de dossiers de souscription à l'assurance-grêle traité par la CTAMA entre 1996 et 1999.	245

128	Evolution de la production de pommes en Tunisie entre 1956 et 2005.	246
129	Concentration et dispersion du risque-grêle : comparaison de la région du sud de la région du centre-ouest.	253
130	Indemnisation des pertes selon la Règle Proportionnelle des Capitaux.	265
131	Superficies céréalières assurées contre la grêle pour la campagne agricole 1999-2000 en Tunisie.	269
132	Position de l'assurance-grêle dans le marché de l'assurance en 2005.	270
133	Les différents éléments du système de gestion du risque-grêle.	271
134	Sous-système de gestion de l'aléa (les chutes de grêle).	272
135	Sous-système de gestion du risque-objet (l'agriculture).	273
136	Part des revenus de l'assurance-grêle dans le portefeuille agricole en 2007.	275
137	Taux de couverture des cultures céréalières par l'assurance-grêle.	276
138	Les indemnisations des sinistres-grêle en milles Dinars en 2007.	277
139	Les relations financières dans le système « gestion-grêle ».	280
140	Les systèmes d'assurance agricole à l'échelle nationale.	288
141	Formulaire d'assurance contre la grêle.	289
142	Formulaire d'assurance contre la grêle.	290
143	Filet en chapelle : Système italien tendu en forte pente.	303
144	Filet en plat : Système autrichien.	308
145	Filet monorang.	309
146	Filet monorang avec écarteurs.	310
147	Relevés des températures sous et hors filet du 27/07 au 02/09/1996 dans un verger de pommiers à Nîmes dans le Sud de la France.	314
148	Humidité relative hors et sous filet (cristal autrichien) du 30/07 au 31/07/1996 dans un verger de pommiers à La Mornière dans le Sud de la France.	316
149	Rayonnement global sous et hors filet (cristal transversal) du 27/07 au 28/07/1996 dans un verger de pommiers à La Mornière dans le Sud de la France.	317
150	Vitesse maximum du vent sous et hors filet (cristal transversal) au mois du mai 1996 dans un verger de pommiers au CIREA au Sud de la France.	318
151	Effet des filets paragrêle sur le développement de la population d'abeilles.	319
152	Effet des filets paragrêle sur la surface de couvain.	319
153	Coloration de Mondial Gala sous et hors filet en 1996 dans un verger en Aquitaine au CIREA dans le Sud de la France.	321
154	Evolution de la couleur jaune de la pomme Golden Delicious en fonction de la couleur du filet.	322
155	Evolution de l' Amidon dans le fruit de Mondial Gala sous et hors filet.	323
156	Critères de déclassement en catégorie 2 et 3 de Pink Lady.	325
157	Effet du filet sur les coups de soleil pour le Pink Lady.	325
158	Décret n°2003-518 de 10 mars 2003 pour l'installation des filets préventifs de la grêle.	329
159	Superficies des pommiers couvertes par les filets préventifs de la grêle au gouvernorat de Kasserine pour la campagne agricole 2009/2010.	332
160	Diversification des cultures : une méthode de gestion du risque-grêle.	342
161	Les espaces du risque-grêle en Tunisie.	349
162	Hypothèse de partenariat public privé pour la prise en charge des filets paragrêle.	351

