

# DISCOURS D'OUVERTURE DE LA JOURNEE D'INFORMATION SUR L'AGROMETEOROLOGIE :

A. EL HAFI

Secrétaire Général du Ministre de l'Agriculture  
et de la Mise en Valeur Agricole

C'est pour moi un grand plaisir d'ouvrir au nom de Monsieur Abdelaziz MEZIANE, Ministre de l'Agriculture et de la Mise en Valeur Agricole les travaux de cette importante journée sur l'Agrométéorologie, thème qui revêt un intérêt capital pour une meilleure gestion des potentialités naturelles agricoles.

Cet intérêt a été fortement ressenti à travers le nombre élevé de propositions de communications qui a rendu difficile pour les organismes le choix des interventions dont vous aurez à débattre au cours de cette journée.

Je saisis cette occasion pour remercier tous ceux qui par leur contribution ont apporté une abondante matière qui sera soumise au débat, je remercie également tous ceux qui par leurs documents, ont permis d'enrichir l'éventail des sujets qui seront abordés.

Je voudrais remercier particulièrement la Direction de la Météorologie Nationale pour sa disponibilité et son souci d'assurer plein succès aux travaux de cette manifestation.

Comme vous le savez, l'intensification de la production agricole est de plus en plus tributaire de la maîtrise et l'utilisation rationnelle de l'information sur les phénomènes climatiques à l'échelle des différents milieux de production agricole.

En effet, la connaissance scientifique dans ce domaine est essentielle pour une meilleure harmonisation des écosystèmes avec les exigences des plantes et des animaux et permet de restaurer, corriger ou créer des microclimats assurant les meilleures conditions de production.

Je voudrais souligner à cet effet que la lutte contre les maladies ou les insectes reste très souvent tributaire du degré de nos connaissances des conditions climatiques et la corrélation entre le développement des organismes nuisibles et l'évolution journalière ou saisonnière du temps. L'efficacité de nos systèmes de lutte, de nos modes et moyens d'intervention, est tributaire de la maîtrise du déterminisme de ces maladies et des interactions effectives de ces éléments.

De même, dans les régions arides et semi-arides, les problèmes du bilan hydrique et de la conduite de l'irrigation ne peuvent être appréhendés de façon rationnelle qu'à travers une connaissance approfondie de la donnée climatique.

Ces exemples soulignent l'interdépendance des problèmes du développement agricole et de climatologie et montrent l'importance du renforcement du réseau agrométéorologique et de l'exploitation pratique et rapide de l'information météorologique, servie en temps réel aux utilisateurs.

Ainsi, et selon l'Organisation Météorologique Mondiale, le rapport coût/bénéfice de l'assistance météorologique varie de 5 à 30 selon le domaine d'intervention. Cette rentabilité a été largement démontrée pour l'agriculture et la gestion des ressources en eau.

Prenant en compte ces considérations, le Ministère de l'Agriculture et de la Mise en Valeur Agricole a développé progressivement et en collaboration avec la Direction de la Météorologie Nationale un important réseau de stations et postes climatiques dans les sites des Centres de Travaux, des Centres de Mise en Valeur Agricole, des postes

forestiers, des Stations de l'INRA et des centres d'élevage.

Ce réseau destiné à satisfaire les besoins spécifiques de l'agriculture a permis de renforcer le réseau synoptique de la Direction de la Météorologie Nationale.

Malgré cet effort d'extension du réseau de collecte d'informations agro-climatiques, beaucoup reste à faire encore dans ce domaine. C'est pourquoi ce réseau fait actuellement l'objet d'une évaluation très approfondie devant permettre sa restructuration et son développement sur de nouvelles bases prenant en considération les spécificités et les besoins en informations climatiques des différentes zones de production.

Dans le contexte de l'évolution rapide des connaissances scientifiques dans le domaine de la climatologie et de la prise de conscience à l'échelle planétaire de l'importance du climat sur les activités humaines et l'environnement, le Maroc a pris des dispositions importantes dont on peut citer :

- La création d'un Secrétariat d'Etat chargé de l'environnement.
- L'élargissement des activités du Conseil Supérieur de l'Eau au Climat.
- La création, en Mai 1993, du Comité National du Climat regroupant l'ensemble des départements et organismes concernés par le climat. Il est chargé de l'élaboration, de la coordination, de la mise en oeuvre et de l'évaluation du Programme Climatologique National.

Ce comité a retenu, parmi ses priorités, le développement du réseau agrométéorologique et le renforcement des applications climatologiques en agriculture.

Ainsi, concernant le réseau agrométéorologique, le Programme Climatologique National prévoit

notamment, la restructuration dudit réseau et la diversification des mesures effectuées en vue d'une meilleure réponse aux besoins de l'agriculture.

Concernant les applications climatologiques en agriculture, le Programme a mis l'accent sur la nécessité d'un zonage agroclimatique, l'étude des phénomènes climatiques extrêmes et leur impact sur la production agricole, le renforcement des études des relations interactives entre le climat et les différents secteurs d'activité agricole etc..

Au cours de cette journée, les communications programmées vous permettront j'en suis convaincu, de débattre les applications multiples de la Météorologie en agriculture, en particulier dans les domaines de la gestion, de la conduite technique et de la protection des cultures, de la gestion de l'eau, des forêts et des parcours, de la conduite de l'élevage et de la conception des unités de stockage.

Par ailleurs, la multidisciplinarité des applications en agriculture impose le renforcement de la coordination entre les différentes structures relevant du Ministère de l'Agriculture et de la Mise en Valeur Agricole. Dans cette perspective, je vous informe que dans un proche avenir, il sera créé au sein de ce département un Comité du Climat qui devra remplir cette tâche et prendre en charge, par la même occasion, la mise en oeuvre des composantes du Programme Climatologique National ayant trait à l'agriculture.

Enfin, la coopération, qui a toujours prévalu avec la Direction de la Météorologie Nationale sera développée davantage dans le sens d'une meilleure intégration des besoins de l'agriculture dans les activités de cette Direction, d'une optimisation du réseau agrométéorologique national, d'une meilleure circulation de l'information météorologique et d'un renforcement de l'appui technique et logistique dans ce domaine.

Je souhaite plein succès à votre journée et je vous remercie.

# LE RESEAU AGROMETEOROLOGIQUE AU MAROC : OPPORTUNITE ET INTERET

Dr. RAMDANI ABDELLAH\*

## I. PRESENTATION

Les professionnels, les pouvoirs publics, les chercheurs, les expérimentateurs... s'affirment de plus en plus sensibles aux problèmes posés par le climat. Dans cet esprit la maîtrise des différents phénomènes climatiques s'impose comme une nécessité absolue pour le développement de l'agriculture. La mise au point et l'adaptation de nouvelles technologies nécessitent une meilleure connaissance du climat local, pour permettre une optimisation de la production agricole, et ce à travers une gestion précise des interactions sol - climat - plante.

L'encadrement de l'agriculteur n'a de rôle positif à jouer que s'il aide à la mise au point des solutions et des conseils adaptés aux conditions locales, en innovant et en diffusant des outils d'aide à la décision : quand faut-il planter? fréquence de grêle, gélivité, force de vent, températures extrêmes de l'air et du sol, humidité relative, radiation globale, fréquence d'apport d'eau, dates de traitements, équipements des stations de pompes etc. L'agrométéorologie a été toujours ressentie comme un gros facteur de variation des performances agricoles. N'ayant pas d'objectifs autonomes, rares sont ceux qui explicitement ou non ne se servent pas d'instruments météorologiques ou tout au moins des mesures réalisées par d'autres. Ces données envahissent toutes les disciplines et tous les domaines de la vie : agriculture, médecine, loisirs...

Face à cette demande croissante en données météorologiques, des progrès méthodologiques immenses sont réalisés. Les premiers balbutiements techniques sont dépassés; ils étaient insuffisants pour comprendre un mécanisme biologique, élucider le fonctionnement d'un système. Les instruments utilisés étaient riches en artefacts, peu autonomes peu robustes, fongibles...

Les stations traditionnelles nécessitent une présence permanente d'un observateur, ce qui donne lieu à une importante source d'erreurs.

Actuellement, les stations agrométéorologiques automatisées et informatisées ne sont plus au stade de principe. Dans ces stations le recours à l'électronique et à l'informatique a déjà vu le jour. Les années futures promettent d'être d'un grand progrès pour ce domaine. En effet l'acquisition des mesures par microprocesseurs dont les nombreux avantages en font un outil puissant pour l'agriculteur : l'élaboration des logiciels bien adaptés à leurs problématiques, comme les modèles de prévisions des irrigations, protections des plantes, de l'environnement, érosion, stockage des grains, croissance des plantes, etc. Cette évolution attendue impose à l'utilisateur, s'il veut en user judicieusement et avec efficacité, une bonne maîtrise opérationnelle.

## II. CONSIDERATIONS GENERALES SUR LES MESURES AGROMETEOROLOGIQUES

### 2.1. DEFINITION DE L'AGROMETEOROLOGIE

L'agrométéorologie est l'ensemble de moyens scientifiques et techniques permettant par l'exploitation des données agronomiques et météorologiques, de procurer à l'exploitant agricole, des éléments utiles pour une meilleure gestion de son exploitation.

### 2.2. MESURES AGROMETEOROLOGIQUES

Les mesures météorologiques nécessaires pour l'agriculture sont :

- La température sous abri.
- La température au dessus du sol et dans le sol à différents niveaux.

\* Maître de conférence au Département du Machinisme Agricole de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat.

- L'humidité relative de l'air.
- La durée d'humectation des parties aériennes des plantes.
- Le rayonnement solaire.
- La teneur en eau du sol.
- L'évaporation.
- La direction et la vitesse du vent.
- L'épaisseur des neiges.
- Les dépôts d'eau sur sol.

Les relevés agrométéorologiques doivent permettre de :

- Connaître à tout moment l'état du végétal, notamment son stade de développement.
- Connaître toutes les données météorologiques nécessaires à la caractérisation de l'environnement du végétal afin de déterminer si le développement de la plante s'effectue dans de bonnes conditions et d'agir éventuellement sur ce microclimat, dans le cas contraire.
- Connaître l'influence humaine sur la culture; c'est à dire l'ensemble des techniques culturales mises en jeu (Irrigation, Fumure etc.), ainsi que les accidents ou erreurs éventuelles dans ces techniques.

### 2.3. EXPLOITATION DES INFORMATIONS AGROMETEOROLOGIQUES

Les informations agrométéorologiques sont à prendre en compte chaque étape de la gestion des activités agricoles.

#### ■ A LONG TERME

Les engagements "stratégiques" devraient être adaptés en tenant compte des critères climatiques exprimés en terme statistiques (fréquence d'occurrence d'événements atmosphériques ou de franchissement

des seuils), associés aux données physiques (pédologiques notamment) et économiques. Il s'agit en particulier de l'aménagement de l'espace rural (brise vent, drainage,...etc.), du choix des productions et des techniques culturales (irrigation, assolement,...etc.), de la nature des équipements (bâtiments agricoles, serres, etc.).

Le fait d'avoir un réseau fiable nous permettra :

- De constituer une banque de donnée et d'analyser des données de 15 à 30 ans ;
- De juger de l'adaptation régionale de différentes cultures, de l'intérêt d'un drainage ou d'un équipement d'irrigation; de l'état des lieux agroclimatiques de chaque région;
- De choisir les variétés ayant le meilleur comportement;
- De connaître en moyenne le nombre de jours disponibles pour le semi, la récolte.

#### ■ A MOYEN TERME

Il existe des modèles de prévisions, dits "agrométéorologiques", fournissant une estimation anticipée et satisfaisante sur le volume (grâce aux prévisions de rendements) et la qualité de certaines récoltes. Ces modèles sont basés essentiellement sur l'utilisation dans des modèles statistiques de prédicteurs tels que des facteurs atmosphériques relevés aux stades précoces de développement des cultures (insolation, températures, précipitations, vent, etc.)

Des modèles de prévision régionale des dates de franchissement des seuils phénologiques (date de floraison, de maturation, etc.) peuvent guider les agriculteurs dans la détermination d'un calendrier d'intervention (façons culturales, engrais, traitements, récoltes,...etc.), particulièrement utiles dans le contexte actuel d'économie de l'eau et de l'énergie.

#### ■ A COURT TERME

Les informations météorologiques faciliteront les choix tactiques des agriculteurs :

- Prise en compte des relevés climatiques récents (cumul de précipitations, de température) en vue d'estimer objectivement l'évolution biologique du milieu vivant (végétaux, éléments pathogènes), le bilan hydrique des cultures ou encore l'état du sol (réserves en eau, température), c'est ainsi que peuvent mieux être ajustés des dates de semis ou le déclenchement d'une campagne d'irrigation.
- Prévisions météorologiques et avis à court terme susceptibles d'orienter les interventions de l'agriculteur : traitements phytosanitaires, irrigation, lutte contre le gel, fenaison, etc.
- L'emploi des statistiques climatologiques, peut permettre d'évaluer le risque de subir telle ou telle situation dangereuse ou nocive : risque d'état de sécheresse, risque de gel, etc.

#### 2.4. IMPACT DES INFORMATIONS AGROMETEOROLOGIQUES

- Au niveau de l'exploitation agricole, l'utilisation rationnelle des informations agrométéorologiques se traduit par :
  - Un choix judicieux des productions agricoles, des techniques culturales et des équipements. Une meilleure conduite de l'exploitation, tenant compte des jours disponibles pour certains travaux et de l'évaluation des risques climatiques.
  - Un allègement de la charge en personnel en évitant les interventions inutiles.
- Au plan régional et national

Ces informations doivent contribuer à :

- Une estimation du potentiel agricole de chaque zone pédoclimatique homogène.
- Une orientation plus rationnelle des productions agricoles, des aménagements (irrigation, drainage...).
- La régularisation des rendements.

#### III. INTERET D'UN RESEAU AGROMETEOROLOGIQUE

L'intérêt d'un réseau agrométéorologique est multiple :

En effet les données climatiques serviront à mieux préciser l'intérêt de certaines pratiques agricoles :

- Planifier les irrigations en temps et en quantité,
- Rationaliser l'utilisation de l'Energie électrique de pompage,
- Définir le type d'énergie à utiliser dans certaines places,
- Prévenir les risques de transmissions de certaines maladies pour prévoir une protection en temps réel,
- Contrôler l'environnement dans les bâtiments d'élevage de bétails et les silos de stockage des grains,
- Effet du climat sur les animaux (stress),
- Prévoir le temps pour labourer, semer, récolter, etc.
- Contrôler l'érosion (Intensité pluviométrique),
- Contrôler les incendies forestiers,
- Reboisement, date de plantation,
- Protection des forêts : prévision des attaques d'insectes et de champignons en temps réel pour des actions rapides.

L'intérêt de l'étude du climat en agriculture, aussi bien au niveau de la planification que de la recherche est d'une importance considérable, étant donné ses effets multiples sur la production végétale et animale. Il importe donc de disposer des mesures climatiques fiables, et continues. Un réseau fiable, nous permettra de relever des données qui sont à prendre en compte à chaque étape de la gestion des activités agricoles.

Lors de la conférence Internationale organisée par L'OMM sur les avantages socio économiques des services météorologiques et hydrauliques (Genève

1990), Il a été montré par la majeure partie des spécialistes que le taux de rentabilité varie de 1 à 15. Cela veut dire que pour chaque centime investi dans les mesures météorologiques peut apporter jusqu'à 15 centimes de gain de productivité, tout dépend du secteur d'application. Il est certain que pour l'agriculture cela est confirmé.

Aux USA, dans l'Etat de L'Oklahoma, un réseau agrométéorologique de 110 stations automatiques a été installé. Le réseau a coûté 2.5 Millions de Dollars. Après une année, les chercheurs ont confirmé que le secteur agricole a bénéficié de : 20 Millions de Dollars dans l'économie d'énergie, 1.7 Millions de Dollars dans l'irrigation, et 3 Millions dans les produits phytosanitaires. [12]

En Belgique dans l'objectif de promouvoir l'Agrométéorologie dans le Sud Est, vingt-deux stations agrométéorologiques ont été installées dans le Sud Est de la Belgique. Celles-ci sont reliées en un réseau de télémessure centralisé à la Station de Lbramont de Haute Belgique et à L'Unité de Génie rural de Louvain - La Neuve. Dans le cadre d'un projet pilote, ces données reprises dans un modèle de prédiction ont été utilisées par les experts de la pomme de terre afin de lancer des avis de traitements. [11]

Ce réseau a eu un impact sur l'agriculteur. L'économie pour ce dernier revêt un double aspect : une économie de produit et une meilleure production par l'absence de dégâts dans la culture. La lutte dirigée appliquée dans la province du Luxembourg limite le nombre de traitements à 4 ou 5 maximum contre 10 à 12 traitements dans le cas d'une protection permanente. Si l'on sait que le coût des produits pour un traitement est de 700 à 15500 fr/ha, on peut facilement estimer l'économie réalisée par le producteur.

Des estimations semblables pourront être faites en ce qui concerne les économies d'engrais. Ainsi une économie de 50 unités d'azote à l'hectare et par an sur les herbages, due à un épandage au bon moment est admis.

## IV. LE RESEAU METEOROLOGIQUE AU MAROC

### 4.1. RESEAU AGROMETEOROLOGIQUE DU MAMVA

Le Ministère de l'Agriculture et de la Mise en Valeur Agricole compte à peu près 651 stations et postes climatologiques; dont 150 appartiennent aux ORMVAs et 125 aux DPAs, 360 pour les Eaux et Forêts, et 16 pour l'INRA.

Par confrontation de différents documents, RAMDANI, (1992); a pu ressortir ce nombre. Il est certain que la majorité de ces postes sont pluviométriques. Les premières stations agrométéorologiques ont vu le jour il y a un demi siècle au niveau de la foresterie.

Le réseau agrométéorologique du MAMVA a été installé dans sa majorité avant 1970, dans les centres de travaux et les centres de mise en valeurs. Depuis lors, il n'a jamais fait l'objet d'évaluation sur le plan de l'état des instruments de mesure, des conditions de mesure, et de la fiabilité de l'information recueillies, des utilisations des données, de l'adaptation des stations et des mesures faites aux besoins ressentis, etc.

Pour mener cette évaluation et définir un projet de développement optimal du réseau agrométéorologique national, la Direction de la Production Végétale entreprend en liaison avec L'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, une étude détaillée sur la question.

A partir de 1950, la station de recherche forestière avait déjà initié son propre réseau de stations climatologiques avec un effectif de 95 stations dont 49 pluviométriques et 21 pluviomètres totaliseurs, et 25 stations à équipement inégal en pluviomètre, psychromètre, thermomètre à maxima et à minima ou enregistreur, hygromètre et évaporomètre, (note extrait du rapport annuel 1951 : le Réseau climatologique Forestier Marocain d'observation Climatologiques, Rabat 1952 de la station de recherche forestière). [8]

La gestion de ce réseau était menée en collaboration avec le service de physique du globe et météorologie, et le service de la Météo Nationale qui

ont préparé la tenue de la Conférence Marocaine de Météorologie du 23-25 Juin 1964 au Ministère de Travail. [7]

L'état actuel du réseau forestier est de 360 stations réparties de façon irrégulière sur le territoire. Seulement une dizaine de stations qui assurent le relevé des précipitations, température, humidité de l'air, vitesse et direction du vent. Par contre toutes les autres stations ne mesurent que la pluviométrie à l'aide des pluviomètres associations.

#### **4.2. LE RESEAU DE LA METEOROLOGIE NATIONALE [9] [10]**

Les premières stations de la Météorologie Nationale étaient déjà en fonctionnement depuis la fin du 19ème siècle. Le nombre de station, fut très limité et à fonction non permanente. les observations climatologiques étaient interrompues juste après l'achèvement d'un travail de recherche ou d'une expérimentation.

La météorologie Nationale assure les activités relatives aux informations météorologiques et climatologiques destinées à satisfaire les besoins des usagers de tous les secteurs. Pour répondre aux demandes de renseignements, la DMN s'appuie sur un réseau d'observations réparti comme suit :

##### **■ Les observations en surface**

Il existe environ 14000 stations météorologiques à travers le Monde. Le Maroc possède 40 stations. Ceci s'appelle réseau synoptique. Toutes les trois heures et à la même heure pour tout le Monde, (trois cent soixante cinq jours), les observations suivent les normes de l'OMM.

##### **■ Les observations en altitude**

Un réseau de mesure mondial de stations radio sondage a été établi en vue de déterminer, à différents niveaux la pression, le vent (vitesse - direction), la température et l'humidité sur toute l'épaisseur de l'atmosphère jusqu'à environ 20 KM d'altitude.

Dans le monde il y a 1500 Stations dont 3 au Maroc. On effectue deux sondages par jour à 00h et

12h temps universel. Deux stations fournissent des renseignements en altitude : Casablanca et Agadir. Dans le cadre d'un programme de modification du temps, la DMN s'est doté d'une troisième station de radiosondage installée au centre de Beni-Mellal, fonctionnant selon les besoins du dit programme.

##### **■ Les observations auxiliaires**

En plus de l'observation classique, la DMN possède 1034 postes implantés sur l'ensemble du territoire national et répartis comme suit : 132 postes agrométéorologiques; 157 postes climatologiques; 745 postes pluviométriques.

##### **■ Stations automatiques**

La DMN a récemment introduit ce système dans le sens de l'amélioration de nos connaissances sur les particularités du climat des différentes régions; en premier lieu, le secteur agricole qui en bénéficiera de ce type d'appareils.

##### **■ Observations satellitaires**

Dans l'objectif de compléter le réseau météorologique dans les régions désertiques, l'image des stallites, est devenue indispensable dans le domaine de l'agrométéorologie, l'indice de végétation calculé à partir des canaux visible et infrarouge est une mesure du couvert végétal du sol.

Le Maroc est couvert par le satellite Météosat, sa fonction essentielle est de produire toutes les demi-heures une image de la couverture nuageuse, dans la bande du visible et de l'infrarouge.

La DMN dispose depuis 1965 d'une station APT (Automatic Picture Transmission) à Casablanca, d'une station SDUS, (Station des Utilisateurs des Données Secondaires), et d'une station PDUS (Station des Utilisateurs des Données Primaires). Une des applications de cette station PDUS est l'estimation des précipitations, ce qui permettra de connaître la distribution des précipitations en temps réel sur les zones où le réseau météorologique, n'est pas dense. SLASSI, (1991), a conclu sa communication en disant: que pour servir le monde agricole il faut multiplier les

points de mesure. Dans ce contexte un plan de rééquipement en stations automatiques est en cours.

D'ici quelques années, au Maroc, l'utilisation des données climatiques en agriculture va se multiplier. Il y a déjà plusieurs réalisations dans différents établissements du MAMVA et de la DMN.

RAMDANI, 1991 a mené une étude sur la sélection des stations agrométéorologiques à travers le monde. Il a évalué et développé une méthodologie pour cette raison. Il a aussi évalué les modèles d'estimations des besoins en eau des cultures. Il a conclu que les stations agrométéorologiques peuvent aider à économiser jusqu'à 45% sur l'estimation des besoins en eau pour l'irrigation et plus de 50 % en énergie.

RAMDANI, A. et al., 1992, ont évalué différents modèles et instruments utilisés pour l'estimation des besoins en eau de la fraise sous serre. Ils ont utilisé une station automatique mesurant: la température à trois niveaux dans l'air et trois niveaux dans le sol. Ils ont mesuré la vitesse du vent, l'humectation, l'humidité relative, la pression, la radiation solaire globale et net. Deux tensiomètres automatiques et quatre autres non automatiques, une évaporation classe A automatique et un lysimètre étaient utilisés.

La DMN a mené une recherche dans le domaine agrométéorologique principalement pour porter assistance aux usagers de la production agricole : Quatre projets menés par la DMN. Les résultats ont abouti à la réalisation d'un modèle agrométéorologique ALADEI; fonctionnant quotidiennement. Les informations agrométéorologiques élaborées concernent les composantes : Bilan hydrique, Bilan énergétique au sol : 1) du stade phénologique, 2) de l'état de la plante (blé / maïs).

## V. CONSIDERATIONS GENERALES SUR LES STATIONS AGROMETEOROLOGIQUES

Les stations agrométéorologiques sont des stations équipées d'instruments météorologiques destinés à la mesure de différents paramètres climatiques indispensables en agriculture. Le terme

“classique” est utilisé ici pour les distinguer des stations agrométéorologiques automatiques autonomes. Le réseau du MAMVA est presque à sa totalité classique.

### 5.1. RECOMMANDATIONS GENERALES POUR DES OBSERVATIONS CORRECTES

Pour que les observations soient correctes, les stations doivent répondre à un certain nombre de conditions :

- Le site doit être représentatif des conditions climat-sol-culture.
- Chaque instrument doit donner une mesure fiable de la variable météorologique, il doit être robuste, et d'un entretien facile.
- Les observations doivent être faciles à relever et à enregistrer.
- Les observateurs doivent être sûrs et convenablement formés.

Un programme d'entretien propre à la station et aux instruments doit être prévu et l'étalonnage doit être fait régulièrement. Une feuille d'entretien devrait être tenue pour chaque instrument. Les observations doivent être faites régulièrement et avec ponctualité sur les feuilles d'observation de routine. Le même type de feuilles devrait être utilisé pour les différentes stations, les observations devraient être enregistrées à des temps standards. Les résumés des observations journalières, mensuelles et annuelles devraient être conservées dans les stations et envoyées au service météorologique national.

### 5.2. ERREURS ET EVALUATION DES DONNEES

L'erreur la plus courante en enregistrement météorologique est au niveau du rassemblement des données. Les instruments mentionnés, sont fiables lorsqu'ils sont convenablement entretenus et étalonnés à intervalles réguliers. Avec des contrôles réguliers et des lectures convenables, on devrait éviter les graves erreurs d'observation.

Les observateurs devraient être bien entraînés et motivés et ils devraient opérer à des vérifications des données lors de l'enregistrement et de l'analyse. Les erreurs auxquelles on peut s'attendre du fait du mode de conception des instruments, de l'imprécision des lectures et de l'exposition des instruments sont données dans le Tableau 1.

### 5.3. STATIONS AGROMETEOROLOGIQUES AUTOMATIQUES

Dans l'état actuel de développement de la technologie électronique, l'observateur pourrait être remplacé par une machine. L'équipement météorologique capable de fournir une information sur les variables atmosphériques sans la participation d'un observateur est appelé équipement automatique. Un tel équipement qui peut remplacer l'observateur et effectuer les relevés journalières d'observation d'une station météorologique, avec ou sans le contrôle d'un opérateur humain, est appelé station météorologique automatique. Les stations météorologiques peuvent être employées individuellement ou organisées en réseau météorologique automatique.

Les débuts de l'automatisation en météorologie remontent à 1940. Depuis lors elle a acquis une

sophistication sans cesse croissante. Les stations automatiques actuelles sont basées sur un microprocesseur et contrôlées par un programme. Ces machines sont hautement adaptables à grandes sorties d'informations, ayant une vitesse et une qualité supérieures aux systèmes manuels.

Les stations agrométéorologiques automatiques sont équipées d'instruments d'enregistrement électroniques permettant une acquisition de données fréquentes et précises, avec un minimum de travail. La consommation en énergie est très faible, assurant une longue période entre les services.

#### 5.3.1 GESTION DE L'UNITE D'ACQUISITION

Les processus physiques mesurés ( $T^*$ , HR, RG...) sont des phénomènes continus. Il est impossible de les stocker de façon continue puisque la capacité de la mémoire des unités d'acquisition est limitée. C'est pourquoi il est nécessaire de gérer les différents capteurs en planifiant les pas de mesures des différents capteurs à des moments ponctuels fixes. Cette gestion dépend du phénomène à observer, ainsi que des possibilités offertes par le programme contenu dans la mémoire ROM du microprocesseur. D'où l'intérêt

Tab. 1: ERREURS DANS LES RELEVES METEOROLOGIQUES

TYPE D'OBSERVATION	ERREURS DUES			NORMES OMN
	INSTRUMENTS	EXPOSITION	OBSERVATEURS	
TEMPERATURE	0.5 °C	2 °C	5 °C	± 0.1 °C
T. MINIMALE	0.5 °C	3 °C	5 °C	± 0.5 °C
HUMIDITE RELATIVE (psychromètre)	5 %	5 %	5 %	± 1 %
HYGROMETRIE	2-5 %	5 %	5 %	± 1 %
VENT	2-5 %	20 %	2 %	± 10 %
INSOLATION	5-10 %	10 %	10 %	± 0.1 h/h
PRECIPITATION	2-5 %	10 %	5 %	± 2 %
EVAPORATION BAC	2-5 %	15 %	5 %	± 0.1 mm

d'avoir un software qui prévoit une multitude de situations. Plusieurs options sont possibles :

### 1- Mesurer à pas de temps fixes

Le capteur est lue à des intervalles de temps fixés par le microprocesseur, ceci indépendamment de la grandeur mesurée. Les intervalles sont fixés par l'utilisateur lors de l'initialisation.

### 2- Stockage lors de variation

Pour certaines applications plus spécifiques, la mesure se fait à pas de temps fixe mais le stockage de la mesure ne se fera que s'il y a eu variation par rapport à la dernière mesure enregistrée.

### 3- Mesure sur demande

C'est le cas des stations reliées au réseau téléphonique. La mesure est réalisée uniquement lors d'un appel de l'abonné.

## 5.3.2 STOCKAGE ET COLLECTE DES DONNEES SUR LE SITE

Dans le cas où l'unité d'acquisition n'est pas raccordée à une mémoire centrale, un opérateur doit se déplacer sur le terrain pour collecter les données stockées sur la période entre deux visites. Pour ce faire, le système possède une mémoire d'un volume déterminé. Néanmoins, la nature physique de la mémoire est différente selon le type d'équipement. Deux options pour stocker les données :

1- L'enregistrement sur support amovible, c'est à dire que l'on peut retirer un élément (carte, circuit intégré) qu'on appelle cartouche ou disquette. Cette cartouche est lue par un équipement spécial "Adhoc". Le support d'enregistrement est soit :

- Une RAM avec alimentation propre
- Une EPROM nécessitant un encodeur. Ce dernier présente l'inconvénient de consommer beaucoup d'énergie à chaque opération d'écriture.
- Une disquette type audiovisuel, mais généralement peu utilisé.

### 2- Stockage sur RAM (Mémoire câblée)

Pour les mesures stockées en mémoire RAM, les données doivent transiter par un intermédiaire en utilisant une unité de vidange.

En général le transfert se fait à l'aide d'un micro-ordinateur portable qui reçoit les données à travers une interface série RS 232. Les données sont transférées sur disquette. Cette méthode exige qu'un technicien se déplace sur le terrain pour le faire. Cette opération dure au maximum 1 heure pour collecter (24 Ko). Certains traitent aussitôt pour déclencher des irrigations, prévisions de maladies.

L'utilisation d'un micro-ordinateur portable pour la collecte des données et le transfert des données sur disquette, est une méthode présentant beaucoup d'avantages et offrant les possibilités de : collecte, vérification des données stockées ou instantannées. Elle offre aussi la possibilité d'initialiser la station (charger le software, la lecture des capteurs, le stockage des données). Elle ne présente pas de risque de pertes des données en cas de fausse manoeuvre, ou en cas de limitation du nombre de réécriture sur la PROM. Si l'enregistrement se fait sur RAM interne, le logiciel et le matériel peuvent être organisés de telle sorte que l'espace mémoire soit augmenté de plus du double. Cette opération consiste en la collecte de toutes les données, permettant ainsi d'éviter que celles-ci ne soient perdues, et récupérer celles qui auraient pu l'être lors d'une opération précédente.

## 5.3.3 TRANSFERT DES DONNEES A DISTANCE

La télémessure est une technique qui permet de transmettre les valeurs mesurées de leur endroit où elles ont été enregistrées vers un autre plus éloigné pour être exploitées ou stockées. La transmission se fait par réseau téléphonique (fil permanent); système radio; ou transmission par satellite. Le choix de telle ou telle système nécessite la définition de plusieurs paramètres : Les objectifs clairs, L'environnement, et les ressources.

STANOSAVS  
JAB

Une fois les données sont stockées dans la mémoire de l'unité d'acquisition, elles doivent être transférées sur une mémoire centrale, permettant la création d'une banque de données. Le mode de transfert dépend du mode de stockage utilisé, ainsi que de la localisation de l'unité.

Parmi les avantages des stations agrométéorologiques automatiques on cite :

- Grande fiabilité et finesse dans les mesures
- Réelle simplicité d'emploi et gain de temps important
- Augmentation du nombre des données recueillies.

Au terme de cette étude descriptive, nous présentons un tableau comparatif de ces deux types de stations (voir Tab.2).

Le réseau climatologique de la DMN est de 746 postes et dont la DMN a contrôlé la qualité de l'observation de ces postes et a conclu que seul 224 postes s'avèrent fiables, soit 30%. Ce réseau est tenu par des observateurs bénévoles qui relèvent surtout les températures et la pluviométrie. D'où l'intérêt d'un réseau fiable. [10]

## VI. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

En Europe ou aux USA il est évident que la prévision des risques climatiques a sensiblement progressé ces dernières années. Les différentes applications concernant l'agriculture se multiplient de plus en plus.

Le traitement statistique des données météo apporte en particulier les informations très utiles : En connaissant mieux la probabilité d'un événement climatique (froid-sécheresse-inondation) dans sa région chacun peut s'efforcer de limiter la part du risque.

Beaucoup de données autrefois sur papier, peuvent maintenant être disponibles sur un support informatique facile à traiter. En clair un réseau agrométéorologique pourra fournir dans l'avenir un état des lieux agroclimatique bien plus précis pour chaque région.

On saura choisir très vite les meilleures variétés pour une zone précise. On pourra juger aussi de l'adaptation d'une nouvelle culture, décider de l'implanter en minimisant les risques liés aux conditions de semis de récoltes, de déficit d'eau, de gel...

TABLEAU 2: COMPARAISON ENTRE LES STATIONS CLASSIQUES ET LES STATIONS AUTOMATIQUES [1]

STATION AUTOMATIQUE	STATION CLASSIQUE
Autonome	Présence humaine permanente est nécessaire
Mobile	Fixe
Mesures continues et simultanées	Mesures continues pour certains paramètres seulement. relevés des mesures à des heures fixes.
Grande fiabilité de fonctionnement et d'enregistrement	Erreurs de lecture (10 à 20 %), absentéisme, pertes de données....
Traitement automatique des données	Dépouillement manuel fastidieux, lent, avec risque d'erreurs important
Entretien très simple	Entretien régulier, exigeant beaucoup de matériel consommable
Simple d'emploi	Requiert une formation sur les pratiques d'observation
Grand nombre de données recueillies	Nombre de données recueillies limité

Au Maroc, actuellement, il est très difficile de multiplier les applications de l'agrométéorologie, dont la mesure ou les relevés manuels restent contraignants et très lourds à centraliser, d'autre part les données prises sur un aéroport, peuvent se relever différentes et peu représentatives des données réelles au champ, dans un autre secteur de la région.

Si les informations données par la météo nationale circulent sous de nombreuses formes, on peut cependant encore leur reprocher deux choses: Les données ne sont pas assez localisées; et certaines sont diffusées avec un délai trop important pour rendre des services immédiat aux agriculteurs.

Les besoins de l'agriculture nécessitent d'aller plus loin dans les mesures climatiques. Le développement de l'agrométéorologie ne serait possible qu'avec un réseau automatique. C'est la solution qui permet le traitement direct, rapide, continu, et fiable de milliers de données.

Pour obtenir un suivi précis des cultures, il est important de disposer des mesures climatiques fiables, au jour le jour. Les stations automatiques offrent ces avantages. Les données sont obtenues en temps réel ou proche du réel. L'informatique permet de les traiter directement même à distance. Elles permettent d'établir des réseaux météo autonomes.

Une validation des données doit être réalisée par le logiciel afin de vérifier qu'elles sont conformes : la validité des mesures, et la fiabilité des capteurs sont très importantes pour le développement de l'agriculture.

Il est recommandé que les ORMVAS, DPA et DPV installent ces stations météorologiques et forment le personnel technique et scientifique afin de suivre le développement agricole.

## VII- REFERENCES

- (1) RAMDANI ABDELLAH. Expert system pour sélectionner les stations agrométéorologiques pour contrôler l'utilisation de l'eau et de l'énergie utilisées en irrigation sous les conditions Marocaines. Thèse de Doctorat es-Science Agronomique. Juillet 1991. Département de Machinisme Agricole. IAV Hassan II.
- (2) RAMDANI ABDELLAH. recueil de note sur les applications des stations agrométéorologiques. Document préparé pour la session de formation continue sur les applications des stations agrométéorologiques. 2-14/11/1992. IAV HASSAN II. Département de Machinisme Agricole. IAV Hassan II.
- (3) RAMDANI ABDELLAH et ABABOUSSE LAHCEN. 1992. Application d'une station agrométéorologique automatique et d'une instrumentation pour le contrôle de l'irrigation et l'environnement sous serre. . Mémoire de 3ème cycle, option machinisme agricole. Septembre 1992. IAV HASSAN II.
- (4) RAMDANI ABDELLAH. 1992. Les stations Agrométéorologiques classiques et automatiques pour le développement de l'agriculture. (Enquête-Sélection et application). Document préparé pour la session de formation continue sur les applications des stations agrométéorologiques. 2/ 14/1992. IAV HASSAN II.
- (5) RAMDANI ABDELLAH . 1992. Expert system for saving water and energy used in agricultural irrigation applications. 17th Study Days of the section 4 of the international commission on agricultural Engineering. Low Enrgy systems for the environmental control of plant and animal production. Pamplona Spain 3-6/5/92.
- (6) SINIDCHIEV D.A., 1986-87. Précis de notes sur les instruments météorologiques pour la formation du personnel météorologique des classes 3 et 4 : Volume I - OMM, n° 622 Genève Suisse.
- (7) ALLALI A. 1988. Rapport de titularisation. Direction des Eaux et Forêts et de la Conservation des Sols. Rabat
- (8) Le réseau Forestier Marocain d'observation climatologiques: Extrait du Rapport annuel 1951 de la station de recherche Forestière de Rabat. 1952.
- (9) SLASSI. M. L., 1991. Prévention et lutte contre les incendies de Forêts. Contribution de la Météoprogologie. P67-78. Réunions Techniques sur l'information Météorologique et les incendies de forêts. Rabat 25-30 Novembre 1991. OMM Genève.
- (10) Rapport d'Activité de la Direction de la Météorologie Nationale. Exercice 1992.
- (11) PAMESEB. asbl. 1990-1992. pour la Promotion de l'Agrométéorologie dans le Sud Est de la Belgique. Programme de Développement intégré PDI. Unité du Génie Rural de Louvain La Neuve.
- (12) KEN CRAWFORD. Summer 1993. The Oklahoma Mesonetnetwork. Oklahoma Climatological Survey. 100 East Boyd, Suite 1210. Norman, OK 73019-0628

# DEVELOPPEMENT DU RESEAU METEOROLOGIQUE

PAR

E. LOUKAH\* & D. ABAJLAL\*

## I. INTRODUCTION

Le climat est un facteur essentiel qui détermine les décisions concernant l'utilisation des sols et des ressources en eau, la nature de la production agricole et le choix des espèces cultivables.

Il a été démontré qu'en exploitant d'une manière efficace l'information agrométéorologique on pouvait accroître la production et réduire de manière considérable les pertes sur les récoltes.

Ainsi nous avons jugé utile de présenter une intervention sur le réseau météorologique de base pour la journée d'information agrométéorologique dans le souci de sensibiliser l'ensemble des usagers et responsables sur la nécessité d'avoir un réseau de référence.

## II. RESEAU SYNOPTIQUE ACTUEL

Actuellement le réseau est constitué de 39 Stations Synoptiques Terrestres (fig.1).

Afin de répondre aux besoins météorologiques internationaux et nationaux de plus en plus nombreux, diversifiés et exigeants, le réseau actuel devrait être renforcé.

Le Sud et le Sud Est du Maroc présentant un grand intérêt dans les études de la sécheresse, la désertification et les invasions accridiennes qui menacent notre pays est une urgence non seulement à l'échelon national mais également sur le plan régional et international vu sa faible densité des points de mesures.

### a- Réseau Synoptique Terrestre

Compte tenu de ce qui précède il s'avère nécessaire de créer d'autres stations d'observations.

Une étude dans ce sens nous a emmené à proposer la création de 16 Stations d'ici l'an 2000. Il s'agit de :

Taurirt, Settat, Khenifra, Boujdour, Tata, Kelaa Essraghna, Zagora, Rissani, Tarfaya, Figuig, Missouri, Assa, Lagouira, Tendirra, Tabant et Tinghir (voir fig 2).

### b- Stations Automatiques

Pour les régions à accès difficile on opte pour des stations automatiques. Le réseau actuel est constitué de 11 stations comme suit :

Tanger	Oukaïmdan	Casa Anfa
Rabat Salé	Agadir Inezgane	Taroudannt
Nouasser	Agadir Al Massira	Kasba Tadla
El Jadida	Tiznit	

Le tableau 1 illustre les sites des stations automatiques à créer dans le cadre d'un projet à l'étude de financement.

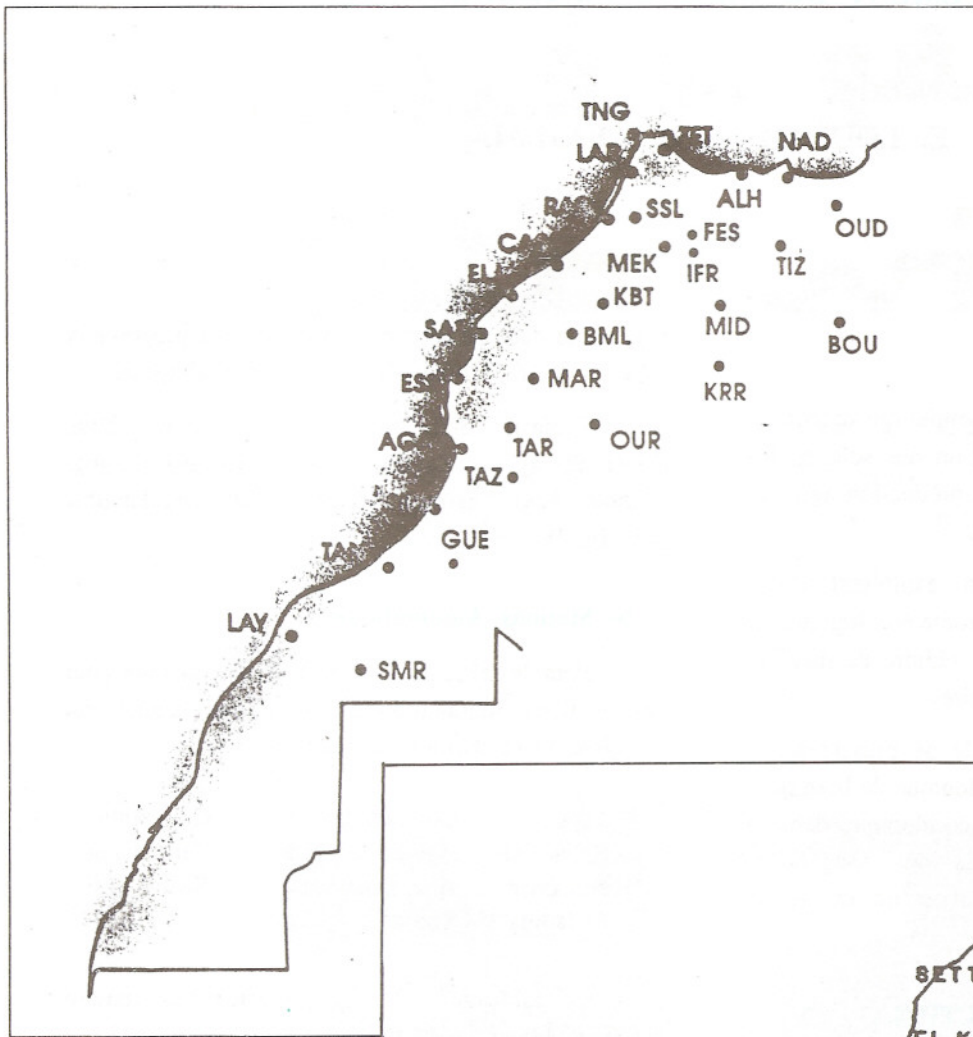
### c- Stations Portuaires

Une bonne connaissance de l'interface océan-atmosphère aide beaucoup dans la mise en valeur des ressources halieutiques de notre pays et la maîtrise des problèmes actuels de la pollution au niveau des côtes marocaines. Pour bien jouer son rôle socio-économique, la DMN a installé un réseau maritime qui assiste en même temps le trafic portuaire.

Le réseau maritime actuel est limité à 3 stations créées pour répondre à des urgences immédiates.

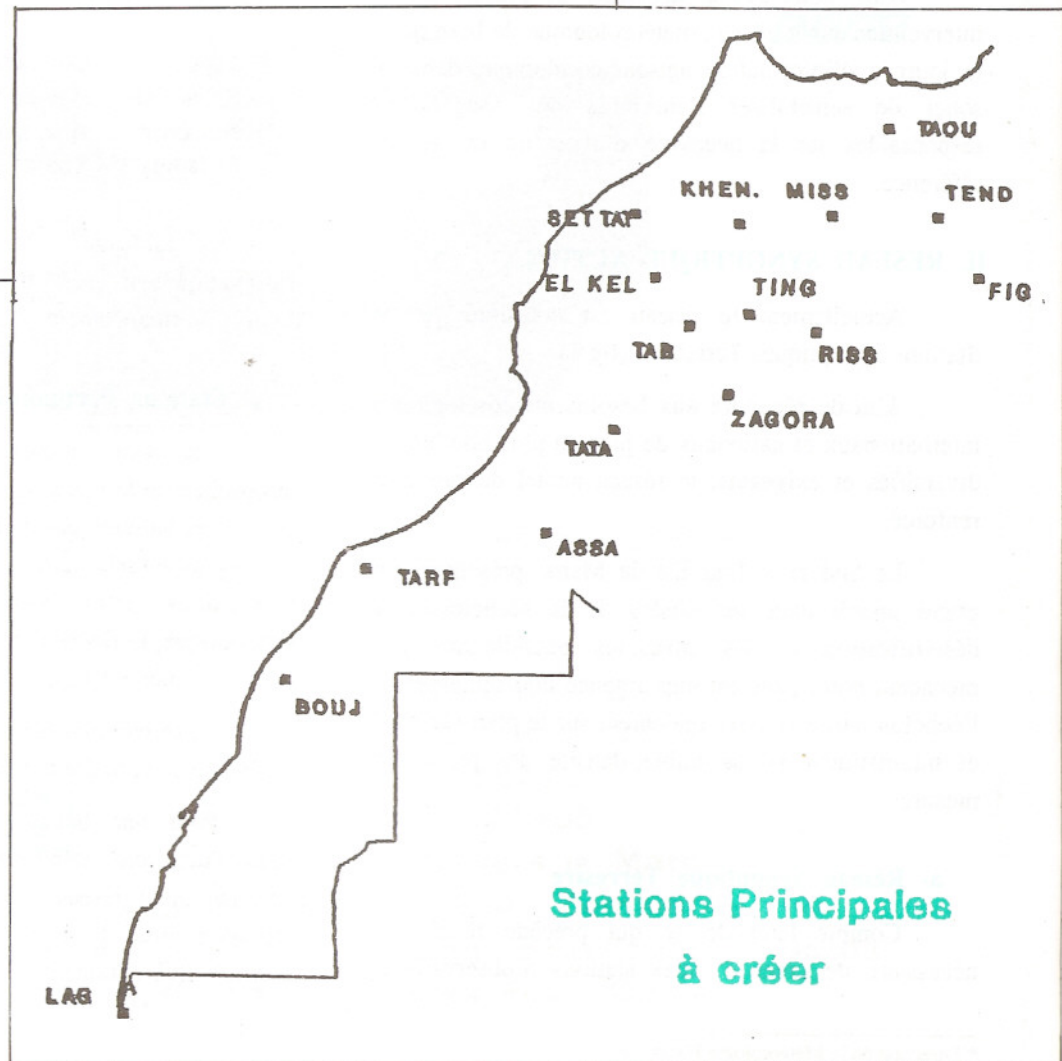
Pour une bonne couverture des deux côtes Marocaines qui totalisent une longueur d'environ 3500km, ledit réseau demeure insuffisant et loin de répondre aussi bien aux besoins nationaux qu'aux normes internationales. Ainsi des études ont été

\* Direction de la Météorologie Nationale.



## LE RESEAU SYNOPTIQUE COMPREND

- 36 stations terrestres réparties sur l'ensemble du territoire national,
- 3 stations portuaires installées à Casablanca, Mohammedia et Tanger



## Stations Principales à créer

Table 1  
Stations Automatiques à créer (70)

N°	Station	N°	Station
1	Boudnib	36	Argana
2	Targuist	37	Telouet
3	tinejdad	38	Tamanar
4	Souk El Arba du Gharb	39	Taouz
5	El Aïoun	40	Tazzarine
6	Karia Ba Mohammed	41	Imi ntanoute
7	Guercif	42	Taliouine
8	Aïn Béni Mathar	43	Irhem
9	Debdou	44	Foum Zguid
10	Ribat Al Khayr	45	El Mahamid
11	Rommani	46	Bir anzarane
12	chemaïa	47	Akka
13	Outat Ouled El Haj	48	Foum Al Hassane
14	Chichaoua	49	Tiglid
15	Matarka	50	Zag
16	Had Ouled Fraj	51	Geltat Zammour
17	Oued Zem	52	Angala
18	Sidi Bennour	53	El Haggounia
19	Tafraoute	54	Al Mahbes
20	Machraa Ben Abbou	55	Al Farciya
21	Bab berreth	56	Hawza
22	Talsinnt	57	Lemsid
23	Iche	58	Khmis des Beni Arouss
24	Mangoub	59	Chalwa
25	Afourer	60	El Bir Lahlou
26	Rich	61	Amasine
27	Boulmane	62	Skaymat
28	Imilchil	63	Faydat As-Sadra
29	Bouanane	64	Awsard
30	Demnate	65	Mâtallah
31	Khmis zmamra	66	Birgandouz
32	Eloualidia	67	Techla
33	Moulay Bouazza	68	El kbab
34	Hassi Berkane	69	Arbaa el aounate
35	Agdz	70	Agourai

menées pour la sélection des sites pour les stations maritimes à créer.

Le choix a été fait en tenant compte :

- Des normes OMM concernant la distribution horizontale qui est la même que pour les Stations Synoptiques Terrestres.
- Des contraintes topographiques: on a choisi ainsi des Stations Maritimes représentatives de régions déterminées (la houle mesurée à

BENI NSAR (Nador) serait différente de celle mesurée à AL HOCEIMA. Ceci est dû à la nature et la morphologie de la cote).

- Des besoins nationaux : la sécurité dans les ports exige la disponibilité d'une manière régulière de données météorologiques au sein du port lui même. En plus, pour valider le modèle de prévision de houle on a besoin des points de mesure les plus sensibles et les plus représentatifs du littoral pour comparer les valeurs prévues et observées.

On a alors choisi compte tenu des Stations Maritimes existantes Casa Port Tanger Port et Mohammedia le réseau des stations maritimes à créer d'ici l'an 2000 (table 2).

Table 2  
Stations maritimes à créer d'ici l'an 2000

Station Maritime	Justification du choix
Agadir	représentative de la baie
Jorf Alasfar	industrie chimique et appelé à devenir le 1er port minéralier de la région
Nador	représentative de la houle située à l'est du cap. Canton
Tan Tan	Port de pêche
Dakhla	Port de pêche
Safi	représentative de la partie convexe de la côte
Laayoune	représentative de la région Saharienne
kénitra	représentative de la partie concave de la côte
Tetouan	représentative de houle située à l'est du détroit
Alhoceima	représentative de houle située à l'ouest du cap Quilatès
Essacouira	importance du port
Lagouira	représentative de l'extrême sud du pays

### III- RESEAU CLIMATOLOGIQUE

Contrairement au réseau synoptique, le réseau climatologique n'est pas géré par la DMN.

Des conventions sont établies entre la DMN et certains Départements intéressés par des données météorologiques dans un lieu déterminé, stipulant que la DMN se charge de l'installation d'instruments et le département en question se charge d'effectuer des

mesures et les envoyer la fin du mois (en temps différé) à la DMN.

Le Ministère de l'Agriculture totalise la gestion de 478 postes dont 44 sont gérés par l'ORMVA.

La table 3 indique le nombre de postes gérés par chaque administration.

La table 4 indique la qualité des postes climatologiques par autorité gérante.

### IV. CONCLUSION

Compte tenu de l'importance des observations météorologiques, leur qualité et leur acheminement à temps, il est nécessaire de conjuguer nos efforts ensemble ; DMN et Départements concernés avec la volonté, souplesse et persévérance qu'il faut jusqu'à avoir un réseau météorologique de référence qui servira de base aux différentes études liées au développement des secteurs socio-économiques tel que l'Agriculture la gestion des ressources en eau, l'environnement l'urbanisme le tourisme etc...

L'optimisation d'exploitation de ce réseau passe par la multiplication des occasions et de rencontres de sensibilisation sur la qualité des données disponibles et sur le choix des sites des nouveaux postes à créer.

Il faut que la DMN qui dispose des spécialistes dans le domaine se charge de l'encadrement, le contrôle et la coordination de ces postes. Elle doit être avisée de tout mouvement des opérateurs afin de former leurs remplaçants.

Dans l'intérêt national et afin de mieux gérer le patrimoine national que constitue le réseau météorologique il faudrait éviter la création de réseaux parallèles et des postes en double.

**Table 3**  
**Répartition Administrative du réseau**

	Pluvio:	Clim1:	Clim2 :	Clim3:	Clim4:	Total
CT	70	: 7	: 9	: 1	: 3	: 90
INRA	0	: 1	: 8	: 0	: 8	: 17
EAUX ET F	311	: 1	: 5	: 5	: 5	: 327
MIN. INT	169	: 16	: 12	: 1	: 3	: 201
O.R.M.V.A	16	: 5	: 7	: 0	: 16	: 44
O.N.E	3	: 2	: 9	: 0	: 6	: 20
AUTRES	17	: 7	: 17	: 0	: 5	: 46
<b>TOTAL</b>	<b>586</b>	<b>: 39</b>	<b>: 67</b>	<b>: 7</b>	<b>: 46</b>	<b>: 745</b>

- Pluvio = Poste effectuant les relevés de pluviométrie seulement.  
 Clim1 = Pluvio + relevés des températures minima et maxima  
 Clim2 = Clim1 + deux lectures de psychromètre par jour  
 Clim3 = Clim1 + 3 lectures de psychromètre par jour.  
 Clim4 = Clim3 + paramètres spéciaux (vent, rayonnement etc...).

**Table 4**  
**Qualité des postes climatologiques**  
**par autorité gérante.**

	T.bon :	Bon :	Moyen :	Médiocre:	Total
CT	3 3%	: 26 29%	: 28 32%	: 33 36%	: 90
INRA	5 29%	: 3 18%	: 4 24%	: 5 29%	: 17
EAUX ET F	4 1%	: 120 37%	: 153 47%	: 50 15%	: 327
O.R.M.V.A	14 32%	: 10 23%	: 11 25%	: 9 20%	: 44
MIN. INT	0 0%	: 10 5%	: 80 40%	: 111 55%	: 201
O.N.E	2 10%	: 8 40%	: 3 15%	: 7 35%	: 20
AUTRES	7 15%	: 12 26%	: 13 28%	: 14 31%	: 46
<b>TOTAL</b>	<b>35 5%</b>	<b>: 189 25%</b>	<b>: 291 39%</b>	<b>: 230 31%</b>	<b>: 745</b>

# LE PROGRAMME AGROMETEOROLOGIQUE DE LA D.M.N. LA METEO VERTE

A. El Ouali<sup>(1)</sup>

## RESUME

A l'échelon national, les questions que suscite la conjonction presque tragique entre l'accroissement démographique et la menace d'une baisse de la productivité agricole due à l'agressivité climatique, rendent urgent la nécessité de développer l'agrométéorologie dans notre pays.

Cette communication explore les possibilités concrètes de la D.M.N. de mise en oeuvre d'un Programme Agrométéorologique qui intéresse l'ensemble du territoire : La Météo Verte, programme qui tire parti et des acquis actuels et des technologies modernes récemment mises en place.

Des étapes de développement du programme sont présentées, les moyens à déployer ainsi que la structure de l'entité chargée de conduire efficacement les actions projetées.

Autant ces actions sont menées d'une façon interdisciplinaire autant les objectifs sont rapidement atteints et les effets sont bénéfiques pour la production agricole et donc pour l'économie nationale.

---

(1) Direction de la Météorologie Nationale.

## INTRODUCTION

La production agricole résulte de la combinaison et de l'interaction de quatre facteurs principaux :

- le sol,
- le Climat,
- le Matériel Biologique,
- les Techniques Agricoles.

De tous ces facteurs limitants, le Climat est le plus aléatoire.

Il consiste la contrainte majeure dans la production agricole marocaine. Les caprices météorologiques le démontrent quant aux coûts supplémentaires qu'elles engendrent pour assurer l'avenir et la pérennité d'une entreprise agricole.

Aussi, tous les efforts pour mieux connaître les incidences du climat dans la conduite des exploitations agricoles ne sont pas à négliger.

Au delà de l'approche empirique et pratique, l'Agrométéorologie moderne se propose d'étudier les relations agriculture-climat selon une démarche plus scientifique.

L'Agrométéorologie peut se définir comme étant l'ensemble des moyens scientifiques et techniques permettant par l'exploitation de données à la fois agronomiques et météorologiques, de fournir à l'exploitant agricole les éléments utiles pour une meilleure gestion de son exploitation.

## DOMAINE D'APPLICATION DE L'AGROMETEOROLOGIE

- Orientation régionale de l'agriculture,
- Choix d'une orientation technico-économique à moyen terme,
- Technique de production agricole (végétale ou animale) et sylvicole,
- Protection phyto-sanitaire,
- Gestion des ressources hydriques,
- Aménagement de l'espace rural,
- Prévention des calamités atmosphériques.

## STRUCTURE DU PROGRAMME

- Forte de son expérience acquise au fil des ans dans le domaine de la météorologie agricole, domaine auquel la D.M.N. attache une importance considérable,
- Afin de satisfaire efficacement les demandes en informations agrométéo de plus en plus croissantes et ciblées,
- En concordance avec les dispositions prises à l'échelon international en faveur d'une "Météorologie agricole au service d'un développement durable" (respect de l'Environnement), du plan à long terme de l'Organisation Mondiale de la Météorologie.

Un programme d'Agrométéorologie Opérationnelle a été conçu et mis au point par les services spécialisés de la D.M.N.: Le Programme Météo Verte.

Ce programme, dont nous présentons ici seulement les grands axes, s'appuie sur les Projets suivants :

- Les Données
- Les Applications
- Les Services
- La Formation
- La Recherche.

## FINALITES DU PROGRAMME

Elles sont de trois types :

- Finalités d'ordre tactique :  
Aide à la prise de décision au jour le jour,  
Intervention précise et localisée.
- Finalités d'ordre stratégique :

Adoption soit de techniques d'exploitation, soit de systèmes de culture en fonction des caractéristiques locales c'est à dire une cartographie fine des facteurs d'interaction qui conditionnent le développement végétal :

- \* fréquences d'événements climatiques,
- \* type de sol ...

## ■ Finalités d'ordre prévisionnel :

Recours à la modélisation des relations entre les conditions météorologiques et le développement des cultures, la surveillance et la prévision du rendement des récoltes.