**Table des tableaux**

N°	Titre	Page
1	Signes conventionnels de quelques phénomènes Météorologiques	26
2	Périodes d'observation des stations retenues	27-28
3	Représentativité des données météorologiques.	28
4	Types de stations retenues.	31
5	Nomenclature des stations.	33-34
6	Les chutes des particules de grésil en Tunisie entre 1976 et 2005	37
7	Répartition saisonnière de chutes de grêle/station en Tunisie entre 1976 et 2005.	37
8	Dates limites de souscription et de cessation de l'assurance-grêle des principales cultures en Tunisie.	48
9	Grêle de la saison du printemps dans la région du Haut Tell entre 1976 et 2005.	50
10	Grêle de la saison d'été dans la région des Hautes Steppes tunisiennes entre 1976 et 2005.	51
11	Les chutes de grêle dans la station de Kasserine entre 1976 et 2005.	51
12	Critères météorologiques synoptiques des chutes de grêle en Tunisie.	87
13	Caractéristiques moyennes des grêlons.	89
14	Fréquence annuelle et saisonnière des diamètres des grêlons en Tunisie.	90
15	Trajets des orages de grêle en Tunisie.	105
16	Calendrier des périodes de maturation des céréales et des fruits en Tunisie (variétés précoces et tardives).	133
17	Durée d'exposition des variétés des poiriers et des pommiers aux chutes de grêle.	135
18	Effets de la grêle à Kasserine.	162
19	Vulnérabilité des cultures aux chutes de grêle en Tunisie.	168
20	Echelle de sensibilité des cultures d'après les assureurs dans le gouvernorat de Kasserine (Centre-ouest) pour la campagne agricole 2004/2005.	172
21	Echelle d'intensité des chutes de grêle.	175
22	Les effets de la grêle sur différentes cultures.	194
23	Les signes de l'Oïdium sur les différentes parties des plantes.	196
24	Les signes du mildiou sur les différentes parties des plantes.	197
25	Règlements des sinistres agricoles par l'assurance entre 2004 et 2007.	200
26	Les dommages causés par les chutes de grêle des 02 et 10 mai 2002 sur l'agriculture dans le gouvernorat de Kasserine.	233
27	Coût approximatif d'installation des filets paragrêle.	263
28	Couverture des cultures par l'assurance pour la campagne de 2007.	266
29	Situation de l'assurance agricole dans le marché de l'assurance entre 2004 et 2007 en Tunisie.	275
30	Règlements des sinistres agricoles par l'assurance entre 2004 et 2007.	277
31	Chiffre d'affaires des compagnies d'assurances dans le secteur de l'agriculture en Tunisie en matière d'assurance agricole (millions de DT) en 2007.	286
32	Historique de l'assurance agricole et l'assurance-grêle en Tunisie.	286-287
33	Dates limites de souscription à l'assurance-grêle.	291
34	Dates de cessation de la garantie relative à l'assurance-grêle.	291
35	Tarifification agricole du risque-grêle dans le gouvernorat de Kasserine (Centre-ouest) pour la campagne agricole de 2004/2005.	299
36	Coûts approximatifs d'installation des différents types des filets paragrêle en Tunisie.	313
37	Superficies agricoles concernées par les filets paragrêle entre 2005 et 2010 en Tunisie.	331
38	Répartition de la couverture en filets paragrêle en 2010 à Kasserine.	333
39	Structure des terres agricoles en 2007 en Tunisie.	338

**Table des photos**

N°	Titre	Page
1	Un Cumuls Congestus.	36
2 et 2 bis	Chute des particules de grésil du 04/06/2013 à El Álaa.	42
3	Grêle du 24/08/2008 à Foussana.	44
4	Grêlons de plus de 25 mm de diamètre du 06/04/2013 à Fériana.	44
5	Cumulus Humilis.	55
6	Cumulus Mediocris.	55
7	Cumulus Congestus.	55
8	Cumulonimbus Calvus.	55
9	Cumulonimbus capillatus.	56
10 et 10 bis	Chute de grêle du 08/06/2011 à Kairouan.	72
11	Grêle du 06/04/2013 au centre-ville de Fériana.	83
12	Taille des grêlons à Fériana le 06/04/2013.	83
13	Grêle du 06/04/2013 au centre-ville de Sbeïtla.	83
14	Taille des grêlons à Sbeïtla le 06/04/2013.	83
15	Grêle du 06/04/2013 au centre-ville d' El Alaa.	83
16	Taille des grêlons à El Alaa le 06/04/2013.	83
17	Trajectoires classiques des orages de grêle dans la région de Kasserine dans les Hautes Steppes tunisiennes.	110
18	Face opposée d'un pommier à la chute de grêle du 21 juillet 2010 à l'Oued Darb au gouvernorat de Kasserine au Centre-ouest.	113
19	Face exposée d'un pommier à la chute de grêle du 21 juillet 2010 à l'Oued Darb au gouvernorat de Kasserine au Centre-ouest.	113
20	Trace de la grêle sur le Cactus : un bon indicateur de l'acheminement des nuages de grêle.	114
21	Dégâts de la chute de grêle du 02/06/2007 sur les vignes de la commune de Guettis à Gafsa.	128
22 et 22 bis	Effets de la chute de grêle du 10 mai 2000 à El Fahs (Gouvernorat de Zaghouan) sur les céréales.	137
23	Effets de la chute de grêle du 19/09/2007 sur les pêches du Guettis.	156
24	Effets de la chute de grêle du 24/08/2008 sur les poiriers de foussana.	161
25	Effets de la chute de grêle du 24/08/2008 sur les pommiers de foussana.	161
26	L'influence exercée par l'orientation des rangs des vignes.	165
27	Glélimètre en place.	174
28	Encrage en noir d'une plaque grélimétrique.	174
29	Dépouillement par scanner des diamètres des Grêlons.	174
30	Effets de la chute de grêle du 24/08/2008 sur les pommes du Foussana.	176
31	Effets de la chute de grêle du 24/08/2008 sur les olives du Foussana.	177
32	Effets de la chute de grêle du 24/08/2008 sur les pistaches du Foussana.	177
33	Effets de la chute de grêle du 29/07/2010 sur les oliviers dans le secteur de Sbiba.	178
34	Effets de la chute de grêle du 02/06/2007 sur les ppastèques du Guettis à Gafsa.	178
35	Effets de la chute de grêle du 24/08/2008 sur les pommiers du Foussana à Kasserine.	179
36	Effets de la chute de grêle du 24/08/2008 sur les pommiers du Foussana à Kasserine.	179
37	Effets de la chute de grêle du 24/08/2008 sur les pommiers du Foussana à Kasserine.	180
38	Effets de la chute de grêle du 24/08/2008 sur les pommiers du Foussana à Kasserine.	180
39	Effets de la chute de grêle du 18/05/2008 sur les arbres fruitiers du Sers au Kef.	181
40	Effets de la chute de grêle du 24/08/2008 sur les branches des pommiers du Foussana à Kasserine.	181
41	Effets de la chute de grêle du 24/08/2008 sur les branches des pommiers du Foussana à Kasserine.	182

42	Effets de la chute de grêle du 02/06/2007 sur les canaux d'irrigation à Gafsa.	182
43	Effets de la chute de grêle du 10 mai 2000 à El Fahs (Gouvernorat de Zaghouan) sur les céréales.	183
44	Effets de la chute de grêle du 10 mai 2000 à El Fahs (Gouvernorat de Zaghouan) sur les céréales.	183
45	Effets de la chute de grêle du 21 juillet 2010 à l'Oued Darb au gouvernorat de Kasserine au Centre-ouest.	184
46	Effets de la chute de grêle du 24/08/2008 sur les pommes du Foussana à Kasserine.	185
47	Effets de la chute de grêle du 11/08/1997 sur les pêches de Kasserine.	185
48	Effets de la chute de grêle du 11/08/1997 sur les pommes de Sbiba.	186
49	Effets de la chute de grêle du 11/08/1997 sur les poires de Sbiba.	186
50	Effets de la chute de grêle du 02/06/2007 sur les pêcheurs du Guettis à Gafsa.	187
51	Effets de la chute de grêle du 02/06/2007 sur les pêches du Guettis à Gafsa.	187
52	Effets de la chute de grêle du 11/08/1997 sur les tomates de Kasserine.	187
53	Effets de la chute de grêle du 11/08/1997 sur les concombres dans le secteur de Kasserine.	188
54	Effets de la chute de grêle du 29/07/2010 sur le cactus du Sbiba à Kasserine.	189
55	Effets de la chute de grêle du 29/07/2010 sur le cactus du Sbiba à Kasserine.	189
56	Le cactus de Bled Zalfène à Kasserine.	190
57	Effets de la chute de grêle du 29/07/2010 sur le cactus du Sbiba à Kasserine.	191
58	Effets de la chute de grêle du 29/07/2010 sur le cactus du Sbiba à Kasserine.	192
59	Effets de la chute de grêle du 29/07/2010 sur le cactus du Sbiba à Kasserine.	192
60	Effets de la chute de grêle du 29/07/2010 sur le cactus du Sbiba à Kasserine.	193
61 et 61 bis	Signes de la tuberculose de l'olivier sur une branche attaquée par l'effet mécanique de la grêle à Sbiba au gouvernorat de Kasserine.	195
62	Signes de l'oïdium sur les fleurs et sur l'ovaire de vigne, attaqués par l'effet mécanique de la grêle.	196
63 et 63 bis	Signes de l'oïdium sur les feuilles et sur les branches de vigne, attaquées par l'effet mécanique de la grêle.	197
64	Signes du mildiou sur les feuilles de vigne attaquées par l'effet mécanique de la grêle.	197
65	Signes de la pourriture grise sur les différentes parties de la vigne attaquées par l'effet mécanique de la grêle.	198
66	Signes de l'Esca sur les différentes parties de la vigne attaquées par l'effet mécanique de la grêle.	199
67	Principale trajectoire de grêle entre le Bassin de Foussana et Oued Darb.	208
68	Grêle du 24/08/2008 à Foussana.	208
69	Effets de la grêle du 24/08/ 2008 sur les jeunes pommiers.	208
70	Effets de la grêle du 24/08/ 2008 sur les branches.	208
71	Effets de la grêle du 24/08/2008 sur les fruits de pommes.	208
72	Sortie de la principale trajectoire de grêle de l'ouverture Châambi-Semmama vers Oued Darb.	210
73	Terminaison de la principale trajectoire de grêle de l'Oued Darb vers l'ouverture Salloum-Mghila.	210
74	Effets de la grêle du 21/07/ 2010 sur les oliviers du secteur agricole de l'Oued Darb.	210
75	Effets de la grêle du 21/07/ 2010 sur les pommiers du secteur agricole de l'Oued Darb.	210
76	Trajectoire de grêle d'ouest passant par de l'ouverture Tioucha-Kef Ellouz vers la partie sud de l'Oued Sbiba.	211
77	Trajectoire de grêle du Sud-ouest passant par de l'ouverture Mghila-Tioucha vers la partie sud de l'Oued Sbiba.	213
78	Effets de la grêle du 11/08/1997 sur les pommiers du secteur agricole de Sbiba	213
79	Effets de la grêle du 11/08/1997 sur les poiriers du secteur agricole de Sbiba.	213
80	Trajectoire de grêle du Nord-ouest passant par de l'ouverture Kef Ellouz-Barrou vers la partie nord de l'Oued Sbiba.	214