## LES DONNEES

Ce projet constitue la base du Programme. Il couvre trois volets :

### 1- LES OBSERVATIONS AGROMETEOROLOGIQUES

Cette activité vise la maîtrise des besoins en données pour l'agriculture, sachant pertinemment que l'information agrométéorologique comprend simultanément :

- les données météorologiques,
- les données biologiques,
- les données pédologiques,
- (à la limite) les données techniques,

car l'état biologique de l'organisme végétal au cours de chaque phase phénologique est une fonction intégrée du milieu ambiant de cet organisme.

Sur le plan pratique, le support choisi des informations agrométéorologiques minimales nécessaires à un suivi régional agrométéo, est un message codé nommé "METAG+" (en remplacement à l'ex-METAG / 1978), qui sera élaboré toutes les décades (10 jours) et échangé sur le Système Mondial de Télécommunication (SMT) ou par voie FAX.

Ce message, donne la description qualitative et quantitative de l'ensemble des facteurs d'interaction.

### 2- LE RESEAU AGROMETEOROLOGIQUE

Ce projet constitue la charpente principale du programme. Il s'agit de mettre en place un réseau qui affine l'observation synoptique et climatologique existante compte tenu des besoins spécifiques exprimés ici.

Le Réseau Secondaire Agrométéorologique proposé dans le cadre de ce projet est constitué, en sus des Stations Synoptiques, de Stations Automatiques équipées d'un ensemble de capteurs permettant les mesures en continu de grandeurs météorologiques telles que précipitations, Température maximale, Température minimale, Vent direction et force, Humidité, Rayonnement ou Insolation et durée d'Humectation.

Ces stations peuvent fonctionner :

- Soit d'une manière totalement indépendante avec une capacité de stockage des données de 30 jours à 90 jours,
- Soit être raccordée à un réseau de contrôle d'une zone géographique plus vaste (la Région Météorologique ou la zone Agro-écologique).

C'est cette dernière option qui a été retenue : la configuration du réseau est étoilée autour d'un système informatique central qui fonctionne en temps réel. Le système de télétransmission (simple ajout d'une carte électronique) via le réseau téléphonique commuté permet l'acheminement des informations sous forme de messages vers la station centrale régionale, ainsi que l'interrogation successive des stations automatiques suivant un cycle de 5, 10, 15... minutes.

Le concentrateur régional est un simple micro type PC dans lequel tourne un ensemble de logiciels de traitement des données climatiques...

Les concentrateurs régionaux seront reliés à un ordinateur central (Serveur National) qui sera situé à la D.M.N. Ce serveur permettra ainsi d'informer les gestionnaires des conditions météorologiques et agrométéo qui prévalent à l'échelon national, et de satisfaire aux besoins opérationnels selon les lieux et les périodes.

Les gestionnaires de ce serveur ont aussi pour tâche de traduire en temps réel et dans un format pratique les informations agrométéo se rapportant à l'ensemble du territoire:

- Effectuer l'analyse des données passées, actuelles et futures, qui peuvent aider le correspondant à prendre des décisions et à planifier ses activités;
- Elaborer des produits tels que tableaux, graphiques, cartes...

Il faut rappeler qu'au niveau central, à Casablanca, d'autres informations météo vont s'ajouter à celles collectées du réseau agrométéo et vont servir à effectuer une analyse et une projection plus étoffée des conditions agrométéo :

- Celles des Plateformes de Collecte de Données (ou DCP) opérationnelles dans huit aéroports, qui utilisent comme relais de transmission le satellite METEOSAT, pour envoyer les données météo,
- Les futures données du réseau RADAR formation précise à l'échelle d'une parcelle 4 x 4 Km),
- Les données numériques et graphiques de l'imagerie satellitaire (Télé-détection),
- Les données de prévision fournies par les Modèles,
- Et... les précieuses données obtenues des Modèles du projet PAC (ICARDA/IDRC/INRA/DMN 1990-1993) "Package for Agro-ecological Characterization".

### 3- LA BANQUE DE DONNEES AGROMETEOROLOGIQUES

Ce projet hautement prioritaire vise l'utilisation de techniques de gestion de base de données numériques et graphiques collectées en temps réel et en temps différé.

Car il sera impossible d'atteindre les objectifs spécifiques fixés si une efficacité dans le fonctionnement permanent de cette banque n'est pas maîtrisée. Les bienfaits du programme se feront sentir si ce projet touche ses objectifs; à savoir :

- Enregistrer, rassembler, gérer, archiver et exploiter le plus judicieusement et le plus efficacement possible les données météorologiques et agronomiques obtenues au sol et par télé-détection.

Deux types de gestionnaire ont été considérés ici parce que connus :

- le SGBD "ORACLE"
- le SIG "IDRISI"

Le degré de priorité élevé accordé à ce type de projet a permis de circonscrire déjà l'équipe de spécialistes chargée de l'acheminer. Cette équipe aura pour tâche principale :

L'Administration et la Supervision du Gestionnaire de la Banque Agro.

### LES APPLICATIONS

Ce projet essentiel au programme vise avant tout à ce que les agriculteurs et les économies nationales puissent tirer parti des recherches effectuées dans le domaine de l'agrométéo: applications de stratégies adaptées et de méthodes intégrées concernant notamment les domaines suivants :

- La conservation des ressources naturelles,
- L'aménagement des terres,
- L'accroissement du rendement à l'hectare,
- L'extension des superficies consacrées à la production agricole,
- La réduction des coûts de production,
- L'amélioration de la qualité des produits agricoles,
- La sélection de variétés de plantes et de races animales mieux adaptées aux conditions climatiques et à leur variabilité,
- Les effets de la pollution atmosphérique sur la végétation et le sol.

### LES SERVICES

Le groupe de travail chargé de ce projet est appelé à jouer un rôle stratégique quant à :

- L'amélioration des produits préparés : adaptation de l'information au contexte local,
- La diffusion rapide des produits élaborés,
- La publication régulière des informations agrométéo validées.

L'une des actions pratiques envisagées dans le cadre de ce projet est l'utilisation de la Télématicque (Vidéotex interactif de Itissalat al Maghrib); le système automatisé interactif qui est à l'étude présentement nommé "AGRITEL" permettra la disponibilité en temps quasi réel des informations agrométéo via la Banque de Données Agro et le réseau Maghripac.

En parallèle, les médias, en tant que moyen efficace de diffusion de conseils et d'avis destinés à l'agriculteur seront également appelés à jouer un rôle important.

## LA FORMATION

Ce projet repose sur le concept de Transfert de Connaissances, concernant notamment les questions qui sont en rapport avec :

- Les progrès technologiques qui ont trait à la mesure des éléments agrométéorologiques, et aux méthodes de traitement des données,
- L'utilisation pratique des avis et des visions météorologiques et agrométéorologiques par les services chargés de l'agriculture y compris les exploitants agricoles, les sylviculteurs et les exploitants de terrains de parcours,

- L'organisation de rencontres entre professions concernées par l'agriculture (séminaires, stages, conférence, ateliers de travail, cycles d'études itinérants, inviter des experts du Groupe inter institutions de biométéorologie agricole OMM + FAO + UNESCO + PNUE et d'autres instituts internationaux de recherche agricole IRRI, ICARDA...).

## LA RECHERCHE

La stratégie scientifique préconisée s'inscrit dans le cadre du Programme Climatologique National (DMN. Juin 1993).

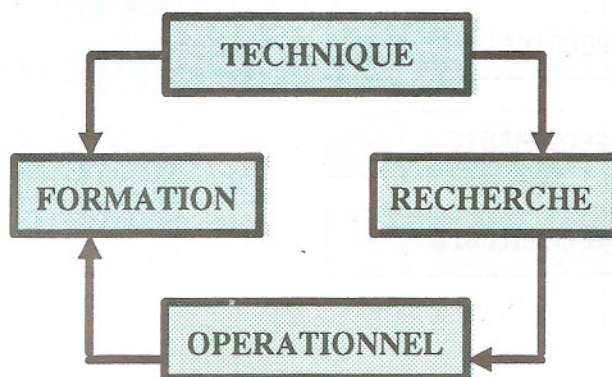
Aussi pour s'acquitter des aspects pluridisciplinaires qui sont primordiaux pour la réussite de ce programme, il est proposé de créer un Comité de Recherche en Agrométéorologie Opérationnelle (CROP) qui sera chargé des tâches suivantes :

- Fixer les orientations scientifiques prioritaires,
- Déterminer les principaux objectifs de la recherche,
- Examiner et évaluer l'avancement du programme Météo Verte,
- Assurer la coordination des activités au niveau national.

## SCHEMA DE DEVELOPPEMENT D'UN PROGRAMME AGROMETEOROLOGIQUE (d'après Biswas 1986)

Le développement de l'Agrométéorologie repose sur le fonctionnement optimal de 4 systèmes :

- Une infrastructure Technique représentative, bien organisée, bien pourvue en moyens humains et matériels,
- Une fonction rapide et permanente de formation et de transfert de connaissance,
- Une équipe de Recherche de haut niveau qui maîtrise les problèmes agrométéorologiques régionaux,
- Une capacité Opérationnelle élevée : méthodologie d'action et technique de vulgarisation persuasive.



## CONTRAINTES

Certaines stations automatiques (4) sont actuellement à l'essai, les unes dans des aéroports, d'autres dans des sites agricoles. La fiabilité est relativement bonne, mais elle reste tributaire de certaines contraintes techniques et humaines :

- Visites régulières des sites,
- Entretien et maintenance des systèmes,
- Accès au réseau téléphonique qui peut parfois poser problème; c'est pour cette raison que l'option satellitaire (METEOSAT) est à l'examen,
- Effectif en personnel qualifié qui risque d'être insuffisant,
- Les frais de fonctionnement des systèmes...

## CALENDRIER DE REALISATION

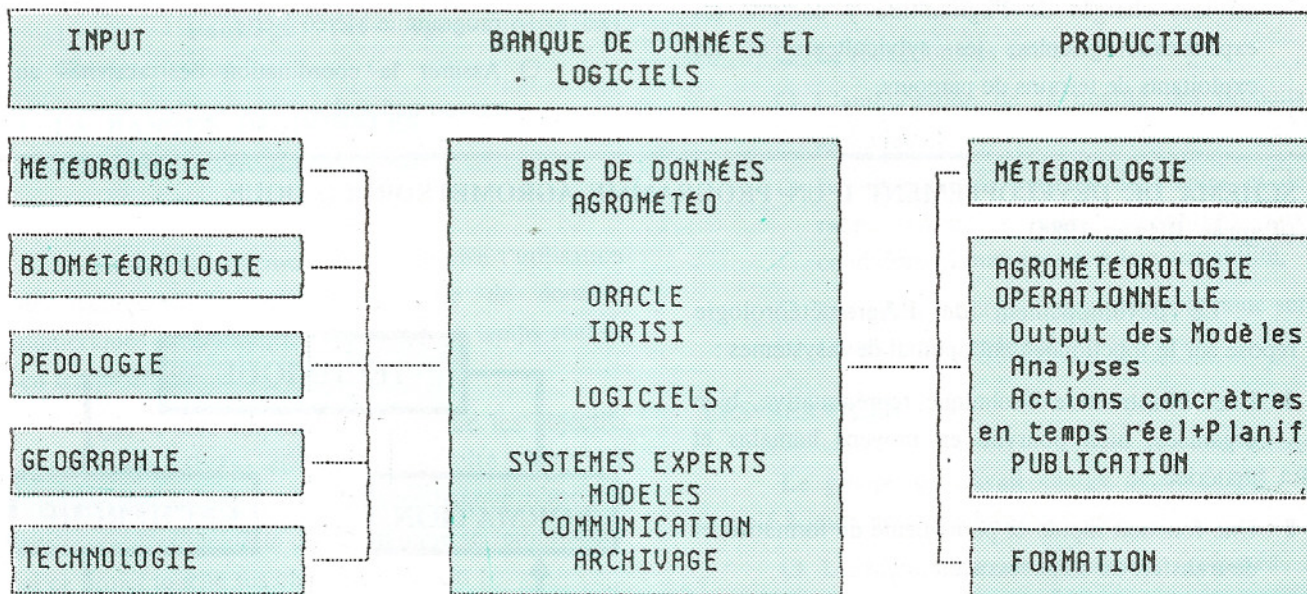
Dans le cadre de Programmes de Coopération, la DMN va acquérir prochainement une centaine de stations automatiques équipées chacune d'au moins 5 capteurs.

Les années avenir vont marquer un tournant au niveau D.M.N. en matière d'équipement informatique, en sus de l'infrastructure télécom-informatique déjà existante.

Il faut compter donc, et il est vivement souhaité, que d'ici trois années (1996) le programme sera opérationnel au moins pour une région pilote : une plaine qui reste maintenant à définir.

La réalisation et le succès de ce programme dépendra beaucoup de la conscience qu'ont les concernés quant aux avantages qu'ils peuvent tirer de l'impact de Météo Verte.

## ORGANISATION GENERALE DU PROGRAMME



# Présentation du projet de couverture Radars Météorologiques

Mohamed Nbou\*

Le développement de la radarmétéorologie, mesure par télédétection radar des phénomènes atmosphériques, est l'une des conséquences des progrès importants qui ont été réalisés depuis les années 30 dans la détection et la localisation aériennes, le mot "radar" signifiant "Radio Detection and Ranging". Les progrès réalisés par la suite, tant par les techniques électroniques et informatiques, que par les méthodes de traitement de signal, et techniques de visualisation, ont ainsi permis des développements remarquables, grâce auxquels le champ d'intervention de la radarmétéorologie ne cesse de s'élargir.

Le radar est devenu par la suite un instrument courant et essentiel pour l'observation et la mesure météorologiques. Il permet en effet de collecter avec souplesse, efficacité et rapidité des quantités considérables d'informations sur la structure tridimensionnelle de l'atmosphère. Ces informations sont utilisées au profit de plusieurs secteurs d'activité socio-économiques (agriculture, ressources en eau, transport, protection civile, bâtiment, météorologie...).

Dans ce cadre, et afin de permettre à la Météorologie Nationale de jouer pleinement son rôle aussi bien au niveau local que régional, la DMN a attribué un haut degré de priorité au projet de couverture radar qui, de par sa conception, s'intègre harmonieusement avec les autres projets prioritaires notamment ceux ayant trait à la mobilisation des eaux, la mise en valeur agricole, la prévision numérique, la lutte anti-grêle, la sécurité aérienne, la régionalisation, etc....

Ce projet prévoit l'acquisition à brève échéance de quatre radars Doppler météorologiques, et la mise à niveau de celui existant à Khouribga. Ces quatre radars avec celui de Khouribga seront interconnectés en réseau et gérés par le centre de Casablanca. Chaque radar sera connecté à un ordinateur dont le rôle est de transformer les données de base en données

météorologiques et hydrologiques par le biais d'algorithmes développés dans ce sens.

## I. DESCRIPTION GENERALE DU PROJET

### 1. LES OBJECTIFS DU PROJET

Ce projet constitue l'une des composantes principales appelées à contribuer à améliorer la précision et la fiabilité des prévisions météorologiques à très courte échéance et à mieux répondre aux exigences auxquelles est confrontée la Météorologie Nationale notamment en ce qui concerne la satisfaction des besoins de secteurs stratégiques du pays dans les domaines des ressources en eau de l'agriculture et du transport.

Les répercussions positives attendues du projet sont les suivantes :

#### a. Aspect hydrologique :

- Meilleure connaissance de la répartition spatio-temporelle des précipitations aux fins d'une évaluation du bilan hydrique du pays (eaux mobilisables).
- Analyse immédiate des situations météorologiques pour des fins de gestion des ressources en eau, hydrologie urbaine et prévision des crues.

#### b. Aspect agricole :

- Contribution à la connaissance de la production agricole par la réduction des pertes occasionnées par les conditions météorologiques néfastes (grêle, orage, etc...).

#### c. Aspect transport :

- Amélioration de la fiabilité des prévisions relatives à l'assistance aéronautique.

\* Direction de la Météorologie Nationale.



#### d. Protection civile :

- Identification des situations météorologiques dangereuses dans un objectif de sécurité des hommes et du matériel.

#### e. Aspect recherche :

- La réalisation des campagnes de mesure qui sont indispensables pour améliorer la qualité de la prévision.
- La validation et l'initialisation des modèles de prévision numérique.
- L'amélioration quantitative et qualitative du produit hydrologique
- L'évaluation scientifique des programmes de recherches (Al-Ghait, lutte anti-grêle, etc....).
- Meilleure connaissance de la climatologie régionale.

#### f. Aspect Technologique et scientifique :

Utilisation des techniques avancées (formation du personnel et transfert de connaissance).

## 2. RESEAU RADAR

Le réseau regroupera cinq radars Doppler, qui seront configurés en réseau (voir fig).

Quatre radars DOPPLER en bande C seront installés dans quatre régions importantes: Laraçhe, Casablanca, Fes et Agadir en plus de celui déjà opérationnel installé à Khouribga pour les besoins du programme Al-Ghait et qui sera mis à niveau (dopplarisé). Ce réseau couvrira le Proche Atlantique, les Plaines occidentales, les plateaux des phosphates et oulmès, les plaines de Tadla, Rhamna, el Haouz, Saïs, El Gharb, les plateaux de phosphates et le Souss.

La conception architecturale du système central de concentration des données en provenance des différents radars du réseau, est ouverte à tout développement futur aussi bien au niveau matériel que logiciel. En conséquence, le rajout d'autres radars s'intégrera harmonieusement dans le reste du réseau pour obtenir une couverture optimale du royaume.

Cette extension future englobera les régions de l'oriental, le versant sud est de l'Atlas (Zagora), et les provinces sahariennes (Laâyoune).

## 3. PERFORMANCES TECHNIQUES DES RADARS DU RESEAU

Les radars envisagés sont des radars Doppler (DWSR-92C) opérant dans la bande C (5,4 cm), chaque radar doppler fournira trois données de base :

- Rélectivité;
- Vitesse radiale;
- Turbulence;

Les caractéristiques techniques des radars ont été choisies, en fonction des besoins actuels et futurs de la DMN. Ainsi on peut résumer les principales performances de ces radars par :

- Une polarisation de l'onde horizontale qui est la mieux adaptée pour les besoins hydrologiques avec une particularité dans ce sens, pour le radar qui sera installé dans la région de Fès, celui ci sera doté d'une technique à double polarisation. Ce qui permettra entre autres de mieux répondre aux exigences opérationnelles et recherche notamment du projet pilote de lutte anti-grêle.
- Une portée opérationnelle de plus de 200 Km pour la mesure des précipitations et de 120 Km pour la mesure de la vitesse et de la turbulence.
- Une résolution angulaire très fine (ouverture du faisceau d'un degré environ) ce qui permet d'augmenter la précision des données à grande distance et par voie de conséquence augmenter la portée opérationnelle du radar.
- Une sensibilité très importante qui se traduit par une détection de précipitations de 0.06mm/h (-12 DBZ) à 50 Km.

## CONCLUSION

L'imagerie radar associée aux autres moyens dont dispose la Météorologie Nationale, permet de répondre à de nombreux besoins qui se manifestent lors de la gestion d'un réseau hydrologique à des fins

agricoles. En outre la conception "matériel" et "logiciel" du système et la configuration du réseau permettra de prévoir et de lancer des avis précoces à l'approche de certains phénomènes locaux donnant naissance à des précipitations sous forme de grêle ou des inondations.



الشركة المركزية لتجهيز البلاد المغرب

SOCIÉTÉ CENTRALE POUR L'ÉQUIPEMENT DU TERRITOIRE - MAROC

**SCET.MAROC**

Société anonyme au capital de 3 800 000 DH.

RABAT Tel (07) 320 22 / 320 23 / 304 49 / 33 20

30, Chouaib Al Alaouyne, RABAT, Telex n° 31 900 M

Filiale CAISSE DE DEPOT ET DE GESTION (C.D.G.)

### NIVEAU DES ETUDES

Étude Générales, Plans Directeurs  
Facilité Avant-projet sommaire  
Avant-projet détaillé, Projet d'exécution

Dossiers de consultation des entreprises  
Contrôle général des travaux  
Ordonnancement, pilotage et coordination



#### DEPT INFRASTRUCTURES URBAINES

Alimentation en eau potable  
(Adduction, distribution)  
Assainissement, Traitement d'eau potable  
et usée, Stations de pompes, Equipement  
de lotissements, VRD



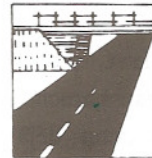
#### CELLULE URBANISME

Schéma, Directeurs d'aménagement et  
d'urbanisme, Aménagement de quartiers,  
Études de plans masse et de lotissement



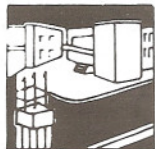
#### DEPT DEVELOPPEMENT AGRICOLE ET RESSOURCES EN EAU

Inventaire des ressources en eau  
Pédologie et classement des sols, Inventaires  
culturels, Études agroeconomiques, Aménage-  
ments hydroagricoles, Barrages collinaires,  
Ouvrages hydrauliques



#### CELLULE TRAVAUX PUBLICS ET OUVRAGES D'ART

Études routières, routes nouvelles,  
Confortement et réaménagement routes  
existantes, carrefours, ouvrages, portuaires  
et ferroviaires, Ouvrages d'art



#### DEPT BATIMENT - BETON ARME

Toutes études bâtiments tous corps d'état,  
Ensembles immobiliers, Complexes, Hoteliers  
et touristiques, Ensembles Hospitaliers,  
Ensembles Industriels, Programmes,  
Éducation: Lycées techniques,  
Facultés, E.N.S.



#### CELLULE INFORMATIQUE

Réalisation et exploitation de logiciels  
en gestion et calcul scientifique, Mise  
en place de systèmes organisationnels  
et informatiques.

Nabil CHBOUKI

## INTRODUCTION

Chaque région du globe connaît une succession de types de temps de caractères thermodynamiques distincts. Les masses d'air en jeu diffèrent par leur température, leur teneur en humidité, par l'intensité et la direction des vents qui les agitent, et par l'importance des pluies qu'elles génèrent. Ces caractères reflètent l'origine et l'évolution des masses d'air dans le cadre de la circulation générale de l'atmosphère.

Considérée sur des échelles temporelles saisonnières et annuelles, cette grande diversité des types de temps se réduit à une régularité remarquable qui définit le climat général de la zone considérée. Les conditions climatiques générales d'une région ou d'un pays déterminent, en grande partie, les niveaux de production animale et végétale ainsi que l'abondance des ressources naturelles notamment les ressources hydriques. Les activités socio-économiques et culturelles ont été dictées et façonnées par le climat pris dans son expression moyenne. Par conséquent, tout écart de la normale est susceptible d'affecter les sociétés humaines.

En effet, les conditions climatiques générales exhibent une variabilité interannuelle importante qui se manifeste par des anomalies climatiques diverses et ayant des conséquences socio-économiques néfastes, voire catastrophiques (cas de la sécheresse au Sahel). A travers le monde, la poussée démographique d'une part (pays en voie de développement) et l'amélioration du niveau de vie d'autre part (pays développés) font que toutes les civilisations souffrent mal les perturbations de leur mode de vie et de leur espérance, perturbations qui découlent notamment de la variabilité climatique. Il s'avère impératif de concevoir et d'adopter des modes de gestion rationnelle de ressources de plus en plus rares tels que l'eau et le sol.

L'histoire nous révèle que les différentes sociétés ont eu tendance à considérer ces anomalies comme des crises éphémères et se sont à chaque fois, l'effet surprise des anomalies aidant, retrouvées mal adaptées et mal armées pour faire face à ces crises. Par ailleurs, des anomalies de même sévérité, sont, à chaque récurrence, perçues plus graves et induisent des pertes plus lourdes.

Les anomalies climatiques, étant des phénomènes récurrents, constituent un caractère inhérent de notre environnement et devraient à ce titre être intégrées dans la planification et la gestion du patrimoine. Un grand pas vers une gestion et une planification rationnelles serait accompli si on arrive à atténuer l'effet contingent des anomalies par le biais d'une prévision climatique fiable et en temps opportun. Pour un pays comme le Maroc, la prévision des pluies permettrait de choisir les techniques et types de cultures, d'arrêter les utilisations prioritaires de l'eau (consommation urbaine, rurale, agricole, et industrielle), et d'ajuster et rationaliser les réserves stratégiques du pays en céréales, en viandes, en lait, en eau superficielle et souterraine.

## TYPES DE PREVISIONS

Il y a lieu tout d'abord de distinguer la prévision climatique de la prévision météorologique. Les bulletins météo présentent des prévisions météorologiques qui sont élaborées pour des échelles de temps allant de quelques heures à quelques jours. Les prévisions climatiques concernent des échelles de temps plus longues : saison, année et décade.

Une autre distinction découle des outils de prévision. En météorologie, les prévisions sont déterministiques faisant appel à des relations et modèles physiques. Au delà d'une dizaine de jours, ses outils, pour des raisons mathématiques, deviennent obsolètes. Ainsi, pour la prévision climatique on fait appel aux notions statistiques et aux modèles

empiriques. La nature des entités projetées change aussi, passant de types de temps à des moyennes ou totaux mensuels.

Enfin, la prévision climatique elle-même est de deux types, celle concernée par la variabilité climatique, élaborée à l'échelle de la saison et de l'année (prévision climatique proprement dite), et celle concernée par la variation climatique (changement climatique) qui porte sur plusieurs années et décennies.

## LA PREVISION CLIMATIQUE

### Base scientifique des prévisions

De prime abord, la variabilité interannuelle du climat semble aléatoire. Cependant, l'analyse des données climatiques révèle des patrons et des fluctuations océaniques et atmosphériques globales. Il s'agit notamment de l'oscillation du sud (OS) sur l'océan Pacifique, et de l'oscillation de l'Atlantique Nord (OAN) qui a pris par la suite l'appellation d'El Moubarak. Ces oscillations correspondent à des échanges alternes de masses d'air entre deux cellules de pression atmosphérique (Océan Indien vs Océan Pacifique pour l'OS, et l'anticyclone des Açores vs la dépression de l'Islande pour l'OAN). Les anomalies des oscillations se traduisent par des anomalies climatiques plus au moins prononcées qui touchent même des régions éloignées. Elles sont souvent associées à des modifications océaniques et des changements de température. Le phénomène d'El Nino illustre bien cette association. Le timing et la persistance des anomalies rendent les prévisions climatiques possibles.

D'autres types d'anomalies et de variables sont capables d'engendrer et de provoquer des anomalies climatiques. Les tâches solaires et l'influence lunaire dont les amplitudes de variation restent faibles n'arrivent pas à dégager un consensus dans les milieux scientifiques et ne se prêtent pas aux prévisions saisonnières. Mais le cycle solaire modulé par l'oscillation quasi-biennale exhibe un signal de fort amplitude pouvant apporter un plus aux schémas de prévisions adoptés (van Loon et Labitzke 1988). Enfin, la température de la surface de la mer (SST) offre un

grand potentiel en matière de prévision (Nicholls 1991, et Kalma et al. 1991).

### Variables utilisées

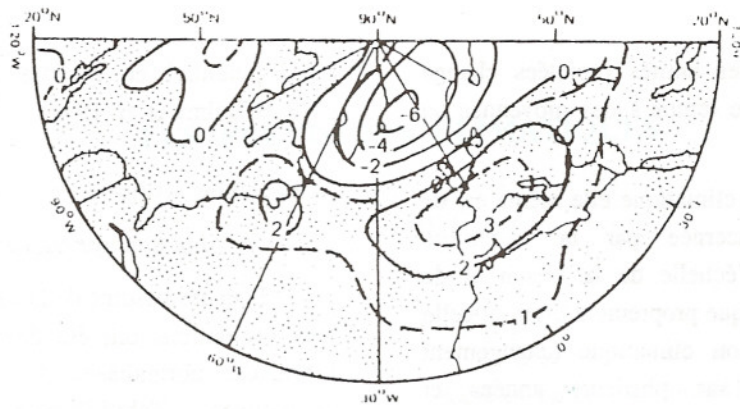
#### *Pression atmosphérique*

Pour les besoins de la prévision, des indices des deux oscillations ont été développés en prenant les différences normalisées des deux centres d'action protagonistes (Tahiti/Darwin pour l'Os et Ponta Delgada/Akureyri pour l'OAN). Au Maroc, des valeurs positives de l'indice OAN (IOAN) correspondent à des déficits pluviométriques alors que des valeurs négatives coïncident avec des pluies abondantes. Cette opposition reflète les deux états extrêmes mis en évidence par les travaux de Rogers et van Loon (van Loon et Rogers (1978), Rogers et van Loon (1979), Meehl et van Loon (1979), Rogers (1984, 1985)) à savoir le Groenland inférieur et supérieur (Figure 1).

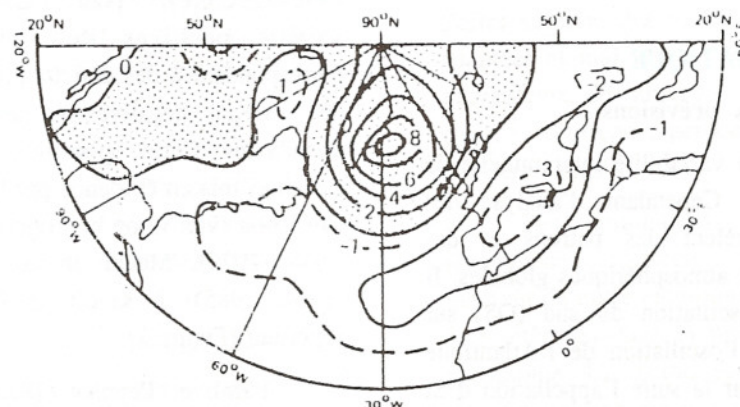
Lamb et Pepler (1991) ont corrélié l'indice hivernal d'El Moubarak avec les données de précipitations de trois groupes de stations. Un ensemble de 12 stations à travers le Maroc donne une corrélation de -0.47 (expliquant 22% de la variance). Cette corrélation s'améliore à -0.57 (expliquant 32% de la variance) avec un groupe de quatre stations côtières du sud. La meilleure corrélation est obtenue avec le groupe de stations côtières du nord (-0.64 expliquant 41% de la variance totale). Les trois coefficients de corrélation sont statistiquement significatifs et sont comparativement plus élevés que ceux obtenus avec la variation de pression d'un des deux centres d'action.

Les changements d'états d'El Moubarak s'accompagnent par des changements latitudinaux de la fréquence des dépressions sur l'Atlantique Nord (Rogers et van Loon 1979). Le secteur latitudinal du Maroc est le plus sensible à ces variations (Figure 2) et offre donc le meilleur cadre géographique pour étudier et élucider les mécanismes de cette variabilité.

La majorité des schémas de prévision climatique se base sur l'indice de l'OS (IOS). C'est le cas en Australie (Nicholls 1991), au Brésil (Hastenrath 1986) et aux USA (Nicholls 1991).



**a**



**b**

Figure 1. Les deux extrêmes d'El Moubarak établis sur la période 1899-1975. (a) Anomalie de pression de surface de la mer en janvier durant le Groenland inférieur. (b) Anomalie de pression de surface de la mer en janvier durant le Groenland supérieur. D'après van Loon et Rogers (1978).

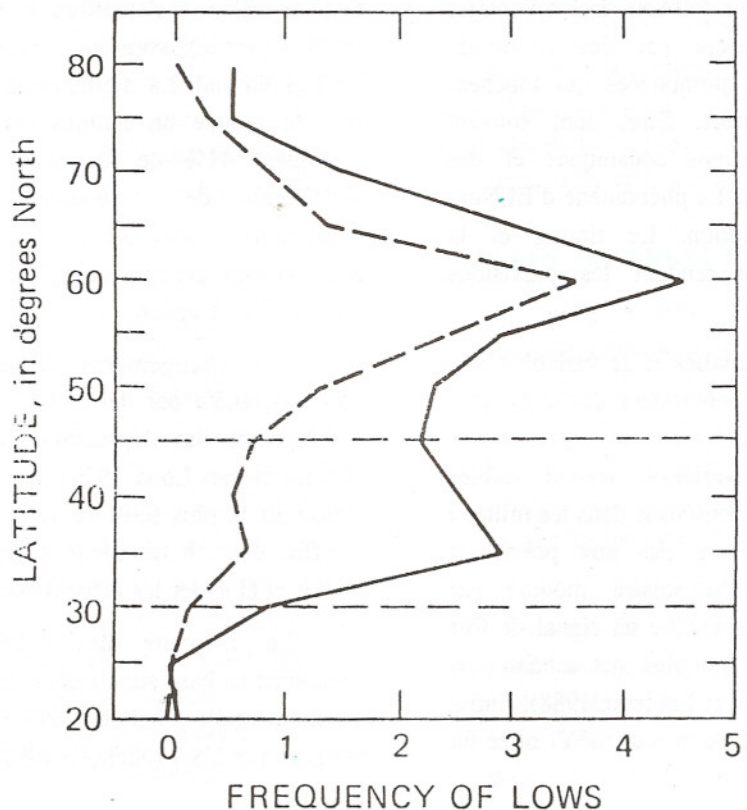


Figure 2. Différences du nombre de perturbations durant le Groenland supérieur (ligne continue) et le Groenland inférieur (ligne discontinue) dans l'Atlantique du Nord. D'après Rogers et van Loon (1979).

Il est à noter que les pressions atmosphériques peuvent être directement utilisées. Barston et Livezey (1989) font appel à la hauteur des champs de pression de 700 mb et l'épaisseur des champs 700-1000 mb dans la prévision des températures et précipitations aux USA.

#### *Température de surface de la mer*

Plusieurs auteurs s'accordent à souligner l'importance des anomalies de la température de la surface de la mer dans les processus de la variabilité climatique notamment des pluies en Australie, au Brésil et aux Etats Unis d'Amérique. Ces anomalies sont résumées, à l'aide de l'analyse en composante principale, dans quelques vecteurs propres qui permettent de localiser les plages significatives et de décrire les déviations.

Il s'avère aussi que les anomalies globales, par exemple inter-hémisphères, sont d'un grand intérêt, et ont été mises à contribution dans la prévision des pluies au Sahel (Owen et Ward 1989).

### Outils de prévision

#### *Régression linéaire*

En Australie, le Bureau de Météorologie produit des perspectives climatiques saisonnières basées sur des relations empiriques entre l'IOS et les précipitations pour certaines régions et pour des saisons avec des coefficients de corrélation supérieurs à 0.4. Par simple régression linéaire le Bureau détermine, à partir des valeurs observées de l'IOS, le décile des pluies pour la saison à venir.

#### *Discrimination linéaire*

L'Office Météorologique Britannique fait appel à la technique de discrimination linéaire pour calculer, à partir des vecteurs propres des champs de SST, les probabilités d'observation de cinq classes climatologiquement équiprobables de hauteur de pluies au Sahel.

#### *Méthode des analogues*

Aux USA, le centre d'analyse climatique se base entre autre sur un système multiple d'analogues/

anti-analogues dérivés des séries climatiques. Plusieurs analogues et anti-analogues sont identifiés et pondérés pour produire une prévision catégorique des pluies et températures (supérieure à la normale, normale, et inférieure à la normale)

#### *Modèles de la circulation générale de l'atmosphère*

Ces modèles ont été réservés à l'étude des changements climatiques dûs à l'augmentation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère et à la déforestation. Leurs résolutions spatiale et temporelle ne permettent pas leur utilisation dans les prévisions saisonnières. Avec l'arrivée des modèles couplés océan-atmosphère et l'intégration des modèles numériques à échelle régionale (meso-scale numerical models) peut ouvrir de nouvelles perspectives de prévision.

### Précision des prévisions

Pour apprécier la précision des prévisions aux USA Livezey (1990) a utilisé le taux suivant :

$$S = (C-E) / (T-E) \times 100$$

avec T le nombre total de prévisions examinées, E l'espérance de prévisions correctes, et C le nombre de prévisions correctes. S varie de -50 (aucune précision) à +100 (précision de 100%). Un schéma de prévision est d'autant plus performant quand la valeur de S est supérieure à zéro.

Les investigations de Livezey (1990) ont montré que les prévisions de températures et notamment les températures d'hiver, sont plus précises que celles des pluies. En plus de ces nuances attachées aux variables et aux saisons, les résultats exhibent des nuances régionales. Les meilleurs résultats sont obtenus à l'Est et au Sud-Ouest des USA (S=40 % dans certains états), alors que dans les régions sous le vent des Rocheuses, la précision est nulle.

La précision des autres schémas de prévision appliqués dans le monde n'a pas fait l'objet d'étude détaillée. Les auteurs rapportent des performances mitigées et variables d'une région à l'autre. En Australie, et d'après le Bureau de Météorologie, la précision est évaluée à 70% et est plus élevée ponctuellement. Dans l'ensemble, les résultats sont

satisfaisants mais tous les schémas de prévision ont connu aussi des échecs qui incitent la communauté scientifique à doubler d'effort en vue d'améliorer la fiabilité et l'utilité des prévisions. Notons à ce sujet que la présentation des prévisions sous forme de rapport probabiliste est préférable donnant en plus le degré de confiance de la prévision.

### Utilité des prévisions

Une bonne prévision jetterait la base d'une planification et d'une gestion rationnelle des ressources à l'échelle d'une exploitation, d'une région économique et d'un pays. Ainsi, l'utilité des prévisions dépend de plusieurs facteurs à savoir :

- la précision (skill) des schémas de prévision qui ne cesse de s'améliorer par l'intégration de nouvelles variables explicatives telles que le cycle solaire/oscillation quasibianuelle et SST globale, par le recours à des outils statistiques plus élaborés telles que les techniques non linéaires, et enfin par la généralisation des modèles numériques globaux et régionaux (ACGM et NMM).
- l'ensemble des options offertes aux utilisateurs qui dépendent du type d'activité (exploitation agricole ou industrielle, gestionnaire d'un barrage,...), des modes de gestion mis en place, et surtout du timing de la prévision qui doit être assez tôt pour permettre la-mise en place des options de parade et d'ajustement.
- le coût d'adopter une fausse prévision.
- les bénéfices tirés, par l'adoption d'une prévision correcte.

Au Sahel et aux USA l'adoption des prévisions climatiques dans la planification et la conduite des

campagnes agricoles engendrent des économies substantielles notamment dans l'emploi des engrais.

De toute évidence, la fiabilité est une condition nécessaire mais insuffisante pour rehausser l'utilité pratique des prévisions. Elle doit être accompagnée par une stratégie de vulgarisation, de diffusion, et de conduite des campagnes.

### CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Pour conclure cet article, un bref aperçu sur les changements climatiques est présenté. Les climats de la planète ont connu par le passé et sous l'impulsion de facteurs externes (facteurs orbitaux, activités solaire...) et internes (dynamique atmosphérique, cryosphère...) de grands changements étalés sur plusieurs centaines ou milliers d'années.

Les activités humaines des temps modernes s'accompagnent par des émissions qui augmentent dangereusement les concentrations de gaz à effet de serres dans l'atmosphère (CO<sub>2</sub>, méthane, chlorofluocarbones...) et qui devraient se traduire par un réchauffement globale de la planète.

A l'aide des modèles de la circulation générale de l'atmosphère, la communauté scientifique projette les changements climatiques qui risquent de se produire. Ainsi on prévoit une augmentation de la température d'environ 0.3°C par décennie durant le siècle prochain. A l'échelle du globe, les climats régionaux connaîtront un changement notable de leur tendance moyenne. Les niveaux de la mer augmenteraient de plusieurs cm suite à la dislocation et fonte des glaciers.

Les recherches s'activent dans le domaine et s'attachent à mieux élucider les processus climatiques, à mieux les observer, et à mieux les appréhender à l'aide de modèles plus élaborés.

## BIBLIOGRAPHIE

- Barnston, A.G. and R.E. Livezey, 1989 : An operational multifield analog/anti-analog prediction system for the United States seasonal temperatures. Part II: spring, summer, fall and intermediate 3-month period experiments. *Journal of Climate* 2, 513-541.
- Bureau of Meteorology, 1991. Seasonal climate outlook. September to November 1991. Nationale Climate Center, N° . 28, 18p.
- Hastenrath, S., 1987. On the prediction of India monsoon rainfall anomalies. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 26, 847-857.
- Hastenrath, S., & L. Heller, 1977. Dynamics of climatic hazards in northeast Brazil. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 103, 77-92.
- Kalma J.D., T.J. Lyons, M. Nunez, and A.J. Pitman, 1991 : Advances in Understanding Meso-scale Climatic Variability.  
In : R.C. Muchow and J.A. Bellamy (eds), *Climatic Risk in Crop Production: Models and Management for the Semiarid Tropics and Subtropics*. CAB International, Wallingford, pp. 445-466.
- Lamb, P.J., & R.A. Pepler, 1991. West Africa. In *Teleconnections linking worldwide climate anomalies*. Glantz, M., R.W. Katz and N. Nicholls (Eds.), Cambridge University Press, 121-189.
- Livezey, R.E. 1990 : Variability of skill of long-range forecasts and implications for their use and value. *Bulletin of the American Meteorological Society* 71, 300-309.
- Makrogiannis, T.J., 1984. Local zonal index and circulation change in the European area, 1873-1972. *Archives for Meteorology Geophysics. and Bioclimatology, Ser. B*, 34, 3948.
- Meehl, G.A. & H. van Loon, 1979. The seasaw in winter temperatures between Greenland and northern Europe. Part III : teleconnections with lower latitudes. *Monthly Weather Review*, 107, 1095-1106.
- Nicholls, N., 1981. Air-sea interaction and the possibility of long-range weather prediction in the Indonesian Archipelago.  
*Monthly Weather Review*, 109, 2435-2443.
- Nicholls, N., 1991 : Advances in long-term weather forecasting. In : R.C. Muchow and J.A. Bellamy (eds), *Climatic Risk in Crop Production : Models and Management for the Semiarid Tropics and Subtropics*. CAB International, Wallingford, pp. 427-444.
- Owen, J.A. and M.N. Ward, 1989 : Forecasting Sahel rainfall. *Weather* 44, 57-64.
- Rogers, J.C., 1984. The association between the North Atlantic Oscillation and the Southern Oscillation in the Northern Hemisphere. *Monthly Weather Review*, 112, 1999-2015.
- Rogers, J.C., 1985. Atmospheric circulation changes associated with the warming over the North Atlantic in the 1920s. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 24, 1303-1310.
- Rogers, J.C., & H. van Loon, 1979. The seasaw in winter temperatures between Greenland and Northern Europe. Part II : Some oceanic and atmospheric effects in middle and high latitudes. *Monthly Weather Review*, 107, 509-519.
- Sahsamanoglou, H.S., 1990. A contribution to the study of action centers in the North Atlantic. *International Journal of Climatology*, 10, 247-261.
- van Loon, H & J.C. Rogers, 1978. The seasaw in winter temperatures between Greenland and northern Europe. Part I : General description. *Monthly Weather Review*, 106, 296-310.
- van Loon, H. and K. Labitzke, 1988 : Association between the 11-year cycle, the QBO, and the atmosphere. Part II : surface and 700 mb in the Northern Hemisphere in winter. *Journal of climate* 1, 905-920.
- Wu, M.-C., & S. Hastenrath, 1986. On the interannual variability of the Indian monsoon and the Southern Oscillation. *Archiv fur Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie*, B36, 239-261.

# UTILISATION DE L'INFORMATION METEOROLOGIQUE ET CLIMATIQUE DANS LA PREVISION DES MALADIES DES PLANTES

Brahim Ezzahiri\*

## INTRODUCTION

Les maladies des plantes cultivées peuvent occasionner des pertes considérables lorsque les conditions climatiques sont favorables à leur développement. Puisque le développement des épidémies des maladies des plantes dépend des conditions météorologiques favorables, il est raisonnable d'examiner les conditions associées à l'expansion rapide d'une maladie et aux variations de la sévérité d'attaque d'une année à l'autre.

L'identification et la quantification des facteurs météorologiques qui favorisent ou défavorisent le développement des agents pathogènes est nécessaire à la compréhension de l'épidémiologie des maladies des plantes et au développement des modèles prévisionnels. Ceci est d'autant plus justifié pour les grandes cultures dont la rationalisation de l'utilisation des facteurs de production est devenue une nécessité.

L'application des connaissances acquises sur la relation entre les conditions météorologiques et le développement des maladies vise la réduction des risques de pertes importantes de cultures, le raisonnement de l'utilisation des fongicides, et la surveillance des maladies des plantes.

Dans ce qui suit, nous évaluerons les relations entre les facteurs météorologiques et le développement des maladies foliaires des plantes. Nous examinerons aussi les applications pratiques de ces relations.

## IMPORTANCE DES FACTEURS METEOROLOGIQUES POUR LE DEVELOPPEMENT DES MALADIES FOLIAIRES DES PLANTES

Le développement d'une maladie foliaire résulte de l'interaction dynamique entre la plante-hôte, l'agent pathogène et l'environnement. Ce dernier correspond au microclimat atmosphérique pour les agents pathogènes des parties aériennes des plantes.

Pour qu'une maladie atteigne des proportions épidémiques, l'environnement doit être favorable pour une longue période de temps ou que la fréquence des périodes favorables est élevée. La maladie ralentit son développement une fois un facteur de l'environnement devient limitatif à l'activité de l'agent pathogène.

L'importance des conditions ambiantes au développement des maladies des plantes est bien établie. Les travaux ont été surtout orientés vers la détermination des conditions optimales du développement des différents stades des agents pathogènes. Ainsi, les effets spécifiques des facteurs météorologiques sur l'infection, l'incubation, la sporulation et la dissémination sont bien établis pour la plupart des agents pathogènes.

Les principaux facteurs météorologiques qui affectent les différentes phases du cycle de développement des maladies cryptogamiques foliaires sont présentés au Tableau 1. Parmi ces facteurs la durée de l'humectation du feuillage et la température durant cette période demeurent les deux facteurs les

plus déterminants dans le développement des maladies des plantes. A noter aussi que les agents pathogènes diffèrent énormément dans leurs exigences vis-à-vis des facteurs météorologiques. Ceci est dû aux caractéristiques biologiques spécifiques à chacun de ces agents pathogènes. Citons comme exemples deux maladies foliaires du blé, la septoriose et la rouille brune: Le développement de la première est tributaire surtout de la fréquence des pluies alors que la deuxième peut se propager rapidement en présence d'humidité relative élevée de courtes durées mais fréquentes.

**Tableau 1 : Facteurs météorologiques affectant les différentes phases du cycle de développement des maladies cryptogamiques foliaires**

Phase	Facteur météorologique
Germination des spores	Pluie-Rosée-Brouillard (humectation du feuillage) Température durant l'humectation
Incubation Sporulation	Température Humidité relative élevée Température Lumière
Dissémination des spores	Vitesse du vent Température Pluie, Humidité relative
Survie en l'absence de l'hôte	Température Humidité relative Ensoleillement

## UTILISATION DE L'INFORMATION AGRO-METEOROLOGIQUE EN PHYTOPATHOLOGIE

L'information météorologique est utilisée dans la prévision des maladies. Celles-ci diffèrent dans leurs exigences environnementales. Chez certaines maladies, comme le mildiou de la pomme de terre, des conditions météorologiques spécifiques sont à elles seules déterminantes dans l'explosion de la maladie. Alors que pour la plupart des maladies, les observations biologiques sont nécessaires et complémentaires à l'information météorologique pour permettre des prévisions raisonnables. C'est pourquoi la collaboration entre les agrométéorologistes et les phytopathologistes s'impose pour la réussite de tout programme d'étude et de prévision des maladies des plantes.

La plupart des études sur le rôle des facteurs météorologiques indiquent que le développement des maladies est plutôt affecté par l'état microclimatique du couvert végétal que par les conditions macroclimatiques déterminées au niveau des stations météorologiques. Cependant, les conditions macroclimatiques déterminent le microclimat et il semble improbable que le microclimat peut faciliter le développement d'une maladie lorsque les conditions macroclimatiques sont défavorables. En effet, les conditions au sein du couvert végétal concordent avec celles de l'extérieur dans un temps humide et nuageux. Il s'agit là de conditions idéales pour le développement de la plupart des agents pathogènes. L'humidité relative, importante pour le processus d'infection des plantes par les agents pathogènes, est certes le facteur qui varie le plus entre le couvert végétal et la station météorologique.

La discordance qui existe entre les données microclimatiques et macroclimatiques a donné lieu à deux approches à l'utilisation des données climatiques:

1. Les données microclimatiques sont collectées au sein du couvert végétal pour établir des prévisions à court terme et dans le but de programmer l'intervention fongicide. L'échelle spatiale est le champ d'agriculteur et l'équipement utilisé est coûteux.

2. Utilisation des données macroclimatiques à des fins prévisionnelles au niveau régional. La relation entre les facteurs climatiques et la maladie est établie sur la base de données collectées sur plusieurs années dans la même localité.

## DEVELOPPEMENT ET APPLICATIONS DES MODELES PREVISIONNELS

Le développement épidémique d'une maladie est le résultat d'interactions complexes de plusieurs facteurs. Dans le but de dégager une relation simple entre le développement d'une maladie et les facteurs météorologiques, nous avons besoin d'identifier les facteurs opérationnels, d'évaluer leur importance relative et d'en choisir ceux qui sont déterminants de l'expansion de la maladie en question. Le but ultime est d'en déduire un système prévisionnel simple, facilement et uniformément applicable en pratique.

La plupart des schémas de prévisions disponibles se basent sur des données microclimatiques spécifiques collectées quotidiennement. Le plus souvent, ces données sont collectées et analysées in situ dans le but d'émettre des messages relatifs aux traitements fongicides. Il s'agit de prévisions à court terme et établies à des intervalles réguliers. L'exemple type est le mildiou de la pomme de terre pour lequel plusieurs versions de modèles prévisionnels ont été développées. Il s'agit de modèles qui prévoient l'infection sur la base d'accumulation d'un certain nombre de critères relatifs à la température et la durée de l'humidité relative de saturation et la pluviométrie. L'enregistrement des conditions micrométéorologiques est effectué par des instruments électroniques. Le délai entre l'enregistrement des résultats et leur analyse est réduit grâce à l'incorporation dans la même unité des instruments d'acquisition et d'analyse des données. Il s'agit d'une technologie coûteuse, qui n'est justifiée que pour les cultures très rentables.

Une autre approche à la prévision et au zonage géographique des maladies consiste dans l'utilisation des données climatiques collectées sur plusieurs années. C'est le schéma que nous avons adopté pour étudier les maladies foliaires du blé et de la betterave, à savoir la septoriose, la rouille brune et la cercosporiose. La technique consiste à l'identification d'abord des principaux facteurs climatiques susceptibles d'affecter le développement de ces maladies. La sélection des variables nécessite une connaissance approfondie des interactions spécifiques de l'agent pathogène avec la plante-hôte et l'environnement. Les analyses de corrélations et de régression sont utilisées pour identifier les facteurs climatiques qui sont les plus fréquemment associés avec la sévérité d'une maladie. Il est essentiel que les données météorologiques journalières soient examinées d'une manière détaillée. Les variables qui peuvent être examinées sont les températures minimales, maximales, moyennes, les degré-jours, la fréquence des pluies, le nombre de jours pluvieux consécutifs...

Dans notre programme de recherche sur l'épidémiologie des maladies foliaires du blé et de la betterave, nous avons fixé deux objectifs principaux:

1. La détermination des facteurs climatiques expliquant la variabilité annuel du développement de ces maladies.

2. Le développement d'une méthodologie de quantification de la relation entre les facteurs météorologiques et la sévérité de ces maladies.

Le but ultime est d'établir des modèles prévisionnels qui peuvent être utilisés pour le raisonnement de la lutte contre les maladies des plantes et pour le zonage fréquentiel de ces maladies au niveau des différentes régions du Maroc.

Concernant la cartographie de la distribution des maladies foliaires du blé au Maroc, nous avons installé des essais de 1984 à 1987 dans douze localités réparties sur les différentes zones céréalières. Une masse appréciable de données relatives à la sévérité des maladies foliaires au niveau de plusieurs variétés de blé a été collectée. Malgré que la répartition géographique des principales maladies du blé est relativement bien établie, il reste à déterminer la relation qui existe entre les facteurs climatiques et la distribution des maladies. En essayant d'analyser la variabilité des distributions spatiale et temporelle des maladies, nous avons constaté l'insuffisance des données climatiques représentatives.

Dans le cas de la cercosporiose de la betterave, une première étude en 1988 a montré que dans les Doukkala que l'expansion de cette maladie est liée aux précipitations et à la température. La maladie progresse rapidement après une période pluvieuse suivie d'une augmentation de la température journalière moyenne (>20 C). Les résultats obtenus en 1989, 90, et 91 nous ont permis de constater que :

- La quantité et la fréquence de la pluviométrie sont déterminantes dans l'apparition et la dissémination de la cercosporiose. La maladie progresse rapidement après une période pluvieuse.
- Les augmentations des températures minimales durant les périodes d'humidité relative élevée sont favorables au développement de la maladie.

Durant les campagnes 92 et 93, et à défaut de ces conditions, le développement de la cercosporiose a été négligeable au niveau de nos essais.

L'accumulation des données quantitatives des maladies et des facteurs climatologiques sur plusieurs années va nous permettre de quantifier le type de relation qui existe entre la cercosporiose et les facteurs météorologiques sous forme de modèles prévisionnels.

## CONCLUSION

L'environnement affecte le développement des maladies des plantes par ses effets sur les différentes

phases du cycle de développement des agents pathogènes.

La mise en place de systèmes prévisionnels des risques phytosanitaires est justifiée pour des besoins à court et à long termes. Il y a lieu de rationaliser et de planifier en fonction des risques encourus.

La mise au point des modèles prévisionnels des maladies demande du temps et la collaboration multidisciplinaire. Elle nécessite des connaissances biologiques approfondies et la disponibilité des données agrométéorologiques. Celles-ci doivent être représentatives, fiables et de bonne qualité.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bourke, P. M. A. 1970. Use of weather information in the prediction of plant disease epiphytotic. *Annu. Rev. Phytopath.* 8: 345-370
- Burleigh, J. R., et Ezzahiri, B. 1988. A cereal disease surveillance program for Morocco. *Phytopathology* 78: 1545
- Coakley, S. M. 1988. Variation in climate and prediction of disease in plants. *Annu. Rev. Phytopath.* 26: 163-181
- Coakley, S. M., Line, R. F., et Mc Daniel, L. R. 1988. Predicting stripe rust severity on winter wheat using improved method for analysing meteorological and rust data. *Phytopathology* 78: 543-550
- Diouri, M. 1988. Contribution à l'étude de la rouille brune du blé dans le Souss-Massa. Mémoire de 3ème cycle. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II
- Ezzahiri B., et Burleigh, J. R. 1986. A national surveillance program to monitor cereal diseases and evaluate their impact on yield. International Wheat Conference, May 2-5, Rabat, Morocco
- Khair Allah, M. 1989. Contribution à l'étude de l'épidémiologie de la cercosporiose de la betterave dans les Doukkala. Mémoire de 3ème cycle. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II
- Sifiani M. 1992. Etude de quelques aspects épidémiologiques de la cercosporiose de la betterave sucrière dans les Doukkala. Mémoire de 3ème cycle. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II

# UTILISATION DE L'AGROMETEOROLOGIE EN PROTECTION DES VEGETAUX

M. CHOUIBANI\*

Au cours de ces dernières années, les études sur l'incidence du climat tant sur le parasite que sur la plante hôte ont contribué largement dans l'amélioration de la protection des cultures.

Parmi ces conditions climatiques, la température d'importance prépondérante, agit sur le taux de développement des parasites, l'humidité relative sur la production de ces derniers, tandis que la pluie contribue à leur dissémination et l'humectation de la végétation conditionne l'infection par le pathogène, alors que le vent affecte la propagation des ravageurs.

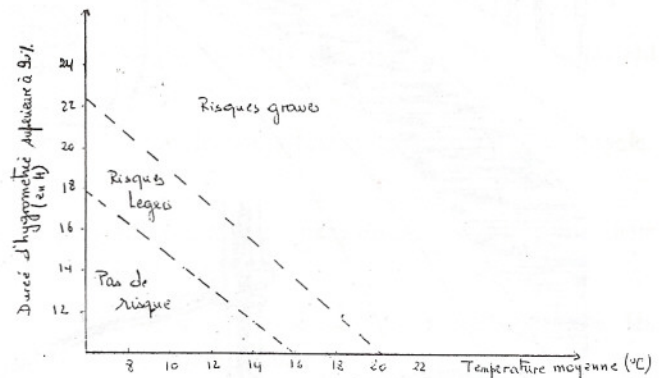
La prise en considération des interactions plante-climat-parasite a eu pour conséquence pratique les avertissements agricoles qui ont pour principal objectif d'aider l'agriculteur à prendre une décision d'intervention chimique, au moment opportun avec le produit adéquat tout en préservant l'environnement.

L'objet de cette communication est d'illustrer par deux exemples d'utilisation des données climatiques dans les prévisions phytosanitaires.

## 1- Mildiou de la pomme de terre

Cette maladie, due à *Phytophthora infestans*, de caractère explosif accentué par une irrigation par aspersion, est une maladie très grave qui affecte considérablement la production de la pomme de terre dans les régions humides du territoire (littoral Atlantique. intérieur du pays)..

La DPVCTRF, en collaboration avec l'Office du Loukkos, a adapté depuis 1986 le modèle de prévision de Guntz Divoux. Ce modèle permettant de prévoir l'évolution du mildiou est basé sur l'estimation des risques de contamination en fonction de la durée des périodes d'humidité relative supérieure à 90%. La gravité de ces risques dépendra de la température moyenne pendant la période critique (figure ci-dessous).



Après la contamination, le champignon entre dans la phase d'incubations dont la durée est calculée en fonction de la température moyenne quotidienne (tableau ci-dessous).

Températures moyennes quotidiennes	Nombre d'unités par jour
8°C - 12°C	0,75
12,1°C - 16°C	1
16,1°C - 20°C	1,5
20,1°C - 26°C	1
> 26°C	0

\* DPVCTRF (Service de la Protection des Végétaux) - Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agricole.

Cette phase nécessite un total de 7 unités qui est calculé en additionnant jour après jour à partir d'une contamination les unités correspondant à la température moyenne quotidienne.

Du fait que les conditions climatiques sont favorables dans la région, la première intervention est généralement conseillée à la fin de la première génération.

Ce système a permis de réduire remarquablement le nombre de traitements phytosanitaires qui était en moyenne de 8 à 12, à 3 ou 4 interventions durant tout le cycle de la culture.

## 2- Carpopapse des pommes et des poires

Le carpopapse, *Cydia pomonella*, est l'un des plus importants insectes ravageurs des pommes et poires. Il diminue la valeur quantitative et qualitative de la récolte, poussant les arboriculteurs à intervenir massivement (7 à 9 traitements) et d'une manière préventive, de la nouaison à la récolte.

Afin de mieux raisonner la lutte pratiquée en réduisant l'usage des pesticides tout en garantissant des fruits sains à la récolte, un système d'avertissements a été mis en place. Ce système est basé sur la surveillance de l'évolution de la dynamique des populations de ce ravageur.

L'utilisation du piégeage sexuel permet de déterminer les dates de vols alors que celle de la température permet de déterminer la période de ponte

(température crépusculaire) et la durée d'incubation des oeufs (sommation des températures) de cet insecte. Le programme de cette campagne 1993-94 vise à utiliser la sommation thermique pour chaque stade de l'insecte en vue d'affiner les prévisions.

Par ailleurs, durant la campagne 92-93, un inventaire de la faune auxiliaire a été entrepris pour prendre en compte leur présence dans la stratégie de lutte à adopter contre le carpopapse.

## Conclusion

Nul besoin de rappeler que les avertissements agricoles restent de surcroît l'un des moyens privilégiés pour conduire graduellement les agriculteurs à une lutte raisonnée.