81 et 81 bis	Grêle du 18/05/2002 à Essers du gouvernorat du Kef au Nord-ouest.	216
82	Effets de la grêle du 18/05/2002 sur les arbres fruitiers d'Essers du gouvernorat du Kef au Nord-ouest.	216
83 et 83 bis	Effets des chutes de grêle de l'année 1982 sur les agrumes et les vignes du Cap Bon.	224
84 et 84 bis	Jeunes poutres de pommiers protégées par les filets paragrêle à Ain Khmaissia dans la délégation de Sbiba.	262
85 et 85 bis	Pommiers en pleine production protégées par les filets paragrêle à Sbiba ville.	262
86 et 86 bis	Chute de grêle du 18 mai 2008 sur les champs de céréales de la délégation de Sers du gouvernorat du Kef au Nord-ouest.	266
87 et 87 bis	Dégâts de grêle du 18 mai 2008 sur les épis de blé.	266
88	Dégâts de grêle du 10 mai 2000 sur les oliviers de la délégation d'El Fahs du gouvernorat de Zaghouan au Nord-est.	267
89	Filet en chapelle : Système italien tendu en forte pente à Foussana au gouvernorat de Kasserine.	304
90	L'entre-rang des filets en chapelle à Foussana au gouvernorat de Kasserine.	304
91	Filet en chapelle modifié avec nouage (vue de face) : Système italien non tendu en forte pente à Jédéliène au gouvernorat de Kasserine.	305
92	Filet en chapelle modifié avec nouage (vue de profil) : Système italien non tendu en forte pente à Jédéliène au gouvernorat de Kasserine.	305
93	Filet en chapelle modifié avec nouage pour les jeunes pousses de pommiers à Hammar de la délégation de sbeitla au gouvernorat de Kasserine.	306
94	Hauteur importante des filets en chapelle avec une pente forte assure l'écoulement continu de la grêle ; Ain Khmaissia à Sbiba au gouvernorat de Kasserine.	306
95	Une meilleure conduite goutte à goutte suite à l'installation du filet en chapelle dans un champ de vignoble à Sidi Ali Saleh au gouvernorat du Kef au Nord-ouest.	307
96	Une meilleure conduite goutte à goutte suite à l'installation du filet en chapelle dans un champ de vignoble à Sidi Ali Saleh au gouvernorat du Kef au Nord-ouest.	307
97	Filets attachés aux troncs des pommiers à Sbiba au gouvernorat de Kasserine.	311
98	Distance adéquate entre les lignes des pommiers couverts par les filets paragrêle à Sbiba au gouvernorat de Kasserine.	311
99	Des poches se formant entre les arbres de pommiers couverts par les filets paragrêle à Sbiba au gouvernorat de Kasserine.	312
100	Tavelure sur les pommes.	320
101	Formes en courbes des rameaux sous l'effet de l'installation du filet dans un champ de vignoble à Sidi Ali Saleh au gouvernorat du Kef au Nord-ouest.	326
102	Passage des nouvelles pousses de l'année à travers les mailles du filet dans un champ de vignoble à Morneguia au gouvernorat de Ben Arous au Nord-est.	327
103	Passage des nouvelles pousses de l'année à travers les mailles du filet dans un champ de vignoble à Morneguia au gouvernorat de Ben Arous au Nord-est.	327
104	Passage des branches à travers le filet dans un champ de pommiers à Sbiba au gouvernorat de Kasserine.	327
105	Passage des nouvelles pousses de l'année à travers les mailles suite à la pose directe du filet sur les pommiers à Sbiba au gouvernorat de Kasserine.	328
106	L'installation des filets paragrêle dans un champ de vignoble financée par l'Etat à Sidi Ali Saleh au gouvernorat du Kef au Nord-ouest.	330
107	L'installation des filets paragrêle dans un champ de vignoble financée par l'Etat à Sidi Ali Saleh au gouvernorat du Kef au Nord-ouest.	330
108	Filets en chapelle à Ain Khmaissia à Sbiba dans le gouvernorat de Kasserine.	334
109	Filet en chapelle à Foussana dans le gouvernorat de Kasserine.	334
110	Filet en chapelle à Jédéliène dans le gouvernorat de Kasserine.	335
111	Couverture par la pose directe des filets paragrêle sur les pommiers à Sbiba dans le gouvernorat de Kasserine.	336
112	Couverture par la pose directe des filets paragrêle sur les pommiers à Sbiba au gouvernorat de Kasserine.	336

## TABLE DES MATIÈRES

<b>INTRODUCTION GÉNÉRALE</b> .....	13
------------------------------------	----

### **PREMIÈRE PARTIE : CARACTÉRISATION DE L'ALÉA GRÊLE EN TUNISIE**

<b>Introduction de la première partie</b> .....	19
---	----

<b>Chapitre 1 : Données et méthodes pour l'étude du risque-grêle en Tunisie</b> .....	21
---	----