Il existe actuellement plusieurs modèles de simulation de maladies ou ravageurs (Milsol pour le mildiou de la pomme de terre, logiciel tordeuse qui concerne également le carpopapse) utilisés en France dans le domaine des avertissements agricoles. Du fait de la différence des conditions biotiques et abiotiques, ces modèles ne peuvent être appliqués tels quels au Maroc. D'où la nécessité de rassembler les données biologiques existantes qui sont malheureusement éparses (observations du terrain au niveau du SPV, mémoires de Fin d'étude, thèmes de recherche de l'INRA et des Universités). L'analyse de ces données permettra de dégager les paramètres utiles pour adapter ces modèles voire les mettre au point.

# LES DONNEES CLIMATIQUES EN TANT QUE MOYEN DE PREVISION ET D'AVERTISSEMENT EN PHYTOPROTECTION : CAS DES RAVAGEURS

HMIMINA M'hamed\*

Du chercheur au vulgarisateur, tous les agents impliqués dans la protection des cultures, cherchent à s'aider des données climatiques pour comprendre et expliquer les phénomènes étudiés. Dans la pratique on entend souvent parler d'année à acariens, à carpocapse, à moustiques, à puceron... Pour fixer les idées, il est nécessaire de rappeler certaines notions d'écologie appliquée aux ravageurs animaux des cultures.

La figure 1 représente schématiquement les relations qui existent entre les différents facteurs du milieu et le phytophage. La présence et l'abondance relative de ce dernier dépendent:

- des caractéristiques qui lui sont propres (potentiel biotique, comportement...);
- des caractéristiques du milieu vivant (plantes hôtes, ennemis...);
- des composantes physiques du milieu (climat, sol).

Parmi les facteurs du milieu, c'est toujours le plus déficient qui a le plus d'importance: c'est la règle dite "du tonneau", par allégorie au fait que le niveau de l'eau dans un baquet est déterminé par la douve la plus courte.

Il faut souligner que les variations des facteurs du milieu importent plus que leur niveau et que les facteurs variables ont une action plus marquée que ceux qui restent stables.

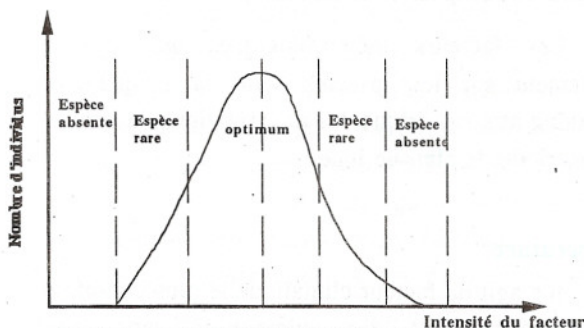


Figure 1. Influence de l'intensité d'un facteur physique sur l'importance des populations d'un animal

## I. Action du milieu physique sur les insectes (facteurs abiotiques)

C'est le climat qui détermine pour une grande part la répartition, le développement, l'activité et les pullulations des insectes. Nous distinguons:

- le macroclimat, il concerne des grandes régions et est caractérisé par des mesures faites en condition standardisées (abris et stations météorologiques...) à partir desquelles on peut établir des écoclimatogrammes utiles aux géographes, aux agronomes... Sur le plan phytosanitaire, l'étude de ces écoclimatogrammes permet d'établir une prévision des risques présentés par le transport éventuel de ravageurs d'une région contaminée vers une zone indemne. En cas de climats voisins les risques sont grands (notion de quarantaine).
- le mésoclimat, d'un site homogène,
- le microclimat de l'espace très limité, de la niche écologique où vit l'insecte.

\* Département de Zoologie, IAV Hassan II

En fait, il est très difficile de mesurer les facteurs de ce microclimat: les insectes qui vivent à la face inférieure d'une feuille sont soumis à un microclimat différent de ceux qui colonisent la face supérieure: le microclimat d'une pomme, d'une tige, d'une fente de l'écorce n'est pas le même que celui d'un rameau lisse. Le climat dans un verger diffère de celui d'une culture herbacée. Si le macroclimat détermine la répartition générale des espèces (subdivision de la faune en grands ensembles: faune paléarctique, faune éthiopienne, faune holarctique, faune néotropicale, faune indo-australienne), le mésoclimat et le microclimat déterminent la présence effective du ravageur dans un biotope donné.

Les facteurs météorologiques qui agissent directement sur les insectes sont: la température, l'humidité atmosphérique, les précipitations, le vent, la photopériode, le clair de lune...

### Température

Il s'agit du facteur climatique le plus important. Les insectes étant des animaux à sang froid (poecilothermes), la température de leur corps égale approximativement celle du milieu ambiant et varie dans le même sens. Or la température règle les vitesses de toutes les réactions chimiques (règle de Van't Hoff): l'intensité de tous les phénomènes biologiques et du métabolisme de l'insecte dépend étroitement de ce facteur. La température agit sur le comportement et peut intervenir comme facteur de mortalité.

### Durée et vitesse de développement

Les insectes ne se développent qu'entre certaines limites thermiques, appelées températures effectives de développement. Celles-ci varient suivant les espèces et, pour une même espèce, selon le stade de développement. La prise en compte de cet élément a conduit à la règle de la constante thermique, notion à l'origine de nombreux modèles prévisionnels en protection des cultures.

La règle de la constante thermique s'applique à l'insecte soumis aux températures variables sous la réserve expresse qu'elles varient à l'intérieur d'un intervalle pour lequel la durée du développement est

une hyperbole équilatère. Connaissant donc la quantité de degrés-jours et la constante caractéristique (K) de l'insecte, on peut prévoir la date probable de fin d'éclosion ou de développement par de simples relevés thermiques. Les services de la protection des végétaux utilisent souvent de telles données dans leurs avertissements.

L'augmentation de la température agit sur l'intensité des phénomènes métaboliques augmentant ainsi les besoins alimentaires. La consommation croît et par contre coup les dommages. Une augmentation thermique peut se traduire par une brusque aggravation des dégâts qui passaient inaperçus par temps froid limitant la consommation des ravageurs (cas de l'acarien jaune *T. urticae*).

### Activité et comportement

L'activité générale de l'insecte croît avec la température: importance des déplacements, vitesse, ponte.... Il existe des températures seuils au dessus desquelles certaines activités se déclenchent de façon spectaculaire: les larves du criquet migrateur circulent à partir du moment où la température du sol atteint 31,5°C; les ailés du puceron noir de la fève (*Aphis fabae*) prennent leur vol au dessus de 17°C; les papillons du carpocapse, crépusculaires, ne volent qu'au dessus de 15°C. Dans le cas des parasites des vertébrés à sang chaud (moustiques, punaises, poux...) la découverte de l'hôte est assurée par la source de chaleur. Les moustiques perçoivent des différences de températures < au 1/10 de degré; le réflexe de piqûre est provoqué au contact de la peau de l'hôte par le stimulus thermique.

L'utilisation des températures comme moyen de prévision et d'avertissement a fait ses preuves en phytoprotection. Elle permet aussi d'une manière plus générale d'apprécier l'évolution climatologique d'une saison culturale par rapport à d'autres et d'en déterminer globalement la tendance. Il convient toutefois de se souvenir que les températures utiles aux insectes dépendent des facteurs très complexes dans lesquels entrent la notion de microclimat de parcelles et de cultures. Ce qui rend l'appréciation de ce paramètre parfois difficile.

## Humidité et précipitations

L'humidité relative intervient beaucoup plus en créant un milieu favorable ou non à l'insecte qu'en modifiant l'intensité de ses phénomènes vitaux. Chaque espèce a des exigences particulières à l'égard de ce facteur. Ainsi le taux de survie du ver de la farine n'est élevé qu'en conditions de sécheresse assez strictes. En revanche, les insectes phytophages exigent une humidité relative assez élevée.

La reprise d'activité de certains insectes est conditionnée par les précipitations (vers blancs, taupins, cléone de la betterave...). En ameublissant le sol, elles facilitent la sortie des imagos qui y sont nymphosés ou la remontée des larves vers la rizosphère. Inversement, la sécheresse assure indirectement une destruction importante d'insectes tels que les Géotrogues, les Diptères... Elle arrête le développement des limaces et des escargots; les précipitations automnales entraînent l'envahissement des cultures par ces organismes.

Les pluies orageuses détruisent une grande quantité de pucerons ailés et conditionnent de ce fait la dissémination des maladies à virus.

## Photopériode et lumière

La lumière agit par son intensité et par sa durée (photophase / scotophase) sur l'activité, le comportement et la régulation des cycles saisonniers. Certains insectes sont diurnes (mouches, taons, Piérides...), d'autres sont nocturnes (noctuelles, moustiques...), ou crépusculaires (carpocapse, scarabéides...). Il y a des insectes dits de jour court d'autres de jour long et tous les intermédiaires possibles.

La direction des rayons lumineux est utilisée par les insectes dans l'orientation de leur vol (abeille, scarabéides). La durée journalière d'éclairement est l'un des facteurs le plus déterminant dans l'entrée en diapause des insectes et acariens.

## V e n t

Le vent est à la fois un agent favorable et défavorable à la dispersion des ravageurs. Les vents

faibles, les courants ascendants assurent la dissémination, parfois à des distances considérables des petits insectes ailés: pucerons, hyménoptères parasites. Mais beaucoup d'insectes sont capables de remonter les courants d'air faible ce qui leur permet d'ailleurs de découvrir leur plante hôte ou leur partenaire sexuel grâce aux odeurs émises. Enfin le vent agit indirectement en modifiant d'autres facteurs (H.R., T).

## II. Utilisation des données climatiques

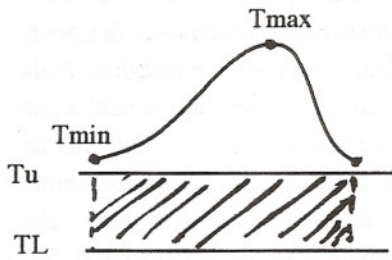
En protection des cultures nous prenons constamment des mesures: échantillonnage, mesure des paramètres climatiques, expérimentations au champ et au laboratoire. Nous cherchons à représenter ces données et les relations entre elles par divers moyens. Nous avons recours à des systèmes de gestion de base de données pour structurer nos données en modèles. Ceux-ci sont classés en 2 grandes catégories: déterministes et stochastiques. Les premiers représentent les phénomènes biologiques comme parfaitement déterminés. A ce propos, on peut se permettre la réflexion suivante: peut-on mettre la nature en cage? Les seconds ne reposent pas sur des lois certaines mais sur des processus aléatoires.

En protection de cultures, on ne conseille d'intervenir que lorsque le seuil de nuisibilité est atteint. Il ne faut pas attendre passivement l'arrivée de ce seuil sinon les pertes économiques ont déjà eu lieu. Les modèles prévisionnels, intégrés maintenant dans la pratique, sont à la base des avertissements agricoles. Ces modèles sont soit explicatifs et incorporent tout le savoir écologique sur un ravageur, soit une simple analyse des données du terrain et essai de description du comportement d'un système afin de découvrir les traits saillants. On dégagera alors des relations entre les ravageurs, leurs antagonistes et le climat. Six relations, entièrement basées sur la température, sont possibles entre le cycle journalier de la température et les seuils inférieur et supérieur du développement de l'insecte.

Le cycle journalier est :

- au dessus des 2 seuils de l'insecte;
- au dessous des 2 seuils de son développement;

**Fig 2 : Formules de calcul des quantités de degrés-jour**

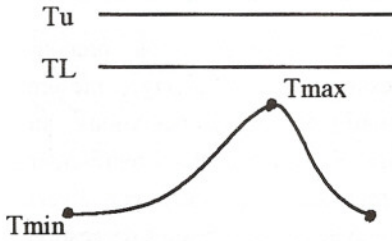


$$\varnothing J = Tu - TL$$

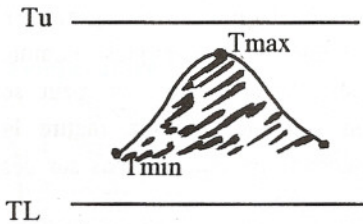
Tu = seuil supérieur  
 TL = seuil inférieur  
 Tmax = température maximum  
 Tmin = température minimum

$\varnothing j$  = degré jour

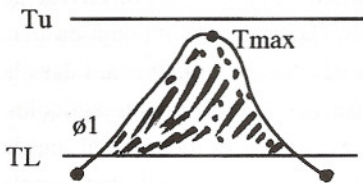
$$\alpha = \frac{T_{max} - T_{min}}{2}$$



$$\varnothing J = 0$$

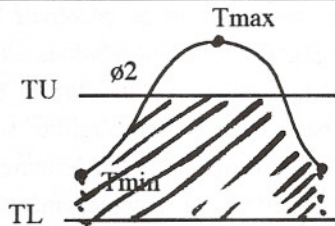


$$\varnothing J = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} - TL$$



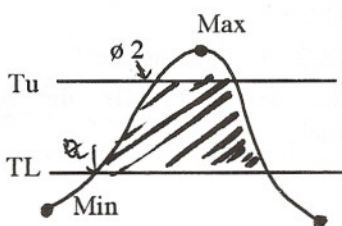
$$\varnothing J = 1/\pi \left[ \left( \frac{T_{max} + T_{min}}{2} - TL \right) (\pi/2 - \theta_1) + \alpha \cos \theta_1 \right]$$

$$\theta_1 = 1/\sin \left( TL - \frac{T_{max} - T_{min}}{2} : \alpha \right)$$



$$\varnothing J = 1/\pi \left[ \left( \frac{T_{max} + T_{min}}{2} - TL \right) (\theta_2 + \pi/2) + (Tu - TL)(\pi/2 - \theta_2) - (\alpha \cos \theta_2) \right]$$

$$\theta_2 = 1/\sin \left( Tu - \frac{T_{max} - T_{min}}{2} : \alpha \right)$$



$$\varnothing J = 1/\pi \left[ \left( \frac{T_{max} + T_{min}}{2} - TL \right) (\theta_2 - \theta_1) + \alpha [\cos \theta_1 - \cos \theta_2] + (Tu - TL) (\pi/2 - \theta_2) \right]$$

$$\theta_1 = 1/\sin \left( TL - \frac{T_{max} - T_{min}}{2} : \alpha \right)$$

$$\theta_2 = 1/\sin \left( Tu - \frac{T_{max} - T_{min}}{2} : \alpha \right)$$

- entre les 2 seuils;
- compris au dessous du seuil inférieur;
- compris au dessus du seuil supérieur;
- compris entre les 2 seuils.

Les formules de calcul des quantités de degrés - jours sont basés sur la méthode de simple triangulation, de double triangulation, de simple ou double méthode sinusoïdale (Fig. 2).

L'application de ces méthodes nécessite des relevés thermiques précis sur le terrain et la date à partir de laquelle nous commençons les calculs. Cette

date appelée point biologique fixe, dépendant des espèces, peut être déterminé par les dates de semis, les premiers individus capturés dans un piège ou tout simplement la première apparition du ravageur sur la culture.

Ces modèles de développement des populations, fiables parce qu'ils mesurent le temps physiologique et non le temps sur un calendrier, aident les praticiens dans la prise de décision. Il en résulte une meilleure utilisation des pesticides et une meilleure protection des cultures.



**PREMIÈRE SOCIÉTÉ D'ENTREPRISES  
ÉLECTRIQUES AU MAROC**

- EQUIPEMENTS INDUSTRIELS HT ET BT
- POSTES DE TRANSFORMATION
- STATIONS DE POMPAGE CLES EN MAIN
- FABRICATION DE POTEAUX BETON ET PYLONES METALLIQUES
- CONTROLE COMMANDE ET REGULATION
- LIGNES DE TRANSPORT ET RESEAUX DE DISTRIBUTION
- IMPORT ET DISTRIBUTION DE MATERIEL ELECTRIQUE
- FABRICATION DE POMPES

129, Bd. du Fouarat CASABLANCA - Tél 24.14.13 Télex 25771

# A PROPOS DE L'UTILISATION DES DONNEES CLIMATIQUES EN MATIERE DE GESTION ET DE CONSERVATION DE LA FORET

Par : Omar M'HIRIT\* et Mohamed YASSIN\*

## INTRODUCTION

Les végétaux sont ceux des êtres vivants qui ne peuvent se soustraire à l'action directe du climat. La climatologie forestière est l'application des principes de la science du climat en foresterie elle étudie les influences des conditions météorologiques et du climat sur la forêt. Chaque espèce végétale doit vivre entre les limites extrêmes des valeurs des différents facteurs climatiques, hors desquels son existence et son développement n'est pas possible. A son tour la végétation est susceptible de modifier le climat dans la couche restreinte d'air voisine du sol ou micro-climat (19)\*\*.

Le climat intervient dans la formation de la forêt, sa répartition, sa structure et son fonctionnement. La quantité et la composition de la lumière reçue par les végétaux règlent l'activité de la fonction chlorophyllienne; la température, l'humidité, les précipitations jouent un rôle essentiel sur leur croissance et sur le développement des maladies cryptogamiques. Le vent intervient dans la dissémination du pollen et des graines. A des conditions qui s'écartent des conditions optimales, les végétaux s'adaptent dans une certaine mesure : adaptation aux vents violents (formes ramassées), à la sécheresse (structure xérophile), à l'humidité (structure hydrophile), et. Parmi les différents facteurs climatiques qui jouent un rôle en matière d'écologie végétale, la température et les précipitations ont été reconnus comme les plus actifs. La croissance des arbres, par exemple, est en rapport étroit avec la quantité de précipitations.

La connaissance des conditions climatiques dans la gestion du patrimoine forestier en particulier et conservation des ressources naturelles en général est fondamentale. Le présent rapport présente un bref aperçu sur les particularités du climat marocain et les écosystèmes forestiers marocains et présente une esquisse de l'utilisation des données climatiques dans la répartition des espèces forestières. Il relate par ailleurs, la régénération forestière de la forêt, la conduite des peuplements et leur sylviculture, les reboisements et la conservation des sols contre l'érosion hydrique et éolienne.

## I. CARACTERISTIQUES DU CLIMAT MAROCAIN

De par sa position géographique, le Maroc occupe une place particulière à la pointe nord-ouest de l'Afrique, avec des rivages baignés par deux mers et un territoire au climat diversifié résultant des effets conjugués des influences océaniques, méditerranéennes et sahariennes. Avec un automne-hiver pluvieux et frais, ou froid, auquel fait suite une longue saison sèche et chaude, le climat du Maroc appartient à la famille des climats de type méditerranéen.

Par ailleurs, par la jonction du Rif et des Atlas, à peine interrompue par le "couloir de Taza", s'élève une barrière montagneuse où va se heurter sans la franchir l'humidité atlantique, divisant le pays en deux régions d'inégale étendue et une physionomie tout opposée. L'ensemble de montagnes et de plaines, ouvert au vent de l'océan; domaine privilégié où se groupent

\* Division de Recherches et d'Expérimentations Forestières - Rabat.

\*\* La numérotation correspond à la classification par ordre alphabétique de la bibliographie annexée à cet article.

les forêts des étages humide et sub-humide, ou côtières. De l'autre côté des montagnes, par-delà les sommets et protégés par eux de l'humidité maritime, s'enfoncent au contraire vers l'est et vers le sud de vastes étendues où la chaleur et la sécheresse s'accusent de plus en plus.

Ainsi, c'est dans le Rif qu'on trouve les plus fortes pluviosités: 1740mm au Jbel Outka, 1350mm à Bab Tariouent, 1165 mm à Ketama et 953mm à Jbel Tizi Ifri marquant ainsi une diminution de la pluviométrie au fur et à mesure que l'influence atlantique diminue. La pluie décroît également du Nord au Sud : au Maroc occidental, entre l'Océan et l'Atlas, le Rharb reçoit plus de 500mm, la Chaouia n'en reçoit déjà plus que 400mm, le Haouz de Marrakech et le Tadla de 200 à 300mm. Le Maroc Oriental plus sec, voit la même décroissance et moins de 100mm tombe au sud d'une ligne: Bou-Denib, Ouarzazate, Tiznit.(14)

Comme pour l'ensemble des montagnes méditerranéennes les gradients pluviométriques sont élevés (25 à 50mm/100m). Les gradients thermiques atteignent  $-0.47^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  pour le maximum du mois le plus chaud,  $-0,65^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  pour le minimum du mois le plus froid. Pour les températures moyennes les gradients sont plus élevés en hiver ( $-0,55^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ )

qu'en été ( $-0.35^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ) (17).

## II. PRESENTATION DES ECOSYSTEMES FORESTIERS

La diversité des conditions écologiques du Maroc et sa position de rencontre entre la flore holarctique, saharienne et macaronésienne induisent des structures biocénétiques d'une diversité et d'une complexité qui s'imposent à l'évidence.

Les écosystèmes identifiés au Maroc, au nombre de quarante, sont présentés dans le tableau ci-après (18).

Les écosystèmes occupent un éventail très large de bioclimats méditerranéens et de leurs variantes, du bioclimat saharien au bioclimat perhumide et de haute montagne, dans une gamme de précipitations annuelles allant de 30mm à 1800mm. Ils individualisent des communautés végétales et animales qui se relayent depuis l'étage inframéditerranéen jusqu'à l'étage oroméditerranéen suivant une succession tout à fait originale en région méditerranéenne (1).

Les formations forestières naturelles et les nappes alfatières s'étendent au Maroc sur environ 8.969.000ha, dont 3.155.700ha de nappes alfatières.

### Ecosystèmes terrestres marocains

- |   |   |
|---|---|
| 1. écosystème à <i>Abies marocana</i>             | 21. écosystème à <i>Maerua crassifolia</i>      |
| 2. écosystème à <i>Acacia ehrenbergiana</i>       | 22. écosystème à <i>Olca oleaster</i>           |
| 3. écosystème à <i>Acacia gummifera</i>           | 23. écosystème à <i>Pinus maghrebiana</i>       |
| 4. écosystème à <i>Acacia raddiana</i>            | 24. écosystème à <i>Pinus halepensis</i>        |
| 5. écosystème à <i>Adenocarpus anagyriifolius</i> | 25. écosystème à <i>Pinus iberica</i>           |
| 6. écosystème à <i>Ammophila arenaria</i>         | 26. écosystème à <i>Pinus nigra mauretunica</i> |
| 7. écosystème à <i>Argania spinosa</i>            | 27. écosystème à <i>Pinus pinaster</i>          |
| 8. écosystème à <i>Artémisia inculta</i>          | 28. écosystème à <i>Pistachia atlantica</i>     |
| 9. écosystème à <i>Balanites aegyptiaca</i>       | 29. écosystème à <i>Quercus coccifer</i>        |
| 10. écosystème à <i>Buxus balearica</i>           | 30. écosystème à <i>Quercus faginea</i>         |
| 11. écosystème à <i>Capparis decidua</i>          | 31. écosystème à <i>Quercus pyrenaica</i>       |
| 12. écosystème à <i>Cedrus atlantica</i>          | 32. écosystème à <i>Quercus rotundifolia</i>    |
| 13. écosystème à <i>Ceratonia siliqua</i>         | 33. écosystème à <i>Quercus suber</i>           |
| 14. écosystème à <i>Cupressus atlantica</i>       | 34. écosystème à <i>Retama dasycarpa</i>        |
| 15. écosystème à <i>Euphorbia</i> sp.             | 35. écosystème à <i>Stipa tenacissima</i>       |
| 16. écosystème à <i>Fraxinus dimorpha</i>         | 36. écosystème à <i>Tamarix</i> sp.             |
| 17. écosystème à <i>Juniperus phoenicea</i>       | 37. écosystème à <i>Tetraclinis articulata</i>  |
| 18. écosystème à <i>Juniperus thurifera</i>       | 38. écosystème à <i>Traganum moquini</i>        |
| 19. écosystème des dayas                          | 39. écosystème à Xéropphytes épineux            |
| 20. écosystème halophiles                         | 40. écosystème dunaire                          |

La répartition et l'importance des principales essences forestières se présentent comme suit (8) :

<u>ESSENCE</u>	<u>SUPERFICIE</u>	<u>(%) Forêt</u>
<b>FEUILLUS</b>		
Chêne-vert ( <u>Quercus rotundifolia</u> )	1.364.100 Ha	23,5 %
( <u>Quercus suber</u> ) Chêne liège	348.200 Ha	6 %
Arganier ( <u>Argania spinosa</u> )	828.300 Ha	14,2 %
Acacias sahariens	1.128.300 Ha	19,4 %
<b>Total feuillus</b>	<b>3.668.900 Ha</b>	<b>63,1 %</b>
<b>RESINEUX</b>		
Cèdre ( <u>Cedrus atlantica</u> )	131.800 Ha	2,3 %
Thuya ( <u>Tetraclinis articulata</u> )	607.900 Ha	10,4 %
Genévrier	326.100 Ha	5,6 %
Cyprès de l'Atlas	6.100 Ha	0,1 %
Pins naturels	95.160 Ha	1,6 %
Sapins	6.000 Ha	0,1 %
<b>Total résineux</b>	<b>1.172.960 Ha</b>	<b>20,2 %</b>
Essences diverses	72.040 Ha	1,2 %
Maquis d'essences secondaires	900.000 Ha	15,5
<b>Total forêts</b>	<b>5.813.900 Ha</b>	<b>100 %</b>
<b>Nappes alfatières</b>	<b>3.155.700 Ha</b>	

### III. CLIMAT ET REPARTITION DES ESPECES FORESTIERES

Le climat intervient dans la répartition la structure et le fonctionnement des écosystèmes forestiers. Les facteurs discriminants de ces éléments sont : la lumière, la chaleur, l'humidité, et le froid. Faute de pouvoir mesurer directement ces facteurs, les climatologues, écologistes, etc..., ont pris des variables qui sont en rapport avec ces derniers. Dans le même ordre d'idée, on a cherché des indices synthétiques pour caractériser les relations entre les plantes et le climat tels que : Indice de Thornthwait, Indice de

Giacobbe, Indice xéothermique de Gaussen, Indice pluviothermique d'Emberger, etc....

Pour des études d'autoécologie et de synécologie les climagrammes servent de cadre bioclimatique à la répartition des différentes formations végétales climaciques. Dans le climagramme les paramètres sont choisis de telle sorte que les postes climatiques dont la végétation potentielle est homologue se trouvent rapprochés (11). Emberger a conçu dans cet esprit un climagramme pour le Maroc, qui a été généralisé à la région méditerranéenne, basé sur un quotient pluviothermique (13 et 20).

Le quotient pluviothermique de L.Emberger est calculé par :

$$Q_2 = 1000 P / [M+m/2] (M-m)$$

où : P est la moyenne annuelle des précipitations en mm.

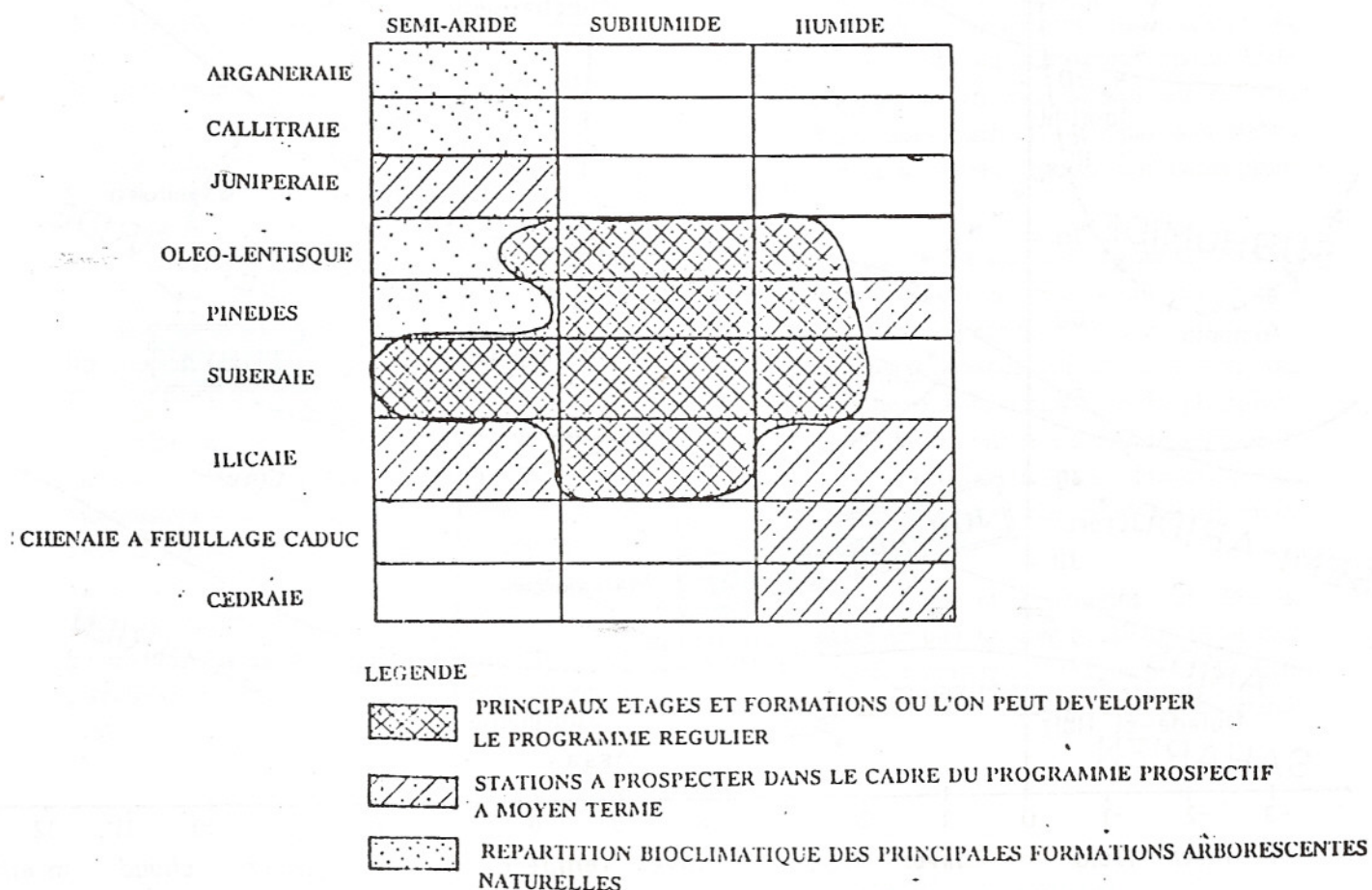
M est la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud.

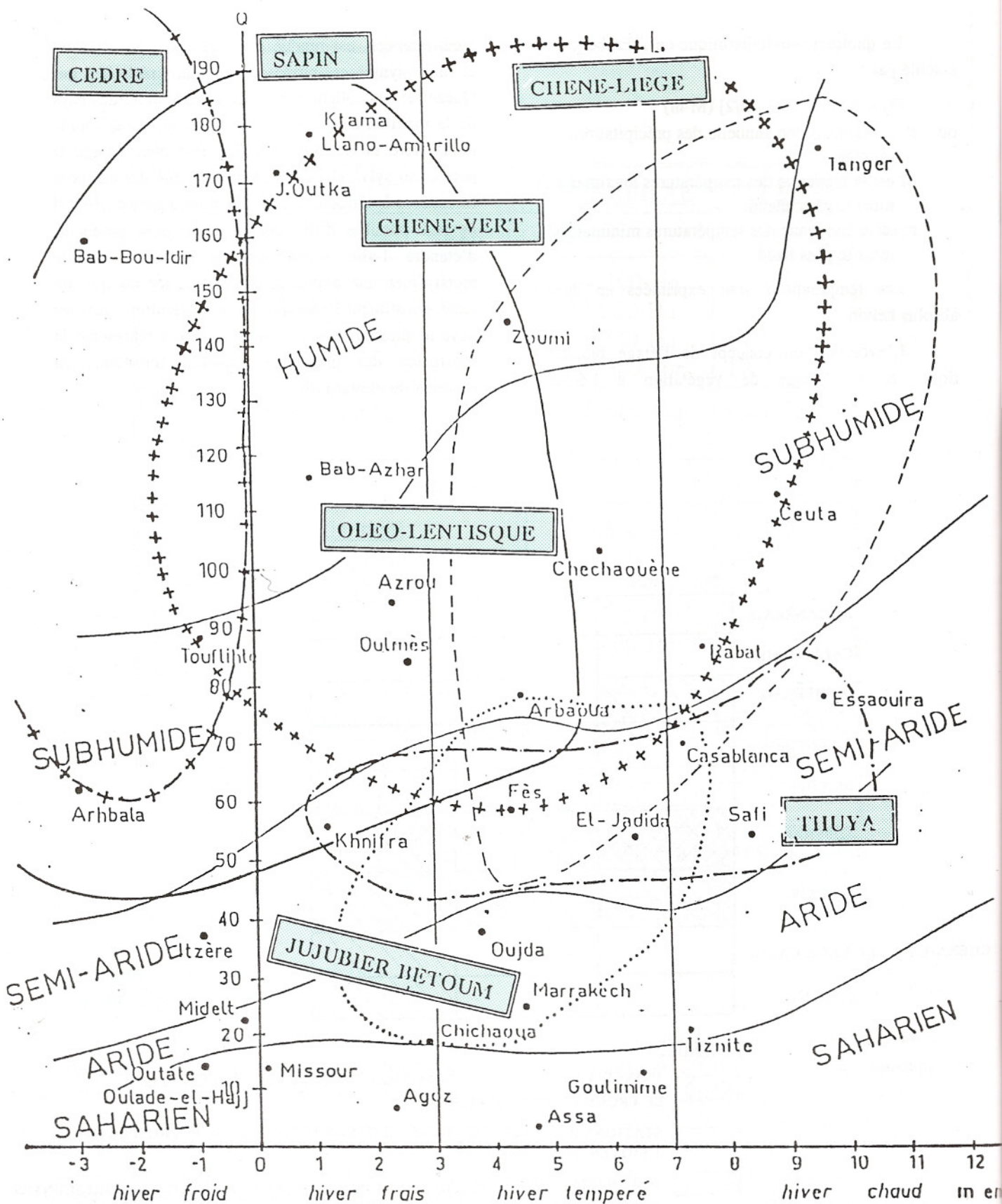
m est la moyenne des températures minimales du mois le plus froid.

Les températures sont exprimées en degrés absolus kelvin

L'évolution du concept de l'étage bioclimatique, et de l'étage de végétation à l'échelle

méditerranéen, est rendue possible grâce aux travaux et aux synthèses phytosociologiques réalisées par Quezel et ses collaborateurs dans l'ensemble des pays de la méditerranéen. Ainsi, la combinaison de l'étude de la flore et du climat précise fort bien l'étage et permet au sylviculteur un choix raisonné des essences forestières à introduire dans un milieu donné (16). Il devient possible d'installer un boisement productif, d'étendre l'aire d'une essence naturelle, ou de reconstituer une ambiance forestière, actions qui, du reste, constituent l'essentiel de la sylviculture dans les pays méditerranéens. La figure ci-après représente la répartition des principales espèces forestières en fonction du climat (18).





POSITION BIOCLIMATIQUE DES ECOSYSTEMES TERRESTRES

(Climagramme d'Emberger)

d'après O. M'HIRIT, 1993

## IV. CLIMAT ET SYLVICULTURE

### 4.1. Productivité potentielle forestière.

L'action combinée des éléments du climat, et plus particulièrement des facteurs thermiques et hygrométriques règle les conditions d'existence et de productivité des arbres forestiers comme elle détermine la distribution géographique des essences. Il en résulte que la première conséquence de l'étude du bioclimat pour le sylviculteur est l'importance de la période de croissance des arbres.

Patterson a présenté un indice "Climat-Végétation-Productivité" (CVP) faisant intervenir sous une forme multiplicative les facteurs explicatifs de la croissance des végétaux: la chaleur, l'humidité, la durée de la période de croissance et l'intensité des radiations solaires.

L'indice proposé est :

$$C.V.P = (T_v/T_a) \times P \times G/12 \times K/100$$

$T_v$  : Température moyenne du mois le plus chaud en °C

$T_a$  : Différence entre la Température moyenne du mois le plus chaud et celle du mois le plus froid (Amplitude thermique annuelle).

$P$  : Pluviométrie annuelle en mm.

$G$  : Longueur de la saison de végétation.

$E$  :  $(R_p/R_s) \times 100$  : facteur de réduction de l'évapotranspiration; varie de 0,40 à l'équateur à 0,90 au nord de la suberaie.

$R_p$  : Radiation cumulée aux pôles  $103g/Calcm^2$

$R_s$  : Radiation de la station considérée.

Cet indice est défini pour 95 stations marocaines réparties dans l'ensemble des étages bioclimatiques au sens d'Emberger représentant ainsi toute la gamme d'essences forestières naturelles et la variation des différents facteurs du climat. Une carte des productivités forestières est établie, ce qui a permis de délimiter six grandes régions de productivité potentielle en fonction des seuls facteurs climatiques. (16).

L'indice C.V.P. met en évidence une bonne concordance entre les étages bioclimatiques et la productivité potentielle des formations forestières. Il semble un outil intéressant, pour l'évaluation des potentialités forestières à l'échelle du pays, dans un souci de planification et d'orientation de la politique forestière générale du pays.

### 4.2. Climat, régénération, reforestation

#### 4.2.1. Régénération naturelle des forêts

La germination des graines est influencée par la nature et l'intensité des radiations naturelles qui règnent au voisinage du sol (19): il y a des graines dont le développement est favorisé par la lumière, d'autres dont au contraire la lumière freine la germination, et des graines indifférentes. Toutefois, en forêt, même sous un pourcentage de radiation très faible -2 à 3% par exemple du plein découvert- les graines forestières arrivent à germer: elles contiennent des réserves, des vitamines qui leur donnent une certaine indépendance vis-à-vis du milieu extérieur. Et le microclimat spécial (lumière réduite, chaleur égale et modérée, teneur en eau du sol élevée, état hygrométrique assez constant) n'est pas défavorable, au contraire, au développement des tout jeunes plants (12).

Les différences s'accusent, suivant la nature du couvert forestier, et suivant qu'on a affaire à ce qu'il est convenu d'appeler essences d'ombre ou essences de lumière. Leur importance en forêt est évidente pour l'avenir des régénérations naturelles et des plantations. C'est à partir de la surface du sol, et aussi de la surface des végétaux (feuilles, branches) que s'effectue de proche en proche le refroidissement de l'air et du sol.

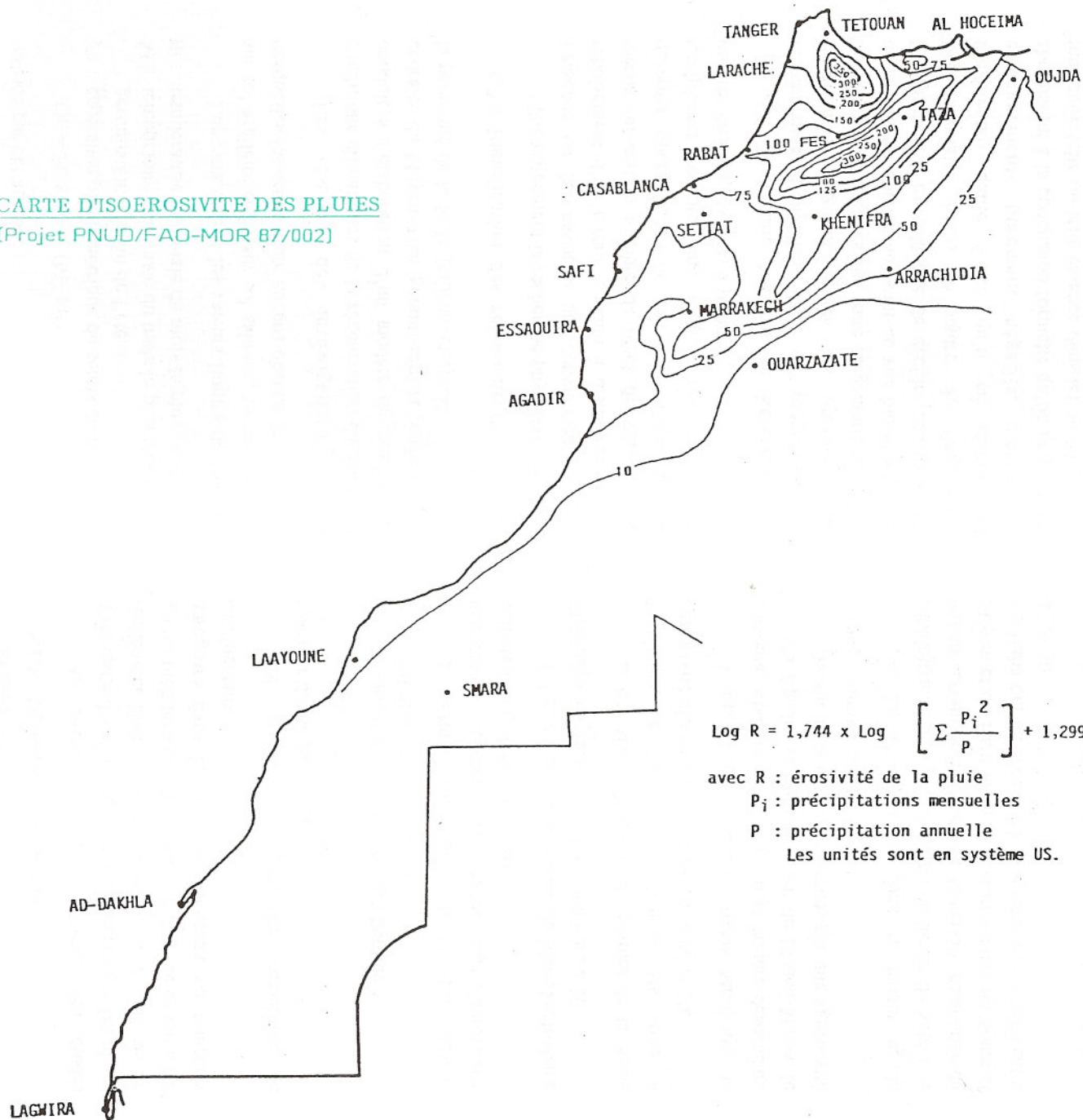
La germination et la croissance du cèdre de l'Atlas (par exemple) ne sont possibles qu'au delà d'une température moyenne de l'air de 6 à 7°C. Après cette phase de germination, la plus ou moins grande

## Schéma récapitulatif des interventions sylvicoles dans les divers bioclimats de régénération du cèdre

Type de régénération	Bioclimat	Lieux types	Choix de l'intervention				
			En général	En fonction du sol	En fonction de l'exposition		Emplacement des places à feu
					Versants nord	Versants sud	
Sous le couvert de chêne-vert et Hors couvert	Chaleurs précoces ou pluviosité élevée, ou les deux facteurs simultanément.	Ifrane Mouyougou	Recépage modéré du chêne-vert pour aboutir à un équilibre entre le couvert et le découvert.	Le couvert du chêne-vert doit être plus important sur sols rouges argileux.	Eclaircie plus poussée du chêne-vert et du cèdre.	Eviter les trop fortes éclaircies.	Indifférent
Sous le couvert de chêne-vert uniquement a) en plein ombrage	Etés secs et chauds.	Versant sud du Djbel Hebri	Conservation totale du couvert de la cèpe de chêne-vert et éclaircie ultérieure après l'installation des semis.	Maintien du couvert de chêne-vert essentiel sur sol rouge argileux.	Eclaircie très prudente du chêne-vert et du cèdre.	Conserver le maximum de couvert.	A l'ombre
	Chaleurs printanières assez tardives. Etés chauds et secs. Pluviosité moyenne.	Kissarit	Maintien d'un taillis de chêne-vert de densité modérée réalisant de belles plages d'ensoleillement. Les décapages sous ombrage amélioreront la situation.	Le couvert du taillis de chêne-vert est sans doute essentiel sur sol rouge argileux.	L'éclaircie dans le cèdre ou le chêne-vert doit commencer à être importante.	Eclaircie très prudente dans les deux essences.	Sous l'ombre portée à 14 heures
Hors couvert uniquement	Froids presque toujours tardifs. Pluviosité moyenne à importante.	Cédraie d'Itzer Senoual	Suppression systématique des couverts denses. L'éclaircie du chêne-vert doit être sévère pour réaliser des plages ensoleillées nombreuses. Les décapages sont indispensables.	La suppression du couvert doit être d'autant plus importante que l'on est sur un sol argileux. Elle est essentielle sur matériaux sableux et un peu moins sur matériaux basaltiques.	Eclaircies sévères dans le cèdre et recépage fréquent du chêne-vert.	Eclaircie sérieuse du cèdre et recépage régulier du chêne-vert avec maintien de quelques ombrages partiels.	A découvert
Absence totale de régénération	Froids toujours tardifs ou pluviosité très faible (inférieure à 500 mm).	Tiguelmamane Altitude élevée > 2100 m	Suppression totale du couvert dans les limites de conservation du nombre minimum de semenciers. Le chêne-vert doit être recépi systématiquement. Les décapages doivent être régulièrement entretenus.	Opérations à généraliser sur tous les types de sols.	Eclaircie maximum et décapages obligatoires.	La conservation d'un plus grand nombre de semenciers (cèdre) peut être autorisée.	En plein découvert

## CARTE D'ISOEROSIVITE DES PLUIES

(Projet PNUD/FAO-MOR 87/002)



rapidité d'arrivée de la sécheresse estivale et son importance conditionnent la survie des semis. Pour analyser ces phénomènes, le poutre B (15) utilise au Maroc la notion d'espérance pluviométrique ( $Q_e$ ) qui lui permet de calculer les chances de survie des semis, selon les stations et les années; rappelons la formule utilisée par cet auteur :

$$Q_e = P_e \times 100 / (M^2 - m^2)$$

$P_e$  : espérance pluviométrique du semis de la germination à la fin de l'été.

$M$  : température maximale du mois le plus chaud.

$m$  : température minimale du mois le plus froid.

Lepoutre estime les valeurs limites de  $Q_e$  à 43 sur sol argileux et 34 sur sol sableux, valeurs au delà desquelles les semis n'ont aucune chance de survie.

Les résultats des investigations sur les conditions climatiques de la régénération du cèdre ont conduit à l'élaboration d'un modèle de gestion des cedraies du Moyen-Atlas garantissant la production et la pérennité de la forêt. (tableau ci-après)

#### 4.2.2 Planification des reboisements

Théoriquement la recherche phytoécologique de l'essence ou des essences qui conviennent pour le reboisement d'un terrain conduit à distinguer sur ce terrain un certain nombre de types de stations et à désigner pour chacun de ces types l'essence à y complanter compte tenu d'un certain nombre de critères biologiques fixés a priori.

Le Programme National de Reboisement a recommandé d'englober dans un programme dit Programme Régulier toutes les opérations de reboisement auxquelles une sorte de garantie minimale de succès est donnée du point de vue bio-écologique. Il appartient à la recherche de décider des méthodes expérimentales (dans le cadre du Programme Expérimental) quitte à ce qu'il en résulte des enseignements purement négatifs, c'est-à-dire aboutissant à la conclusion formelle qu'on ne peut pas introduire telle ou telle essence dans tel ou tel type de milieu. Entre ces deux programmes le P.N.R. a distingué le Programme Prospectif à Moyen Terme englobant toutes les actions à entreprendre, aux moindres frais et avec des risques limités. La figure

suivante présente la distribution des programmes en fonction des bioclimats et des écosystèmes forestiers(2).

## V. CLIMAT ET CONSERVATION DES SOLS

### 5.1. Erosion hydrique

#### 5.1.1. Agressivité climatique

Au Maroc, il semble d'après les études d'intensité des pluies qui ont été menées que les pluies réellement intenses soient rares et qu'en tout cas, le splash méditerranéen reste bien en deçà de ce qui a été enregistré dans les milieux tropicaux ou tempérés continentaux.

Le coefficient d'agressivité climatique de Fournier donné par :  $p^2/P$

avec :

$p$  : précipitations du mois le plus humide

$P$  : total pluviométrique annuel

a permis une classification des régions marocaines suivant l'importance de l'agressivité climatique (7). Ces régions sont:

1. Les zones arides: Haouz de Marrakech-Haute Moulouya à agressivité faible, inférieure à 20.

2. Les Hauts Plateaux, les plaines de la Basse Moulouya, le Tadla, les Rhamna, les Jbilet à agressivité climatique comprise entre 20 et 30.

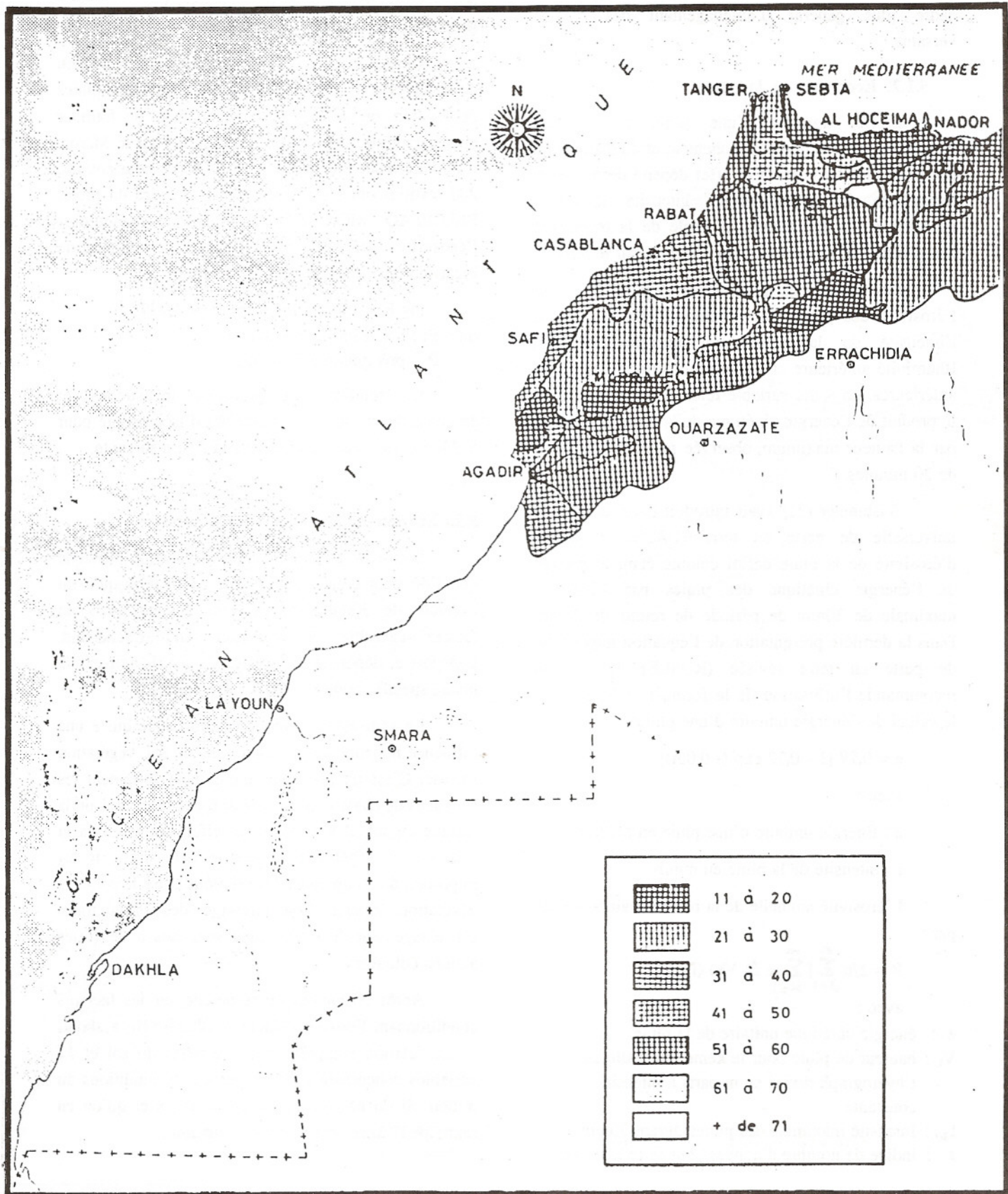
3. Les Beni Snassen, la Basse Moulouya, la Chaouia, Abda-Doukkala, la frange côtière descendant jusqu'à Agadir, le bassin versant de l'Oued Massa, le Haut Bassin du Souss sont marqués par une agressivité élevée comprise entre 30 et 40.

4. Le Rif Oriental dans le bassin de la Moulouya, la plus grande partie du bassin de Sebou, le bassin versant de Bou Regreg, le versant Atlantique du Moyen et du Haut Atlas, le bassin versant du Souss et les Haha ont un coefficient d'agressivité compris entre 40 et 60.

5. Le Rif Occidental et le Pré-Rif où sont rencontrés les coefficients les plus élevés (> 61).

Les pluies interviennent donc par leur volume global annuel, le rythme de précipitation et surtout le

# COEFFICIENT D'AGRESSIVITE CLIMATIQUE $p^2/P$



degré de concentration dans le temps. Un intérêt tout particulier est donné à ce facteur de l'érosion dans le cadre plus général d'aménagement des bassins versants.

### 5.1.2. Erosivité de la pluie

L'effet agressif d'une pluie au sol est caractérisé par l'action d'arrachement et de dislocation des particules terreuses. Cet effet dépend de plusieurs paramètres des précipitations: intensité et durée, quantité, poids des gouttes et angle de la trajectoire des gouttes par rapport au plan d'arrivée sur le terrain.

Les recherches poursuivies depuis 1930 sur l'érosivité des pluies ont montré qu'elle est liée à: l'intensité de la pluie, son énergie cinétique, l'humidité antérieure et l'énergie cinétique des pluies antérieures. La seule variable retenue actuellement est le produit de l'énergie cinétique de la pluie considérée par la hauteur maximum, observée pendant une durée de 30 minutes.

Wishmeier (21) avait introduit dans sa formule universelle de perte en terre (USLE) un indice d'érosivité de la pluie défini comme étant le produit de l'énergie cinétique des pluies par l'intensité maximale de 30mm de période de retour de 2 ans. Dans la dernière présentation de l'équation universelle de perte en terre révisée (RUSLE), USDA (4) recommande l'utilisation de la formule: ci-après pour le calcul de l'énergie unitaire d'une pluie:

$$e = 0,29 [1 - 0,72 \exp (- 0,05i)]$$

avec :

e : Energie unitaire d'une pluie en MJ/ha.mm

i : Intensité de la pluie en mm/h

L'érosivité annuelle de la pluie est alors donnée

par :

$$R = 1/n \sum_{j=1}^n \left[ \sum_{k=1}^m (e \Delta V_k) (I_{30})_k \right]$$

avec :

e : énergie cinétique unitaire de la pluie

$V_k$  : hauteur de pluie pour le kème intervalle de l'hyetograph divisé en m parts à intensité constante

$I_{30}$  : Intensité maximale des pluies durant 30mm

J : indice de nombre d'années pour faire la moyenne

K : indice du nombre d'averses en chaque année

n : nombre d'années utilisées pour obtenir R moyen

m : nombre d'averses dans chaque année

R : érosivité annuelle de la pluie

Dans plusieurs pays en développement où peu de données sont disponibles sur l'intensité des pluies de 30 mm, on utilise un indice modifié de fournier pour caractériser l'érosivité des pluies. Pour le Maroc, les données des précipitations mensuelles pour environ 200 stations ont été utilisées dans le cadre du projet PNUD/FAO MOR 87/002 (6) pour caractériser l'érosivité des pluies. La relation de forme logarithmique trouvée est:

$$\log R = 1,744 * \log ( p^2_i/p) + 1,299$$

où :  $P_i$  : précipitation mensuelle

P : précipitation annuelle

La relation précipitations mensuelles et érosivité de la pluie et les courbes d'isoérosivité pour le Maroc sont représentées dans la figure suivante.

### 5.2. Erosion éolienne et ensablement

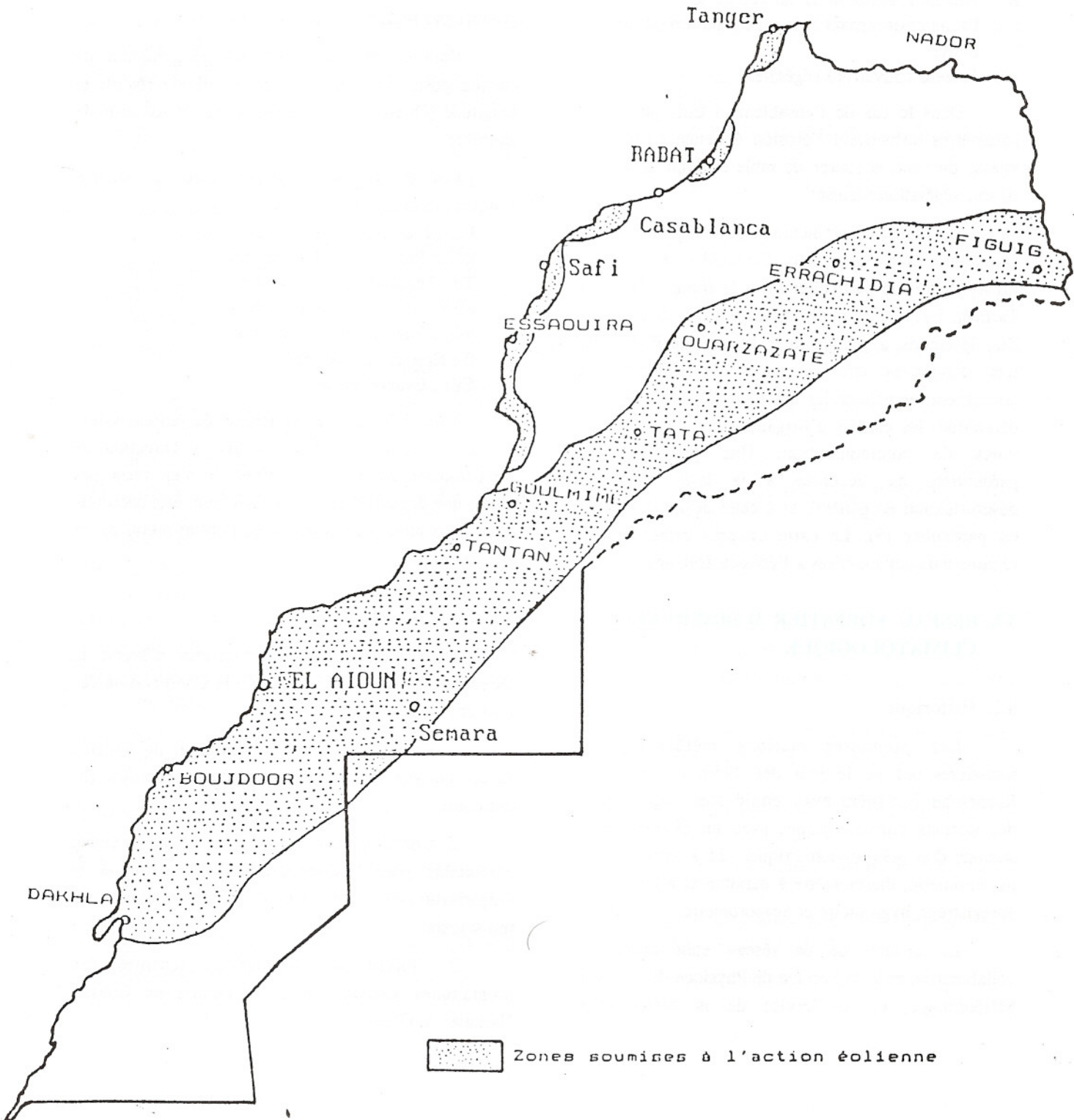
L'érosion éolienne est un mécanisme physique que l'on peut considérer comme exclusif jusqu'à un isohyète de 300mm/an. Le vent devient alors un facteur causable de l'érosion par arrachement, transport et dépôt des particules du sol. Il agit par la masse spécifique de l'air et par sa vitesse.