1. Les données .....	21
1.1. Les données climatologiques disponibles .....	21
1.1.1. Les données de l'Institut National de la Météorologie.....	21
1.1.2. Les données des images satellites .....	21
1.2. Les données socio-économiques .....	22
1.2.1. Les Commissariats Régionaux pour le Développement Agricole (CRDA).....	22
1.2.2. Ministère de l'Agriculture .....	22
1.2.3. Les compagnies d'assurance et de réassurance .....	23
1.2.4. D'autres organismes .....	23
1.3. Les observations de terrains .....	23
1.3.1. Enquêtes .....	24
1.3.2. Entretien (expertise avec un expert d'assurance) .....	24
1.3.3. Témoignages de la population.....	24
1.3.4. Les dégâts sur les cultures .....	25
2. Fiabilité des données météorologiques.....	25
2.1. Types de données .....	25
2.2. Les lacunes .....	26
2.3. Les erreurs .....	28
3. Méthodologie.....	29
3.1. Chute de grêle et jour de grêle ? .....	29
3.2. Période d'étude .....	31
3.3. Le réseau des stations .....	31
Conclusion.....	34

<b>Chapitre 2 : Distribution spatiale et variation saisonnière des chutes de grêle et leurs manifestations météorologiques en Tunisie</b> .....	35
---	----

1. Définition de l'aléa grêle .....	35
2. A l'échelle annuelle, la grêle est très présente au Nord et au Centre du pays .....	37
3. A l'échelle saisonnière, la grêle est avant tout un phénomène hivernal et printanier .....	40
4. Grêle d'hiver et grêle d'été.....	40
4.1. Répartition de la fréquence de la grêle d'hiver .....	42
4.2. Répartition de la fréquence de la grêle d'été .....	44
5. La grêle dommageable tombe du mois d'avril au septembre .....	47
6. Au cœur de la saison à risque (avril-septembre) .....	47
6.1. Réactivation printanière du phénomène de la grêle dans la région du Haut Tell.....	47
6.2. En juin, juillet et août, les chutes de grêle sont plus marquées dans les stations de la région des Hautes steppes.....	50
7. Les nuages grêlifères .....	54
7.1. La formation de la grêle en altitude.....	54

7.2. Processus microphysiques .....	58
7.3. Production de la grêle .....	59
7.3.1. Parcours d'un grêlon dans un nuage orageux .....	59
7.3.2. Cas des orages multicellulaires .....	60
7.3.3. Cas des orages supercellulaires .....	62
7.4. Les situations météorologiques à l'origine de la grêle en Tunisie .....	64
7.4.1. La saison mai-septembre : domination des situations à caractère convectif .....	68
7.4.2. La saison novembre-mars : les nuages grêligènes à caractère frontologique .....	75
7.4.3. Deux mois de transition : avril et octobre .....	79
7.4.3.1. Le mois d'avril .....	79
7.4.3.2. Le mois d'octobre .....	84
Conclusion .....	85
<b>Chapitre 3 : La trace de la grêle au sol : Intensité et trajectoires des nuages de grêle .....</b>	<b>89</b>
Introduction .....	89
1. Intensité des chutes de grêle .....	89
1.1. Dimensions des grêlons .....	89
1.1.1. A l'échelle annuelle .....	91
1.1.2. A l'échelle saisonnière .....	91
1.2. Variation diurne des chutes de grêle .....	93
1.3. Durée des orages de grêle .....	94
1.4. Rapport orage/grêle .....	95
2. Les cœurs de grêle .....	97
2.1. Cœurs de grêle et ampleur des dégâts .....	97
2.2. Localisation et évolution des masses nuageuses .....	100
3. Trajectoires des nuages de grêle à petite échelle en Tunisie .....	103
3.1. Principe de traçage : rapport date/lieu des chutes de grêle .....	103
3.2. Déplacement des nuages de grêle : rôle du vent en altitude .....	107
4. Particularités géographiques de la grêle .....	108
4.1. Un relief alignés sud-ouest/nord-est : les vallées guident-elles les chutes de grêle ? .....	108
4.2. L'exposition aux flux grêligènes .....	111
4.2.1. Les versants sous le vent : cas de la région de Gafsa au Sud-ouest .....	111
4.2.2. L'exposition de la végétation aux chutes de grêle .....	112
4.3. La région du Haut Tell et des Hautes Steppes tunisiennes : deux régions abritant les plus hauts sommets du territoire tunisien (l'effet de l'altitude) .....	114
4.4. L'évaporation dans les lacs collinaires renforce-t-elle les nuages de grêle ? .....	115
4.5. Des fossés d'effondrement et des cuvettes synclinales constituent des zones propices au développement de l'arboriculture (originalité du Haut Tell et des Hautes Steppes) .....	116
Conclusion .....	111
<b>Conclusion de la première partie .....</b>	<b>119</b>
<b>DEUXIÈME PARTIE : CHUTES DE GRÊLE ET AGRICULTURE EN TUNISIE : VULNÉRABILITÉS AGRICOLES ET DÉGÂTS DE GRÊLE</b>	
<b>Introduction de la deuxième partie .....</b>	<b>125</b>
<b>Chapitre 4 : Vulnérabilité des cultures face à l'aléa grêle en Tunisie .....</b>	<b>127</b>
Introduction .....	127
1. Vulnérabilité conjoncturelle des cultures .....	127

1.1. La date du sinistre .....	127
1.2. L'état de la plante .....	128
1.3. Les pratiques culturales .....	129
2. Vulnérabilité structurelle des cultures .....	129
2.1. Sensibilité physiologique de la plante .....	130
2.2. La destination du produit .....	130
3. L'exposition des cultures aux chutes de grêle .....	132
3.1. Durée d'exposition des cultures aux chutes de grêle : début de la période à risque et calendrier de maturation des cultures .....	132
3.2. Répartition géographique des cultures à risque .....	134
3.2.1. La céréaliculture .....	135
3.2.2. Les cultures fruitières .....	137
3.3. Chutes de grêle et maturation des cultures .....	139
3.3.1. La céréaliculture .....	139
3.3.2. Les oliviers .....	141
3.3.3. Les vignobles .....	143
3.3.4. Les abricotiers .....	145
3.3.5. Les agrumes .....	145
3.3.6. Les amandiers verts .....	149
3.3.7. Les grenadiers .....	149
3.3.8. Les dattiers .....	151
3.3.9. Les pruniers .....	154
3.3.10. Les pêchers .....	154
3.3.11. Les pistachiers .....	156
3.3.12. Les pommiers et les poiriers .....	158
3.4. La pomme : une culture à vulnérabilité maximale .....	161
3.4.1. Un arbre fruitier à longue exposition aux chutes de grêle d'été .....	161
3.4.2. Des exigences en qualité en hausse .....	162
4. Les pratiques culturales influencent-elles le risque-grêle ? .....	162
4.1. Les cépages tardifs du Nord-est .....	162
4.2. L'influence exercée par l'orientation des rangs des vignes .....	165
4.3. Les variétés de pommes tardives du Centre-ouest plus exposées au risque-grêle .....	165
5. La répartition des cultures fruitières amplifie le risque-grêle .....	167
Conclusion .....	169
<b>Chapitre 5 : Les dégâts de la grêle et les taux de cotisation .....</b>	<b>173</b>
Introduction .....	173
1. Dégâts de grêle et ses mesures .....	173
1.1. Le grêlimètre : une bonne approche de mesure de l'intensité de la grêle .....	173
1.2. Peut-on estimer l'aléa à partir des dommages sur les cultures ? .....	175
1.2.1. L'intensité des chutes de grêlon .....	176
1.2.2. La taille des grêlons .....	184
1.2.3. Le nombre des grêlons .....	188
1.2.4. La direction des grêlons : angle du choc .....	188
1.3. Le Cactus (le figuier de barbarie) peut remplacer les grêlimètres .....	190
2. Les dégâts généraux sur les végétaux .....	193
2.1. Les pertes directes en quantité et en qualité .....	193
2.2. Les pertes indirectes .....	194
2.2.1. Retard de croissance .....	194
2.2.2. Les maladies .....	195

2.2.2.1. La tuberculose des oliviers .....	195
2.2.2.2. L'Oïdium (Rot-blanc) .....	196
2.2.2.3. Le Mildiou .....	197
2.2.2.4. La pourriture grise .....	198
2.2.2.5. L'Esca .....	198
2.2.3. Les pertes à long terme .....	199
3. Les pertes indemnisées .....	199
3.1. Les pertes globales indemnisées .....	199
3.2. Les pertes indemnisées dues à la grêle .....	202
4. Concentration géographique des dégâts de grêle (cas de l'arboriculture) .....	203
4.1. Les Hautes Steppes tunisiennes : gouvernorat de Kasserine .....	205
4.2. Le Haut tell .....	214
4.2.1. Gouvernorat du Kef .....	214
4.2.2. Gouvernorat de Siliana .....	217
4.3. Les Basses Steppes .....	217
4.3.1. Gouvernorat de Kairouan .....	217
4.3.2. Gouvernorat de Sidi Bouzid .....	219
4.4. Le Cap Bon : gouvernorat de Nabeul .....	222
5. Les taux de cotisation .....	224
6. La sinistres-grêle et les chutes de grêle : Y a-t-il une corrélation entre les dommages et la fréquence des chutes de grêle ? .....	229
Conclusion .....	229
<b>Chapitre 6 : Les graves chutes de grêle des 02 et 10 mai 2002 : des événements révélateurs de la vulnérabilité de l'agriculture .....</b>	<b>231</b>
Introduction .....	231
1. Manifestations de la crise .....	231
1.1. La crise à l'échelle de l'agriculteur .....	231
1.2. La crise à l'échelle régionale .....	233
1.3. La production de pommes à l'échelle nationale .....	235
2. Les causes de la crise .....	237
2.1. Les causes climatiques .....	237
2.1.1. Situation atmosphérique générale à la surface du sol .....	240
2.1.2. Situation atmosphérique en altitude .....	240
2.1.3. Un rôle déterminant du vent en altitude : les courants-jets .....	241
2.1.4. De l'air d'origine saharienne en altitude .....	243
2.2. Un contexte socio-économique vulnérable .....	244
2.2.1. Les assurances .....	244
2.2.2. Le développement de l'arboriculture commerciale .....	245
2.2.2.1. Evolution du secteur des pommiers en Tunisie et spécialisation régionale .....	245
2.2.2.2. Intégration économique et professionnelle de la culture des pommes .....	247
2.2.3. Des difficultés de gestion des petits exploitants .....	247
2.2.4. Intervention modeste de l'état et des pouvoirs publics .....	248
Conclusion .....	248
<b>Conclusion de la deuxième partie .....</b>	<b>251</b>