Le vent est un paramètre climatique qui a une influence majeure sur les conditions du sol, végétation incluse. C'est un processus qui affecte fortement les échanges de chaleur et de vapeur d'eau, à et près de la surface du sol. Il peut avoir les effets dangereux à la fois sur la végétation et sur le sol. Ainsi, il est important de comprendre les relations entre le sol et la végétation lorsque l'on envisage des programmes d'aménagement dans des aires soumises à de fortes actions éoliennes.

Après 30 années de recherche sur les facteurs conditionnant l'érosion éolienne Chepil (10) a abouti à une relation complexe entre la perte du sol et 11 variables concernant l'état du terrain et conditions du milieu. Si on néglige certaines variables et qu'on en regroupe d'autre on aboutit à l'équation :

CARTE DE LOCALISATION APPROXIMATIVE DES ZONES D'ENSABLEMENT

Projet régional PNUD/FAG RAB 89/034



$$E = f(I.C.K.L.V)$$

avec :

- E : Quantité de perte en terre
- I : Erodabilité du sol
- C : Facteur faisant intervenir la vitesse du vent et l'humidité du sol en fonction du climat
- K : Facteur rugosité de la surface du sol
- L : Facteur concernant la longueur du terrain non abrite
- V : Facteur couverture végétale.

Dans le cas de l'ensablement trois principaux paramètres influencent l'érosion éolienne ce sont: la vitesse du vent, la source de sable et l'état de surface su sol, végétation incluse:

Au Maroc ce problème se situe au sud de l'axe Guelmim, Taza, Ourzazate, Errachidia, Boudnib et Figuig. Il touche particulièrement la frange côtière de Tarfaya, Laayoun, Khenifiss, les vallées du Draâ, du Ziz, de Gheris, ainsi que toute la zone de Figuig (3). Les dommages et/ou menaces de l'ensablement concernent les palmeraies, les barrages, les canaux de dérivation, les canaux d'irrigation, les villages et les voies de communication. Une priorité toute particulière est accordée à la lutte contre la désertification en général, et à celle de l'ensablement en particulier (5). La carte ci-après représente les régions qui sont soumises à l'érosion éolienne.

## VI. RESEAU FORESTIER D'OBSERVATION CLIMATOLOGIQUE

### 6.1. Historique

Les premières stations météorologiques forestières ont vu le jour dès 1950, la Station de Recherche Forestière avait édifié son propre réseau des stations climatologiques avec un effectif de 95 stations dont 49 pluviométriques, 21 à pluviomètres, psychromètre, thermomètre à maxima et à minima ou enregistreur, hygromètre et évaporomètre.

La gestion de ce réseau était menée en collaboration avec le Service de Physique du Globe et Météorologie, et le Service de la Météorologie

Nationale qui ont préparé la tenue de la conférence Marocaine de Météorologie du 23 au 25 juin 1964.

### 6.2. Etat actuel

L'état actuel du réseau forestier des postes d'observation météorologiques (360 stations) est résumé dans le tableau en annexe où ils ont été groupés par régions administratives.

Dans ce tableau la situation géographique de chaque poste est indiquée par sa latitude (Nord) et longitude (Ouest) en degrés et minutes et son altitude en mètre.

Les abréviations reportées dans la colonne équipement indiquent:

- P.J. : Pluviomètre Journalier
- P.T. : Pluviomètre Totalisateur
- Te : Thermomètre enregistreur
- Max : Thermomètre à maxima
- min : Thermomètre à minima
- E : Eprouvette 200 cm<sup>2</sup>
- Eva : Evaporomètre

Malgré les premières actions de rationalisation de ce réseau en collaboration de la Direction de Météorologie Nationale en 1990, il n'en reste pas moins que des efforts importants doivent être consentis pour la gestion, l'équipement et l'optimisation de ce réseau.

### 6.3. Perspectives

Dans le cadre des perspectives d'avenir la Direction des Eaux et Forêts et de la Conservation des Sols envisage de:

1. Faire un diagnostic approfondi du système actuel en vue de définir un réseau climatologique optimum.
2. Constituer une base de données facilement exploitable pour l'information-communication et la vulgarisation des connaissances climatiques auprès des utilisateurs.
3. Suivre les orientations récentes des programmes scientifiques et techniques du Conseil National du Climat.

## BIBLIOGRAPHIE

- (1) ACHHAL A; AKABLI O., BARBERO M., BENABID A., M'HIRIT O., PEYRE C., QUEZEL P. et RIVAS-MARTINEZ S., 1980: A propos de la valeur bioclimatique et dynamique de quelques essences forestières au Maroc. *Ecologia Mediterranea*, 5 pp. 211-249. Rabat-Maroc.
- (2) ANONYME 1978: Guide pratique du reboiseur du Maroc. Direction des eaux et Forêts et de la Conservation des Sols.
- (3) ANONYME 1986: Cartographie, stabilisation et reboisement des dunes de sable. Projet régional PNUD/FAO RAB 86/034. Direction des Eaux et Forêts et de la Conservation des Sols. Rabat. Maroc.
- (4) ANONYME 1989: Predicting soil erosion by water - A guide to conservation planning with the Revised Universal Loss Equation. SCS-ARS, USDA, USA.
- (5) ANONYME 1989: Stabilisation des dunes et reboisement. Projet régional PNUD/FAO/DEFCS RAB 89/034. Direction des Eaux et Forêts et de la Conservation des Sols. Rabat. Maroc.
- (6) ANONYME 1989: Aménagement des bassins versants. Projet FAO/PNUD/DEFCS MOR/87/002. Direction des Eaux et Forêts et de la Conservation des Sols. Rabat. Maroc.
- (7) ANONYME 1991: Aménagement des bassins versants et protection des barrages contre l'envasement. Conseil Supérieur de l'Eau, 5ème session.
- (8) ANONYME 1993: Présentation du domaine forestier. Conseil National des Forêts 8ème session. Direction des Eaux et Forêts et de la Conservation des Sols. Rabat. Maroc.
- (9) BIDAULT G. et J. DEBRACH 1947: Physique du globe et météorologie au Maroc. Volume Jubilaire de la Société des Sciences Naturelles du Maroc.
- (10) CHEPIL, W.S. et N. P., WOODRUFF. 1963: The physics of wind erosion and its control. *Advances in Agronomy*. Vol. 15, 212-302. Academic Pres. Inc., NY, USA.
- (11) DEFAUT B. 1989: Un climagramme simple et un système d'étage phytoclimatique au service des naturalistes et des aménageurs en région paléarctique occidental. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle*. T25, 6168.
- (12) DESTREMAU D.X. 1970: Quand planter? *Bulletin de liaison des ingénieurs forestiers du Maroc*.
- (13) EMBERGER L., 1939: Aperçu général sur la végétation au Maroc. Commentaire de la carte phytogéographique du Maroc 1: 1500 000. *Veroff. Geobol. Inst. Rubel Zurich*, 14, 40-157 et *Mém. H.S. Soc. Sci. Nat. Maroc*, in Emberger L. 1971, 102-157.
- (14) HEUSCHB. et P.ROBERT, 1971 :Influence du relief sur la répartition des précipitations. *Bulletin de liaison des ingénieurs forestiers du Maroc*. n° 5, SRF, 71.
- (15) LEPOUTRE B.,: Premier essai de synthèse sur le mécanisme de régénération du cèdre dans le Moyen-Atlas marocain. *Annale de la Recherche Forestière. Maroc (1951-1984) Tome 7*, 55-163.
- (16) M'HIRIT O., 1972: La productivité potentielle des écosystèmes forestiers marocains. Note de recherche. ENFI. Salé. Maroc.
- (17) M'HIRIT O. 1982: Etude écologique et forestière des cedraies du Rif marocain. - Essai sur sur une approche multidimensionnelle de la phytoécologie et de la productivité du cèdre (*cedrus atlantica* Manetti). *Annales de la recherche forestière au Maroc*. Tome 22.
- (18) M'HIRIT O. 1993: Biodiversité et conservation in situ au Maroc. Réunion du groupe "conservation in situ" de l'Asie, de l'Ouest et l'Afrique du Nord.
- (19) PARDE J. 1974: Le microclimat en forêt. *Ecologie forestière de la forêt: son climat, son sol, ses arbres et sa faune*. p 1-21.
- (20) SAUVAGE Ch., 1963a: Le quotient pluviothermique d'Emberger, son utilisation et la représentation géographique de ses variations au Maroc. *Ann. Serv. Phys. Globe, Météo I.S.C* 20, 11-23.
- (21) WISHMEIER W.H., MANNERING J.V., 1962: Rainfall erosion. *Advances in agronomy*, 14, 109-148.

# ROLE ET IMPORTANCE DES DONNEES AGROMETEROLOGIQUES DANS LA GESTION DE L'EAU

Par BAZZA MOHAMED

## INTRODUCTION

Le potentiel agricole d'un pays ou d'une région donnée ne peut être évalué convenablement que si les données climatiques sont disponibles et fiables et couvrent une période suffisamment longue. En effet, que ce soit pour l'évaluation des ressources en eau ou pour la planification et l'utilisation de celles-ci dans le domaine agricole, l'élément clé est une banque de données météorologiques dont la nature, la représentativité, et les conditions de mesure sont conformes aux normes exigées.

La présente note présente l'intérêt des données agrométéorologiques dans la planification et la gestion de l'irrigation à différentes échelles et dans différentes conditions de production agricole. Dans un premier stade, elle passe en revue l'intérêt des relevés pluviométriques dans l'évaluation des ressources en eau.

## INTERET DES RELEVES PLUVIOMETRIQUES DANS L'EVALUATION DES RESSOURCES HYDRIQUES

La quantification des ressources hydriques à l'échelle d'un bassin versant requiert un réseau pluviométrique réparti de manière bien étudiée en fonction des caractéristiques physiographiques du terrain, du type de végétation, des caractéristiques physiographiques du terrain, du type de végétation, des caractéristiques édaphiques et de la nature des précipitations. Il est à noter à ce stade que la variabilité des précipitations sur un bassin versant est

telle que des différences de 20% ont été relevées dans des stations distantes de moins de dix mètres. De ce fait, il est extrêmement difficile d'avoir une couverture du réseau telle que l'évaluation des ressources hydriques est faite de manière précise. Cependant, il est toujours possible d'optimiser le réseau de manière à pouvoir estimer ces ressources convenablement à des fins pratiques.

Les stations de jaugeage des débits installées souvent à l'aval des bassins versants permettant, quand elles sont adéquates des points de vue installation, mesure, entretien et traitement des données, d'évaluer les quantités d'eau disponibles ainsi que leur fluctuation; cependant, elles n'intéressent que les eaux de surface d'une part et se limitent à donner une idée qualitative sur les précipitations à l'amont du point de mesure, d'autre part. Ainsi, la quantification exacte des ressources hydriques passe inévitablement aussi bien par de telles stations que par un réseau pluviométrique adéquatement étudié, installé et géré.

## INTERET DES DONNEES CLIMATIQUES DANS LA GESTION DES RESSOURCES HYDRIQUES

### Intérêt dans les phases initiales des projets d'aménagement

Les phases initiales d'un projet d'aménagement comprennent l'IDENTIFICATION et L'ETUDE DE FAISABILITE. Lors de ces phases, les ressources naturelles, humaines et économiques de la zone

d'intérêt sont évaluées. Dans le contexte climatique du Maroc, la ressource la plus importante et qui constitue le facteur limitant la production agricole est souvent l'eau. Or et comme déjà mentionné ci-dessus, l'évaluation de cette denrée rare ne peut se faire correctement en l'absence de données climatiques répondant aux conditions suivantes: nature, qualité, représentativité et durée de mesure.

Lors de ces phases, le potentiel agricole de la région d'étude est également identifié sur la base, entre autres, des conditions climatiques dont la connaissance exacte nécessite une banque de données fiables et conformes aux exigences d'une telle évaluation.

Dans le cas où l'aménagement est du type hydroagricole, le dimensionnement du réseau d'irrigation est également basé sur les besoins en eau des cultures envisagées, pendant la durée de pointe en ce qui concerne la demande climatique. Ces besoins sont déterminés sur la base de modèles mathématiques - empiriques ou semi-empiriques - dont les variables ne sont autres que des paramètres climatiques (voir plus loin). En présence de données insuffisantes ou défectueuses ou erronées, l'erreur peut être irréparable surtout quand il s'agit d'un sous-dimensionnement du réseau, du moins jusqu'à l'amortissement de celui-ci. Une telle erreur rend la gestion ultérieure du réseau délicate et fait que l'aménagement ne remplira pas pleinement ses objectifs en matière de rentabilité économique.

### **Intérêt dans la planification et gestion de l'irrigation**

La planification de l'irrigation est l'opération qui consiste à répondre aux questions "quand faut-il irriguer?" et "quelle quantité d'eau faut-il apporter?". La planification se fait à l'échelle de la parcelle à irriguer dans le cas d'une exploitation agricole autonome du point de vue ressource en eau, et à l'échelle de tout un périmètre ou un secteur d'irrigation dans le cas où le réseau d'alimentation en eau est collectif et l'aménagement hydroagricole est géré collectivement par une agence privée ou gouvernementale tel un office de mise en valeur agricole au Maroc.

Dans les deux situations, l'utilisation rationnelle des ressources en eau passe par la détermination (estimation ou mesure) des besoins en eau des cultures, laquelle estimation est basée sur les données climatiques fiables. Ainsi, l'évaluation des quantités d'eau disponible aux cultures sous formes de précipitations nécessite un réseau pluviométrique dont l'emplacement a été minutieusement étudié. En effet, et comme déjà noté plus haut, les précipitations constituent le paramètre climatique dont la variabilité aussi bien spatiale que chronologique est la plus élevée.

A côté des précipitations, élément fondamental dans le bilan hydrique du sol qui constitue le réservoir alimentant les plantes, le réseau agrométéorologique doit inclure tous les instruments nécessaires pour une estimation précise des besoins en eau. A titre d'exemple, le modèle de Penman modifié qui est le plus adapté aux conditions climatiques marocaines, pour l'estimation des besoins en eau des cultures nécessite :

- La vitesse du vent mesurée de manière continue, à deux mètres de la surface du sol;
- Le rayonnement net, toutes longueurs d'onde confondues;
- La température de l'air, sous ses formes moyenne, maximale et minimale;
- L'humidité relative journalière, sous ses formes moyenne, maximale et minimale;
- Autres paramètres (facultatifs mais souhaitables).

Parallèlement à la planification et la gestion de l'irrigation, le suivi des conditions climatiques au moyen de mesures continues, permet de contrôler le milieu et de pallier les risques dont les conséquences sont dévastatrices pour la production agricole. Il s'agit principalement du contrôle du milieu sous abris-serres et de sa régulation du point de vue température et humidité par le biais de l'irrigation par aspersion, plus particulièrement dans le cas des agrumes.

De ce fait, la valeur des données recueillies réside dans leur aptitude à optimiser ou à maximiser l'efficacité d'utilisation de l'eau et, partant, la rentabilité économique des projets d'aménagement.

## **LE RESEAU METEOROLOGIQUE ACTUEL ET LA GESTION DE L'EAU**

Les stations météorologiques dont dispose le pays actuellement ne sont souvent pas adaptées à l'utilisation pour la planification et le management adéquat des ressources en eau. En effet, ces dernières requièrent certaines conditions qui sont dans la plupart des cas non remplies par ces stations. Ainsi par exemple, la majorité des sites de mesure sont situés le long des côtes nationales dans le but de servir à des fins autres qu'agricoles. Or, le microclimat régnant près des océans et des mers ne représente qu'une bande étroite de terrain dont les caractéristiques climatiques sont très différentes de celle régnant à quelques kilomètres seulement de la côte.

Les relevés des différents paramètres climatiques ne se font pas toujours aux moments indiqués

pour les objectifs poursuivis, à savoir les études d'aménagement hydroagricole et la gestion de l'eau. Quand les mesures sont effectuées de manière continue, le traitement des données ainsi que leur présentation ne sont pas conformes à une telle utilisation et nécessitent un travail lourd et fastidieux.

Une autre limitation réside dans le fait que peu de stations sont équipées de suffisamment d'instruments pour couvrir tous les paramètres climatiques nécessaires.

Enfin, le réseau actuel quoique couvrant la totalité du territoire, n'est pas suffisamment dense pour répondre aux besoins agricoles.

En conclusion, on peut dire que même dans le cas où le réseau actuel répond aux exigences d'un réseau météorologique, il n'est que partiellement adapté aux conditions d'un réseau agrométéorologique adéquat. Les limitations concernent plusieurs aspects et plus particulièrement l'emplacement, la densité, la nature des paramètres relevés, les moments des mesures et le traitement et la présentation des données.

# **SOCIETE D'ETUDES ET TRAVAUX**

SOCIETE ANONYME AU CAPITAL DE 550.000 DH

**ENTREPRISE GENERALE DE TRAVAUX PUBLICS  
BETON ARME - GENIE CIVIL**

290, bd. Mohammed V - RABAT

Tél. : 336-40

Chacun de ces matériaux de construction possède des caractéristiques qui lui sont propres et qui se rapportent à la résistance, la longévité, la facilité de mise en place, etc.... Par ailleurs, les matériaux diffèrent entre-eux par la valeur de leur pouvoir isolant. Selon le niveau d'isolation souhaité pour le bâtiment à construire, l'on optera pour tel ou tel matériau de construction pour la structure. Ce choix va aussi dépendre de la disponibilité et du prix du matériau en question.

Une autre catégorie de matériaux de construction existe. Ces matériaux ne concernent pas la réalisation de la structure du bâtiment. Ils sont utilisés par contre pour améliorer l'isolation thermique du bâtiment au niveau des parois (murs) et surtout de la toiture (en zone froide l'isolation de la toiture empêche les pertes de chaleur et la condensation, par contre en zone à rayonnement solaire élevé cette isolation s'opposera à la transmission de chaleur à l'intérieur du bâtiment). Les matériaux isolants sont caractérisés par un pouvoir isolant élevé, parmi ceux-ci et à titre indicatif on peut citer les isolants en nattes (laine minérale, matériaux fibreux, laine de verre...), les isolants en vrac comme la vermiculite éclatée, les isolants rigides en panneaux (liège, polystyrène, polyuréthane), et les isolants vaporisés sur le chantier. Les caractéristiques des principaux isolants utilisés en constructions agricoles (C.P.A.Q, 1979) ont été rapporté en annexes par Baoubaou (1993).

## L'ISOLATION DES BATIMENTS ET IMPORTANCE DE L'ISOLATION

L'isolation thermique a pour but de rendre le plus possible l'ambiance thermique à l'intérieur du bâtiment indépendante des conditions climatiques extérieures. De ce fait elle doit protéger l'ambiance interne du froid d'hiver, de la chaleur d'été, et doit réduire au minimum les risques de condensation de vapeur à l'intérieur du bâtiment.

Les besoins en isolation sont différents pour les bâtiments d'élevage et dépendent de:

- la  $t^{\circ}$  extérieure de base
- la  $t^{\circ}$  intérieure objective (celle-ci dépend du type d'animaux logés, voir tableaux 1 et 2).

Aussi, on doit garder en tête que deux bâtiments ayant le même pouvoir isolant peuvent se comporter différemment selon l'emplacement des matériaux isolants qu'ils comportent (figures 1a et 1b).

En effet, quoique les deux murs représentés par les figures 1a et 1b ont les mêmes pouvoirs isolants résultants, ils auront une influence totalement différente sur l'ambiance intérieure d'un local d'élevage. Cette différence tient du fait que la chaleur accumulée par le mur est différente d'une construction à l'autre. Dans le cas où l'isolant est installé à l'intérieur du mur, quand le local commencera à refroidir (pendant la nuit par exemple) le mur intérieur continuera de jouer un rôle tampon par la chaleur qui

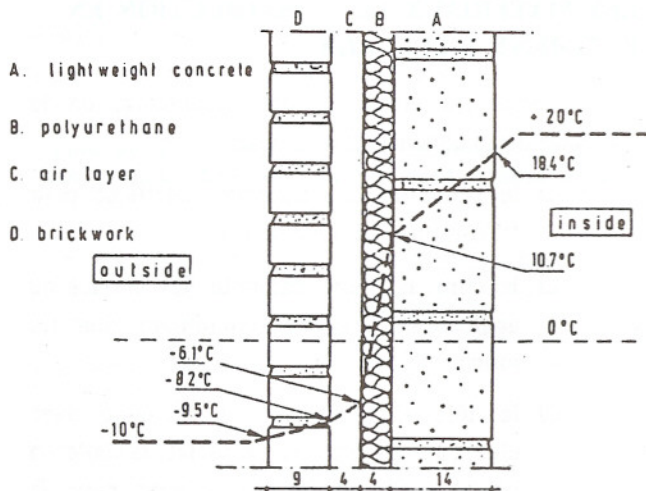


Fig.1a: Mur avec isolant interne à la paroi

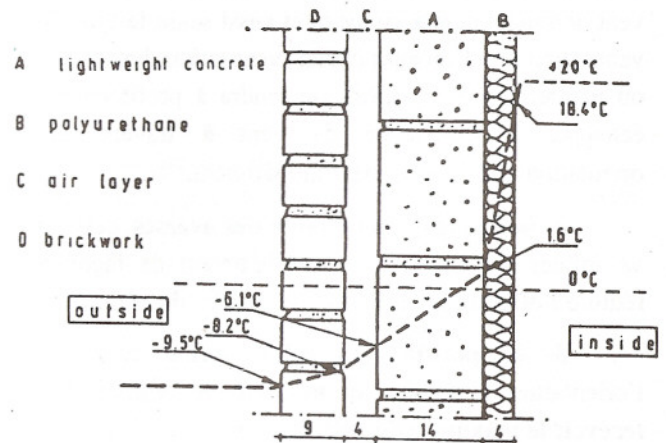


Fig.1b: Mur avec isolant en surface

y est accumulée. Par contre, sous les mêmes conditions et dans le cas d'un mur avec isolation disposée contre la surface interne du local, un refroidissement extérieur se fera ressentir très rapidement à l'intérieur du bâtiment. Ces effets sont inversés quand le bâtiment d'élevage doit être chauffé artificiellement par exemple. Le local isolé en surface et à l'intérieur atteindra plus rapidement la température objective et permettra une meilleure utilisation de l'énergie.

Remarquons que même si les figures 1a et 1b illustrent des locaux installés dans des climats à hiver rigoureux (température extérieure de  $-10^{\circ}\text{C}$ ), l'approche resterait similaire sous climat aride et sub-désertique où les amplitudes thermiques sont élevées.

En pays nordique à climat continental ou tempéré, l'isolation a eu à lutter traditionnellement contre le froid beaucoup plus que contre la chaleur. Par opposition, au Maroc la réflexion sur l'isolation des bâtiments, tout en réservant une attention particulière aux spécificités climatiques des différentes zones du pays, devra s'orienter beaucoup plus vers la lutte contre les radiations solaires et leurs effets sur la température du local.

Théoriquement l'isolation devrait concerner les murs latéraux, la toiture et le plancher. Cependant, uniquement l'isolation des murs et surtout celle de la toiture sont généralement prises en compte de par le monde. Au Maroc l'isolation n'a reçu que très peu

d'intérêt en construction rurale. Dans certains bâtiments surtout rencontrés en production avicole (pondeuses essentiellement) l'isolation de la toiture est réalisée.

## LA FLUCTUATION DE TEMPERATURE ENTRE L'EXTERIEUR ET L'INTERIEUR DES BATIMENTS

L'isolation des parois des murs, plafond et les autres éléments forme une séparation entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. La température extérieure fluctue en entraînant une fluctuation de la température intérieure mais avec un certain retard. Plus la capacité des parois à emmagasiner de la chaleur est grande plus important va être ce retard de fluctuation. Le cas le plus souhaité est que ce délai, appelé phase de changement soit de 12 heures afin de provoquer des variations de températures antagonistes entre l'intérieur et l'extérieur (figure 2).

De manière empirique ce délai a été approché par la formule suivante:

$$F = 0.727 * d * \sqrt{\rho * c} / \lambda$$

F étant la phase de changement en heures

d étant l'épaisseur de la paroi (mur) en mètres

$\rho$  étant la masse volumique de la paroi en  $\text{kg}/\text{m}^3$

c étant la chaleur spécifique de la paroi en  $\text{Kj}/(\text{kg} * \text{K})$

$\lambda$  étant le coefficient de conduction de chaleur de la paroi en  $\text{W}/(\text{m} * \text{K})$ .

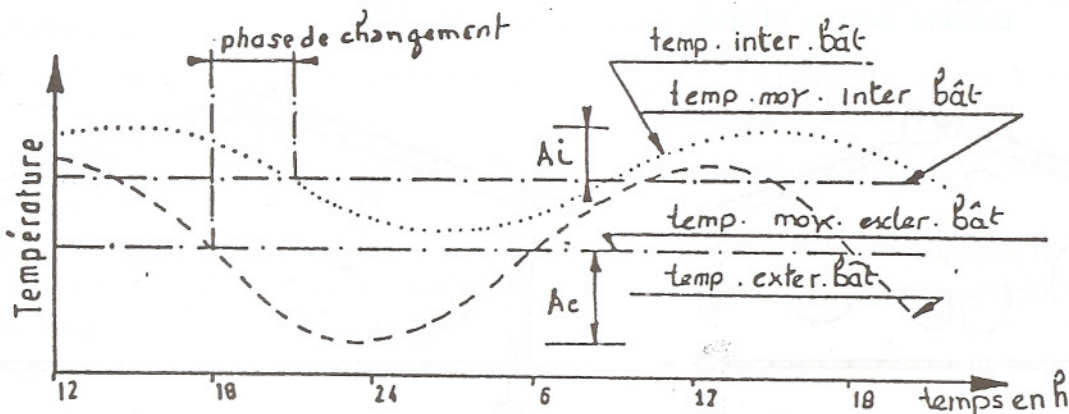


Fig.2: Fluctuation de la température journalière intérieure et extérieure au bâtiment (Maton et al, 1985).

- Ae: amplitude thermique de l'air extérieur

- Ai: amplitude thermique de l'air intérieur

## LA VENTILATION DES BATIMENTS D'ELEVAGE

La ventilation des bâtiments d'élevage a pour rôle :

- ❑ de renouveler l'air vicié
- ❑ d'éliminer les calories excédentaires
- ❑ d'éliminer la vapeur d'eau excédentaire et les gaz toxiques.

La ventilation des locaux peut être réalisée en choisissant entre deux types de ventilation. Premièrement une aération naturelle (figure 3), incertaine, dépendante du climat, de la conception et du dimensionnement des ouvertures au sein du bâtiment (Le Menec, 1987; Souloumiac et Itier, 1989).

Deuxièmement, une aération mécanique, dynamique ou artificielle qui procure une ventilation régulière et sûre avec deux variantes.

Les variantes de la ventilation mécanique sont: la ventilation avec mise en surpression du local et la ventilation avec mise en dépression du local (figure 4a et 4b). En ventilation mécanique, l'on recommande (Maton et al, 1985) les valeurs maximales d'aération suivantes:

- ❑ 0.5 m<sup>3</sup>/h/kg de poids vif pour les bovins
- ❑ 4 m<sup>3</sup>/h/kg de poids vif pour la volaille

Selon le type d'élevage, la densité d'élevage, le type de gestion des déjections animales et le climat général du lieu l'on optera pour l'un ou l'autre type de ventilation. On dimensionnera aussi, le volume de ventilation pour la saison hivernale et la saison estivale tout en restant en dessous des valeurs maximales d'aération.

En général en élevage de type avicole et surtout pour les densités d'élevage élevées et les systèmes de gestion des déjections à fort potentiel fermentaire (pas

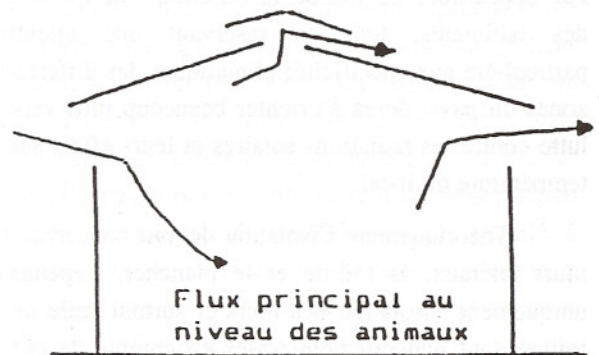
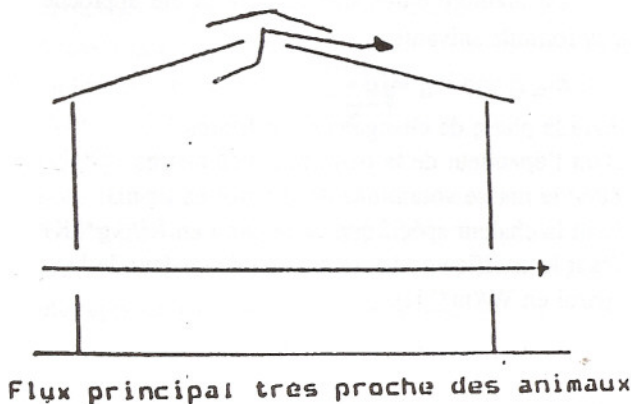


Fig.3: Disposition des ouvertures et direction des flux en ventilation naturelle en bâtiment avicole (d'après Charles et Spencer, 1976).