## TROISIÈME PARTIE : GESTION DU RISQUE-GRÊLE EN TUNISIE

<b>Introduction de la troisième partie .....</b>	<b>257</b>
<b>Chapitre 7 : Les acteurs et les méthodes de gestion du risque-grêle actuels en Tunisie</b>	<b>259</b>
Introduction .....	259
1. Les méthodes antigrêle actives .....	259
1.1. L'autogestion .....	259
1.2. Compensation des dommages .....	260
1.3. Protection avec les filets paragrêle .....	261
1.3.1. Les filets antigrêle en Tunisie .....	262
1.3.2. L'agriculteur tunisien confronté au coût des filets paragrêle .....	262
2. Les méthodes antigrêle passives : l'assurance-grêle .....	263
2.1. Indemnisation des pertes en Tunisie : Règle Proportionnelle de Capitaux .....	263
2.2. Taux de couverture des cultures par l'assurance-grêle.....	264
2.3. L'agriculteur face à l'assurance-grêle .....	267
3. Le système de gestion du risque-grêle : un système embryonnaire et défaillant .....	270
3.1. Le climat, un acteur plus qu'un acteur .....	272
3.2. Dans le monde agricole, l'agriculture est un acteur très important .....	272
3.3. Les acteurs de la prévention : agriculteurs, assureurs et pouvoirs publics .....	273
3.3.1. Agriculteurs.....	273
3.3.2. Assureurs.....	274
3.3.3. Les pouvoirs publics .....	278
3.3.4. Autres organismes de prévention .....	279
3.4. Seules les relations financières qui les régularisent .....	280
3.4.1. Flux internes.....	280
3.4.1.1. Monde agricole, assurance et pouvoirs publics .....	280
3.4.1.2. Pouvoirs publics, prévention et monde agricole .....	281
3.4.2. Flux externes (agriculteur et autres sources de revenus) .....	282
3.5. Adaptabilité et blocage du système .....	282
3.6. Autres mécanismes du système-grêle : trop peu de chutes de grêle tue l'assurance .....	282
Conclusion.....	283
<b>Chapitre 8 : L'assurance-grêle en Tunisie : un produit encore peu diffusé .....</b>	<b>285</b>
Introduction .....	285
1. L'assurance et la garantie contre les risques liés au climat .....	285
2. Historique de l'assurance agricole et de l'assurance-grêle en Tunisie .....	286
3. Contrat d'assurance « grêle sur récolte ».....	288
3.1. L'assurance-grêle .....	288
3.2. Les conditions générales des contrats.....	291
3.2.1. Obligations de l'assuré .....	292
3.2.2. Obligations de l'assureur .....	292
3.2.3. Conditions particulières du contrat.....	293
3.2.3.1. L'assurance-grêle des agrumes .....	293
3.2.3.2. L'assurance-grêle des oliviers .....	294
3.2.3.3. L'assurance-grêle des arbres fruitiers.....	294
3.2.4. Exclusions générales du contrat d'assurance-grêle .....	295
4. Estimation de la franchise.....	295
5. Estimation et évaluation des dégâts .....	296

5.1. La pré-expertise .....	296
5.2. L'expertise .....	296
5.3. Les dégâts de la seule grêle .....	297
5.4. Les taux de perte.....	297
6. La tarification .....	298
Conclusion.....	299

## **Chapitre 9. Vers de nouveaux modes de gestion durable du risque-grêle : Filets paragrêle, assurance antigrêle active et diversification des cultures ou/et des revenus..**

Introduction : l'arboriculture, quel besoin et quelle sécurité ?.....	301
1. Quel développement pour les filets paragrêle ? .....	301
1.1. Historique .....	301
1.2. Les modes de couverture par les filets paragrêle.....	302
1.2.1. La couverture structurée .....	303
1.2.1.1. Les filets en chapelle : Système italien tendu en forte pente.....	303
1.2.1.2. Les filets en plats : Système autrichien .....	308
1.2.2. La couverture peu ou non structurée .....	309
1.2.2.1. Le filet monorang .....	309
1.2.2.2. La couverture directe sans infrastructure spécifique.....	310
1.3. Contraintes.....	312
1.3.1. Coût d'installation.....	312
1.3.2. Déroulage et repliage .....	312
1.4. Incidences des filets antigrêle sur les facteurs climatiques .....	314
1.4.1. Température .....	314
1.4.2. L'évapotranspiration (ETP) .....	315
1.4.3. Protection contre le gel .....	315
1.4.4. Humidité relative .....	315
1.4.5. Rayonnement solaire.....	316
1.4.6. Vent.....	317
1.5. Autres contraintes .....	318
1.5.1. Vol des abeilles .....	318
1.5.2. Facteurs phytosanitaires .....	320
1.5.3. Maturité de récolte .....	321
1.5.4. Facteurs de productivité.....	323
1.5.5. Contact filet/végétation .....	325
2. Les filets paragrêle en Tunisie.....	328
2.1. Financement .....	328
2.2. Concentration régionale dans les Hautes steppes tunisiennes.....	331
2.3. Une méthode à la disposition des grands exploitants seulement.....	331
2.4. Et les petits exploitants ? La méthode de la couverture directe des filets et gestion du problème de coût .....	335
3. Vers une nouvelle vision de l'assurance-grêle .....	337
3.1. Rapprocher l'assurance-agricole d'abord de l'agriculteur .....	337
3.2. L'assurance multirisques agricole .....	338
3.3. Mieux l'information circule, mieux le risque est connu.....	340
4. Diversification des cultures ou / et des revenus .....	341
Conclusion : L'assurance, les filets-paragrêle et la diversification des cultures sont souvent des compléments pour une gestion fiable du risque-grêle .....	342

<b>Conclusion de la troisième partie.....</b>	<b>345</b>
---	------------

<b>CONCLUSION GÉNÉRALE</b> .....	347
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	353
<b>ANNEXE</b> .....	365
<b>Tables des figures</b> .....	381
<b>Tables des tableaux</b> .....	385
<b>Tables des photos</b> .....	386
<b>Tables des matières</b> .....	389











En Tunisie, le caractère aléatoire du phénomène de la grêle, qui a comme corollaire son extrême variabilité, en fréquence d'apparition, en localisation et en intensité, a empêché un suivi permanent de ce type de précipitations. Le manque de périodes d'observation assez longues et les lacunes au niveau des données disponibles ont laissé cet aléa peu étudié donc peu connu. La trace de la grêle provoque de lourds dégâts agricoles chaque année et soulève des questions quant aux stratégies de gestion d'autant plus que les systèmes antigrêle sont quasiment absents.

La présence des précipitations de grêle ou d'averse de grêle en Tunisie est commandée souvent par un rythme méditerranéen à l'instar des autres formes de précipitations telles que les pluies. Ce phénomène très localisé en Tunisie, concerne particulièrement le nord-ouest et le centre-ouest du pays, abritant les reliefs les plus élevés, demeurant ainsi le siège des trajectoires ouest/est, nord-ouest/sud-est et sud-ouest/nord-est des nuages de grêle. Les dégâts résultant de ce phénomène, qui touchent différents biens de valeur, menacent souvent le domaine d'agriculture qui est le secteur d'activités humaines le plus vital pratiquement en plein printemps et tout l'été ; certaines années, l'agriculteur voit ses récoltes totalement détruites par ce fléau. La région de Kasserine au Centre-ouest de la Tunisie est la région plus vulnérable et ses vergers de pomme sont les plus touchés. Les pertes se classent le plus souvent très graves mais elles se trouvent d'autant plus prégnantes que les moyens anti-grêle et les systèmes d'assurance agricole contre ce fléau ne sont souvent pas utilisés par les agriculteurs.

Illustré de 162 figures, 39 tableaux et 112 photographies, la présente étude est un essai de caractériser le phénomène de la grêle en Tunisie durant la dernière trentaine d'années, depuis les facteurs naturels de ses manifestations jusqu'à sa gestion en passant par l'analyse des aléas, des vulnérabilités et des enjeux. Ainsi, une première partie, présente les manifestations des chutes de grêle en Tunisie à différents pas de temps ainsi que les trajectoires des nuages porteurs de grêle. La deuxième partie s'attache à étudier la vulnérabilité du secteur agricole face à cet aléa. Enfin, la troisième partie pose la question de la gestion du risque-grêle en Tunisie, à travers la présentation des stratégies d'intervention des différents acteurs.

**Mots-clés :** grêle, vulnérabilité, agriculture, assurance, gestion du risque, Tunisie.

*Photos de couverture prises par AL ATRACH M.M. et la CTAMA.*