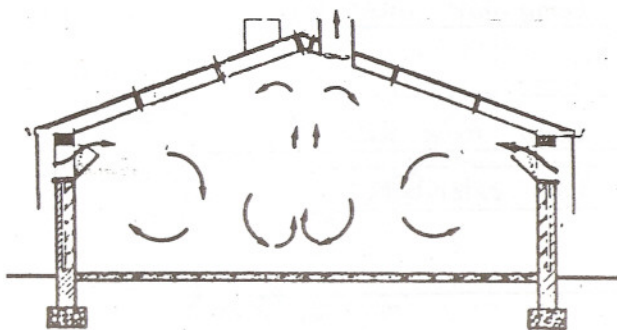


Fig.4a: Ventilation en sous-pression

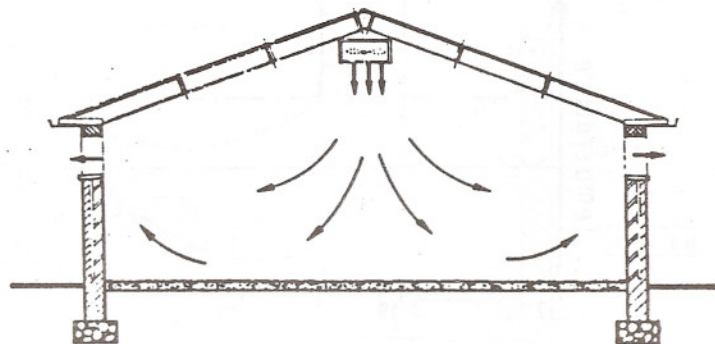


Fig.4b: Ventilation en sur-pression

d'utilisation de litière et accumulation de fientes en fosse sous-jacente) la ventilation dynamique sera choisie. Par contre dans le cas d'élevage intéressant le gros bétail on tendra plus vers une ventilation naturelle.

Enfin, une fois le type de ventilation choisi, différentes dispositions existent. Chacune d'entre-elles présente ses spécificités propres.

## CONCLUSION

En conclusion nous retiendrons premièrement que les besoins en ambiance intérieure sont différents d'une espèce animale à l'autre. Aussi, la construction

de bâtiments d'élevage, en tenant compte des spécificités climatiques du lieu d'une part et des choix techniques relevant de la gestion future de cet élevage, nécessite une attention et une planification judicieuse.

A l'échelle nationale, une stratégie basée sur des constructions agricoles adaptées aux différentes zones climatiques permettraient d'éviter les investissements superflus et aussi tirer le meilleur profit du cheptel national. A l'échelle de l'éleveur maintenant, l'investissement dans l'étude du bâtiment à construire se trouve justifier directement par les économies que cela permet sur les coûts des réalisations et par conséquent sur la marge faite dans les opérations d'élevage futures.

## REFERENCES

- Baoubaou M, 1993: Contribution à la caractérisation des bâtiments et équipements avicoles dans la région de Rabat Témara. Mémoire de troisième cycle, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. Rabat-Maroc.
- Buffington D.E and Skinner T.C, 1980: Solar Radiation and Wind Effects as Functions of Building Orientation. In Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 1980 . 0001-2351/802306. p 1482
- Charles D.R and Spencer P.G, 1976: The climatic environment of poultry houses. Bulletin 212, Agricultural development and Advisory Service, Ministry of Agriculture Fisheries and Food. pp 23-41.
- C.P.A.Q, 1979: Aspects Génie rural des batisses d'élevage. Principes fondamentaux en production animale. Conseil des Productions animales du Québec. ISBN 2-551-03304-7.
- El hadidi Y, 1990: Mechanisation of poultry farms. PhD thesis in Agricultural Mechanization, Mansoura University. Egypt.
- Gerald R and Bodman P.E, 1984: Non-mechanical ventilation - designing for function. In Proceedings of the Second National Dairy Housing Conference, 1983 Madison, Wisconsin. Published by the ASAE, 2950 Niles Road. St Joseph, Michigan 49085.
- Le Menec M, 1987: La maîtrise de l'ambiance dans les bâtiments avicoles. Essai de définition des normes applicables aux poulaillers 1ère et 2ème parties. Bulletin d'information, Station expérimentale d'aviculture de Ploufragan, Vol 27, n° 1-2-3 (1987) pp 43-87.
- MARA, 1975: Guide technique de la production du poulet de chair. Le vulgarisateur numéro de Sept/Oct 1975. DEVARA/MARA, Maroc. p 28-32.
- Maton.A, Daelemans.J, Lambrecht.J, 1985: Housing of animals Construction and equipment of animal houses. Elsevier Science Publishers B.V., 1985.
- Souloumiac.D and Itier.B, 1989: Equilibre thermohydrigue d'un bâtiment d'élevage - Conséquences sur la géométrie des ouvrants. Proceedings of the eleventh international congress on agricultural engineering/Dublin/4-8 Sept 1989. Volume 2, Agricultural buildings.

# CONDUITE ET BATIMENTS D'ELEVAGE : STRESS CLIMATIQUE ET PRODUCTION

Par R. Zine-Filali et A.Guerouali

## INTRODUCTION

Le Maroc, vu sa position géographique, présente différents étages de climat: continental, désertique, méditerranéen et océanique. En été, le climat est très chaud et sec dans la majeure partie du pays.

L'élevage constitue un secteur très important dans l'économie agricole du pays; et la majorité des troupeaux sont élevés en extensif, vivant essentiellement sur les parcours, forêts et chaumes. Ils sont soumis aux aléas climatiques et la productivité moyenne demeure généralement faible.

Le climat chaud et sec de l'été entraîne deux effets sur les performances zootechniques des ruminants. Un effet lié à l'alimentation, les aliments disponibles pendant l'été sont le plus souvent fortement celluloseux et de faible valeur alimentaire; et un effet lié à l'animal, les potentialités physiologiques sont dérivées en partie vers la lutte contre la chaleur.

L'intensification de l'élevage dans certaines régions et l'amélioration des races dans les régions éloignées de leur lieu d'origine, imposent des mesures d'amélioration de la conduite d'élevage pour alléger l'effet du climat sur les potentialités physiologiques et zootechniques des ruminants. Une ambiance est chaude quand les animaux gagnent de la chaleur et soit cherchent à l'éviter soit utilisent des mécanismes de rafraîchissement: Le stockage de la chaleur est un stress entraînant un effort physiologique. Les aspects

physiques à chercher dans les bâtiments des zones chaudes sont: la réduction du stockage de chaleur, l'utilisation de surfaces réfléchissantes, la protection de l'énergie rayonnante, l'augmentation du mouvement de l'air, des toits hauts et des animaux bien espacés.

Dans ce document, nous allons passer en revue les mécanismes physiologiques par lesquelles les animaux de production maintiennent une température corporelle constante dans des conditions climatiques très sévères; ainsi que l'impact que peuvent avoir ces facteurs physiologiques sur les systèmes de production. Par la même occasion, nous allons essayer de discuter les bases rationnelles pour une compréhension des observations empiriques qui disent que la productivité est supprimée pendant les extrêmes climatiques. Ce n'est que parce que l'homme a modifié son environnement que de telles études sont nécessaires: nous pouvons supposer qu'à travers la sélection naturelle, un animal peut survivre et produire. Cependant, si l'homme modifie l'environnement, ou utilise des systèmes de sélection, l'équilibre entre un animal et son environnement est perturbé et les systèmes de production souffrent des conséquences. Il y a quarante ans ce fait n'était pas reconnu universellement et il y avait des tentatives d'utiliser les parcours pour des animaux de production élevée. Quand il a été réalisé que leur potentiel génétique ne pourrait pas être atteint, des programmes de recherches ont été institués pour montrer les causes fondamentales de ces échecs. Ce type de recherches mène à une compréhension du besoin de construire

des bâtiments adéquats pour une production animale efficace de même que d'autres méthodes pour alléger l'effet défavorable de l'environnement, particulièrement l'environnement thermique, sur la production animale.

## EQUILIBRE ENERGETIQUE

La production, qu'elle soit gestation, allaitement, croissance ou production de laine, comprend les processus de transfert d'énergie impliqués dans l'anabolisme et le catabolisme. Dans un processus productif, les réactions anaboliques excèdent celles cataboliques. L'énergie pour le métabolisme est fournie par la ration alimentaire, c'est l'énergie brute ingérée.

L'énergie brute d'un aliment correspond à son contenu énergétique total mesuré à la bombe calorimétrique ou évalué d'après sa composition et la chaleur de combustion de ces composantes. L'énergie brute caractérise imparfaitement la valeur énergétique de l'aliment puisqu'elle ne tient pas compte des pertes qui ont lieu lors de l'utilisation de cette énergie par l'animal, donc il n'existe qu'une faible relation entre l'énergie brute d'un aliment et sa valeur énergétique chez l'animal.

Au cours de leur utilisation par les animaux, les aliments subissent de nombreuses transformations dans l'appareil digestif et dans les tissus. Ils sont dégradés progressivement et chaque étape se traduit par des pertes d'énergie très variables selon les aliments une partie des constituants organiques des aliments n'est pas digérée et est excrétée dans les fèces. Les pertes dans les fèces sont relativement faibles (de 12 à 25 p.100) pour les céréales qui contiennent beaucoup d'amidon, mais importantes dans le cas de fourrages (de 20 à 50 p.100), d'autant plus qu'ils sont plus âgés et plus lignifiés.

L'énergie digestible est la différence entre l'énergie brute contenue dans l'aliment et l'énergie excrétée dans les fèces. La digestibilité de l'énergie est le rapport entre l'énergie digestible et l'énergie brute de l'aliment. La digestibilité constitue le principal facteur de variation de la valeur énergétique des aliments.

Toute l'énergie digérée n'est pas disponible entièrement pour l'animal: une partie est perdue dans les urines et chez les ruminants une partie est perdue en chaleur et sous forme de méthane lors du processus de fermentation dans le tube digestif. Si ces pertes sont retranchées de l'énergie digestible, une mesure de l'énergie apparemment utilisable par les tissus de l'organisme est obtenue. Celle-ci est habituellement appelée énergie métabolisable, et est disponible pour fournir de l'énergie pour les besoins d'entretien. Les besoins d'entretien comprennent toute l'énergie nécessaire pour un animal au repos et à jeun (métabolisme basal), plus celle associée avec l'activité physique et la prise alimentaire. Toute énergie métabolisable excédent au besoin d'entretien est disponible pour les processus de production. Si l'énergie métabolisable est insuffisante pour l'entretien, l'animal compensera le déficit par oxydation de ses propres tissus corporels. Le processus productif, qu'il soit lait, viande, etc., a une valeur calorifique et par conséquent est une forme d'énergie stockée ou retenue. D'une manière grossière, l'efficacité de production peut être définie comme le rapport de la valeur calorifique du tissu synthétisé sur la valeur calorifique de l'aliment ingéré. La valeur calorifique du gain de poids augmente avec l'âge parce que la croissance juvénile comprend généralement plus d'eau, de protéine et d'os, et moins de graisse que fait la croissance à un âge avancé. Ceci fournit un bon exemple des limitations de l'utilisation du gain de poids comme évaluation de la productivité, et met en relief le fait de considérer la productivité en terme de la quantité d'énergie retenue. Cette énergie retenue peut être supprimée dans trois cas:

1- Par la réduction de l'énergie brute. Ceci peut être observé à la suite d'une diminution d'appétit ou de la qualité de l'aliment ingéré.

2- Par la réduction de la digestibilité. Chez les herbivores, un transit ralenti à travers le tube digestif est essentiel pour une fermentation efficace. Tout facteur qui augmente la vitesse de passage des aliments tend à diminuer la digestibilité et vice versa. Il a été démontré qu'une augmentation de la sécrétion d'hormone thyroïdienne réduira le temps de rétention et la digestibilité. Ainsi, tout changement de l'état des

hormones thyroïdiennes, indépendamment de leurs actions sur l'appétit ou le métabolisme intermédiaire, sera suivi par des altérations de la digestibilité.

3- Par tout facteur qui élève les besoins d'entretien, et réduira la proportion d'énergie brute disponible pour les besoins de production. L'efficacité de la conversion alimentaire sera, par conséquent, réduite. L'appétit peut ou ne peut pas être stimulé pour compenser l'élévation des besoins d'entretien; mais ceci ne va pas consoler le producteur parce qu'il paiera plus pour moins; une forme d'inflation!

### III- EQUILIBRE THERMIQUE

Le but de la régulation thermique est de maintenir un niveau thermique corporel constant, grâce à un équilibre entre la production de chaleur et sa déperdition, malgré les variations des conditions intérieures (activité musculaire plus ou moins grande) et celles climatiques.

Dans des conditions environnementales contrôlées, l'équilibre thermique peut être atteint, mais sous des conditions de parcours, les échanges de chaleur ne sont jamais constants et l'équilibre thermique d'un animal fluctuerait d'une manière constante.

### IV- EXPOSITION AU FROID

#### 4-1 Production de chaleur

La production de chaleur augmente avec l'activité et avec le niveau d'alimentation. L'augmentation du métabolisme associée aux différents niveaux d'alimentation est une fonction non seulement de la quantité, mais également de la qualité de la ration: avec la qualité la plus médiocre l'augmentation de chaleur est la plus élevée. Les deux sources de chaleur-alimentation et exercice, peuvent substituer pour la thermogénèse de froid. Chez le nouveau-né des différentes espèces, y compris l'homme, l'oxydation du tissu adipeux brun est une source de chaleur qui peut être combinée avec la thermogénèse de frisson. La proportion de la thermogénèse au froid originaire du catabolisme du tissu adipeux brun varie avec les espèces, en générale plus significative chez les plus petits (ovins) que chez

les grandes espèces, telles que les bovins. Chez les grands ruminants la thermogénèse de frisson remplace presque complètement l'oxydation du tissu adipeux brun. Le frisson peut être considéré comme une forme d'exercice ou il n'y a aucun travail externe réalisé, et est associé avec une augmentation du débit sanguin aux muscles pendant le frisson. Cependant, le degré d'utilisation des lipides dépend du niveau d'alimentation et qu'à des niveaux élevés de prise alimentaire, la quantité de lipide qui est oxydée est beaucoup moindre. Il existe une forte évidence que les lipides fournissent la principale source d'énergie pendant l'exposition au froid; de même, il est à remarquer que le catabolisme des lipides, particulièrement chez les animaux à faible prise énergétique, prend place sans le développement d'acétose. La conséquence de l'élévation du métabolisme pendant l'exposition au froid est que moins d'énergie métabolisable disponible pour l'animal est retenue pour les besoins de production.

#### 4-2 Prise alimentaire, digestibilité et temps de rétention

La réduction de l'efficacité de production induite par des températures ambiantes au dessous de la température critique inférieure est associée avec une réduction de la digestibilité. Les variations de la fonction digestive sont indépendantes des variations de la prise alimentaire, et sont le résultat d'une diminution du temps de rétention associé avec une augmentation de la mobilité gastro-intestinale et du taux de passage des digesta à travers le tractus gastro-intestinal. La digestion maximale chez les herbivores, et particulièrement les ruminants, se produit seulement si le passage d'aliment est soumis à un retard dans les endroits où l'action microbienne prend place. Le mécanisme par lequel l'exposition au froid influence la vitesse de passage implique la glande thyroïde. Le froid réduit le temps de rétention, baisse la digestibilité et stimule la sécrétion hormonale.

#### 4-3 Lactation

Le froid diminue la production laitière. Cette diminution est le résultat de la combinaison de deux mécanismes, un est endocrinien, affecte la sécrétion

alors que l'autre entraîne une réduction du débit sanguin de la glande mammaire. Le candidat le plus probable pour l'effet hormonal sera la prolactine, dont la sécrétion est supprimée par le froid.

## V- EFFET DE LA CHALEUR

La zone thermoneutre comprend la région de la perte de chaleur évaporative élevée et suggère que la température corporelle restera constante jusqu'à ce que le gain de chaleur dépasse la perte de chaleur évaporative; la température corporelle augmentera et un nouveau équilibre est établi. En réalité, ceci se produit rarement, et une augmentation de la température corporelle (stockage positif de la chaleur) prend place souvent avec l'augmentation de la perte de chaleur évaporative. L'augmentation du stockage de la chaleur est une caractéristique de la réponse thermorégulatrice à des températures élevées pendant la deshydratation: au cours de la période de 24 heures, la chaleur stockée pendant le jour peut être dissipée pendant la nuit. Cependant, une augmentation de la température rectale augmentera le métabolisme et réduira la quantité d'énergie retenue.

### 5-1 Prise alimentaire, temps de rétention et Digestibilité

Le niveau de la prise alimentaire est directement lié au niveau du métabolisme thermoneutre. Il est évident, par la suite, qu'une réduction de la prise alimentaire est une partie de la réponse physiologique à des charges de chaleur élevée et que les espèces qui tolèrent la chaleur réduisent leur prise alimentaire moins que celles qui sont adaptées à des conditions tempérées. Les animaux avec une productivité élevée, que ce soit en viande ou en lait, présentent un taux métabolique thermoneutre relativement élevé et sont par conséquent mal adaptés aux conditions chaudes. Ils réduisent également leur prise alimentaire d'une manière beaucoup plus importante que les animaux adaptés à la chaleur et qui produisent et qui sont de faibles producteurs. La réduction de la prise alimentaire représente le mécanisme principal pour la suppression de la productivité sous des conditions chaudes. Le stimulus pour la réduction de la prise alimentaire n'est pas encore identifié, et il n'est pas encore connu si

l'exposition à la chaleur par exemple, sans augmentation de la température corporelle ou hyperthermie, est nécessaire pour la suppression de la prise alimentaire. Pour prévoir les effets de l'exposition à la chaleur sur la suppression de la productivité, ce type d'information est essentiel. Dans quelques modèles reliant la prise d'énergie et la charge de chaleur, une relation inverse entre la prise d'énergie et la température rectale est assumée.

Chez les bovins et ovins, l'exposition à la chaleur produit une légère augmentation de la digestibilité, et le temps de rétention est réduit par la chaleur, peut être comme une fonction de la baisse du taux de sécrétion de la thyroïde. L'augmentation de la digestibilité est faible et parfois à un niveau faible de signification et ne compense pas la baisse de la prise alimentaire.

Les bovins avec leur taux de renouvellement d'eau élevé, préfèrent les aliments humides. Ils ont un museau humide avec des glandes de type salivaires sécrétant un fluide riche en potassium sous l'influence d'acétylcholine. La peau du museau est protégée par un fluide muqueux. Les ovins et les dromadaires qui mangent des aliments secs possèdent des museaux couverts de poils fins et ne possèdent pas de glandes salivaires externes.

L'humidité dans les bâtiments et la quantité et le type d'excrément rejetés sont affectés par la vitesse de renouvellement d'eau. La vapeur d'eau quitte l'animal via le tractus respiratoire, par diffusion à travers la peau et par sudation. En plus, l'eau des urines et fécès s'évapore quand l'ambiance est chaude, augmentant l'humidité du bâtiment. Le partage de l'eau éliminée en eau respiratoire, cutanée, urinaire et fécale diffère avec les espèces et la température ambiante. Les bovins présentent un taux élevé de renouvellement d'eau, et à des températures élevées ils perdent de l'eau par voie respiratoire et par sudation, de même qu'une grande quantité d'eau est perdue à travers les urines et les fécès qui contiennent jusqu'à 80% d'eau. Les ovins présentent plus de perte d'eau par voie respiratoire que par sudation, et lors de la chaleur, l'eau fécale et urinaire est rapidement réduite. Par conséquent, la quantité d'urine et le type de fécès éliminés influencent le plan des bâtiments.

## 5-2 Equilibre thermique dans un environnement rayonnant

Dans les zones chaudes, l'environnement thermique ne peut pas être décrit en termes de la température ambiante seule, la chaleur rayonnante constitue une part très importante dans l'équilibre thermique. L'ampleur de la charge solaire dépend de la surface exposée, l'heure de la journée et la période de l'année, la couleur de la peau de l'animal et de la réflexion du sol. Les robes de couleurs claires réfléchissent plus les rayons solaires que les robes sombres. Le coût énergétique de pâturage et les élévations de chaleur liées à l'alimentation doivent être ajoutés pour fournir l'information sur l'animal productif.

Les couleurs de peaux et toisons sont très importantes pour sélectionner un animal à vivre dans un environnement donné. Dans les climats chauds, les poils sont courts et brillants pour réfléchir l'énergie solaire. Quelle que soit la couleur, les peaux possèdent des propriétés similaires pour les longueurs d'onde au-dessus de  $1\mu\text{m}$  puisqu'elles agissent toutes presque comme des corps noirs; mais dans le visible, la couleur et la structure de la peau est importante. Dans l'intervalle de longueur d'onde entre  $0,4$  et  $1\mu\text{m}$  l'énergie est réfléchiée par les poils brillants et est absorbée en grande proportion par les poils frisés et mats. A l'intérieur des bâtiments, le rayonnement majeur est dans l'intervalle de la longueur d'onde longue (thermique), venant du toit et du sol, qui peuvent atteindre  $50-70^\circ\text{C}$  pendant les périodes chaudes. La couleur de la robe, ainsi, fait peu de différence à l'absorption de chaleur, mais les propriétés isolantes de la robe vont influencer la charge de chaleur. Dans les régions chaudes, et pour les bâtiments d'élevage, il est préférable de sélectionner les animaux à poils courts. Ce type de robe peut augmenter l'efficacité des animaux.

A l'intérieur des bâtiments, l'énergie rayonnante est échangée entre les animaux eux mêmes et leur entourage. Par conséquent, l'espacement des animaux est très important puisqu'il influence les pertes de chaleur par rayonnement, convection, et

évaporation. Le groupement des animaux dans les bâtiments chauds est un handicap pour la dissipation de chaleur. Pour que la sudation soit efficace chez les animaux abrités dans les régions chaudes, il est nécessaire d'avoir un débit d'air insaturé circulant librement. Pour cette raison, les bâtiments conçus pour les régions chaudes à ciel découvert doivent être sans murs et à toits hauts. Les animaux peuvent ainsi rayonner de la chaleur vers l'espace. L'élévation des toits permet à l'air chaud et humide de monter au-dessus des animaux, et réduit le rayonnement à partir du toit. Dans le cas des régions où le ciel est constamment couvert de nuages, les toits hauts et sans murs n'ont pas d'avantage, puisque les nuages réfléchissent l'énergie solaire à l'intérieur des bâtiments.

La taille affecte également le rafraîchissement évaporatif des animaux. Ainsi, la sudation domine chez les grands animaux ; et les bovins et les dromadaires dépendent beaucoup plus sur la sudation que les petits ruminants qui eux utilisent le rafraîchissement respiratoire. Chez les bovins, La sudation peut atteindre jusqu'à  $600\text{ml}/\text{m}^2/\text{h}$ . Cette quantité d'eau évaporée ajoutée à celle due au halètement peut produire de la vapeur un taux de  $6\text{kg}/\text{h}$ . Pendant les six heures les plus chaudes de la journée, plus de 30 litres d'eau peuvent être évaporés. L'élimination d'eau à travers les urines et les fécès peut être au moins de la même valeur et dont une partie peut être évaporée. De cette manière, chaque animal peut ajouter à peu près 7 litres d'eau par heure à l'air qui l'entoure. Ceci est un paramètre essentiel qui doit être considéré lors des calculs des niveaux de convection nécessaires dans les bâtiments d'élevage.

Pendant l'été, une toison hivernale résiduelle chez les dromadaires et la toison des ovins rend la sudation moins efficace. Mais sous le soleil, les ovins tondu deviennent hyperchauffés avec la pénétration des rayonnements à travers la peau. Cependant, à l'ombre, ces ovins présentent l'avantage de mieux dissiper la chaleur. Les ovins élevés en intensif dans des bâtiments se comportent et se portent mieux dans un climat chaud quand ils sont tondu parce que le gain de chaleur par rayonnement est faible et l'évaporation est plus efficace.

## VI- CONCLUSION

Les animaux trouvent leur confort thermique et fonctionnent d'une manière plus efficace non loin de leur zone thermoneutre. Les animaux se développent mieux, et introduisent plus s'ils sont sélectionnés pour la tolérance de la chaleur. L'écophysiologie simple de chaque espèce détermine la quantité de chaleur, d'eau, d'excréta éliminés dans l'environnement de l'animal. La petite taille, le jeune âge, la lactation, tous réduisent l'intervalle thermique pour une production efficace à cause de la production élevée de chaleur et la demande d'eau et d'aliment en excès.

Il est évident que différentes pratiques de gestion peuvent alléger la charge thermique sur un animal; le pâturage de nuit permet aux animaux ne tolérant pas la chaleur de dissiper facilement les augmentations de chaleur de l'alimentation et du pâturage. La disponibilité de l'ombre réduira la charge de chaleur solaire directe. L'utilisation de la pulvérisation d'eau est une pratique qui augmente la perte de chaleur par évaporation et par conséquent améliore la tolérance à la chaleur.

Avec une plus grande compréhension de l'interaction entre le métabolisme énergétique et

l'échange thermique, nous pourrions prévoir les facteurs de l'environnement limitants la productivité et améliorer l'utilisation alimentaire par les animaux. Une interaction avec les agronomes qui travaillent pour le même but en terme de productivité primaire, permettra une approche à la productivité animale qui n'est plus empirique mais basée sur les premiers principes.

Les bâtiments d'élevage présentent des avantages comme la réduction de stress de chaleur imposé aux animaux. Ils permettent de mieux contrôler la quantité et la qualité des aliments distribués. Ils permettent la réduction de la quantité de travail (coût énergétique) qu'un animal peut dépenser pour la sudation, le halètement et le pâturage. Bien sûr, il faut juger tout ceci avec le coût de construction, la main d'oeuvre, l'entretien des bâtiments et des animaux. Le but des bâtiments d'élevage est de réduire les extrêmes environnementaux, qui aboutissent d'une part à une réduction de la prise énergétique et d'autre part entraînent une augmentation des dépenses énergétiques non-productives.

## REFERENCES

- Zine-Filali, R.(1978): Effets des Hautes températures ambiantes sur quelques paramètres physiologiques et biochimiques chez le mouton. Thèse de Doctorat Vétérinaire, IAV. Hassan II, Rabat.
- Zine-Filali, R.(1978): Studies on dehydration and rehydration on the dromedary camel. Thèse de Doctorat es Sciences Agronomiques, IAV. Hassan II, Rabat.
- Macfarlane, W.V.(1968): In The adaptation of domestic Animals, pp. 164-182. Ed.by E.S.E. Hafez. Lea & Febiger Philadelphia.

# UTILISATION DE L'AGROMETEOROLOGIE DANS LES ETUDES DE STOCKAGE DES GRAINS

BARTALI EL HOUSSINE\*

## INTRODUCTION

Le stockage adéquat des denrées agricoles est une partie intégrante de leur processus de production. Dans le cas des céréales, une des denrées stratégiques pour le pays, des efforts soutenus sont déployés par le Maroc pour accroître sa sécurité alimentaire.

Les systèmes de stockage rencontrés au Maroc donnent lieu à des taux de pertes pouvant aller de 10 à 20 % et nécessitent une amélioration de la qualité des techniques employées. La capacité du réseau de stockage des céréales disponible au Maroc exige elle aussi d'être agrandie (Ait El Cadi et al., 1990).

Dans le cadre des activités entreprises pour atteindre ces objectifs, le Ministère de l'Agriculture et de la Mise en Valeur a initié en 1989 un projet de maîtrise des techniques de stockage des céréales et des légumineuses au Maroc (Projet DPV stockage, 1989).

Ce projet qui est exécuté par l'IAV Hassan II avec un financement de la Direction de la Production Végétale vise à améliorer la qualité des systèmes de conservation et évaluer les performances des unités de stockage appropriées au Maroc. Les travaux de ce projet s'articulent sur la station expérimentale de stockage construite en 1989 à Dkhissa dans la plaine céréalière du Sais.

Cette station installée dans une région à climat continental est complétée par une autre station dont dispose l'IAV Hassan II à Rabat afin d'étudier l'effet du climat sur le stockage.

## EFFETS DU CLIMAT SUR LES DENREES STOCKEES

Les paramètres climatiques affectent directement ou indirectement la qualité des denrées stockées. Au Maroc le climat se caractérise par des élévations importantes de température pouvant dépasser 40°C. Celle ci connaît aussi des variations journalières et saisonnières consistantes. Ces phénomènes engendrent des transferts de chaleur et de masse dans les installations de stockage. Afin de préserver la qualité des denrées conservées, il est nécessaire de les protéger des aléas climatiques, des insectes et des microorganismes (BARTALI, 1990)

Les insectes qui infestent le grain sont très sensibles à la température. Leur multiplication est ralentie ou même arrêtée au dessous de 15°C. En général, ils ne survivent pas à des températures dépassant 40°C. Ils se multiplient de façon accélérée autour de 30°C.

Une élévation de température dans un grain conservé peut révéler que le grain est le siège d'une attaque par les insectes tels que les charançons. En effet lorsque les conditions leur sont favorables, les insectes se multiplient dans le grain, respirent et dégagent de la chaleur. Ceci peut être le cas d'un grain comportant une infestation initiale avant conservation et qui est introduit dans un silo métallique et exposé aux fortes chaleurs du mois d'Août. Dans un cas pareil, un traitement chimique du grain par fumigation ou autre s'impose pour arrêter le processus de dégradation.

\* Département du Génie Rural IAV HASSAN II

L'élévation de température peut également renseigner sur la présence d'un foyer de développement de moisissures dans le grain. Ceci peut être le cas d'un grain où se sont installés des gradients thermiques qui engendrent des mouvements d'air des zones chaudes vers les zones froides et qui aboutissent au phénomène de condensation et d'humidification de poches de grain. Dans une telle situation le grain doit être séché pour évacuer cet excès d'humidité.

Un suivi précis des températures qui règnent dans une masse de grain stockée est donc nécessaire pour s'informer sur son état. On doit veiller à ce que la température reste dans une gamme acceptable et que sa distribution au sein du grain stocké reste uniforme.

### CONDITIONS OPTIMALES DE CONSERVATION DES GRAINS

Les zones de températures acceptables sont indiquées sur la figure 1. Les risques d'apparition de dégâts au sein d'un grain conservé sont comme présentés sur cette figure: il s'agit de la détérioration par les insectes. Les moisissures et la germination. La manifestation de ces dégâts est fonction des seuils atteints par deux caractéristiques du grain: sa température et sa teneur en eau.

Le grain est un matériau qui réagit aux conditions atmosphériques environnantes. Sa température est affectée par celle de l'air ambiant et sa teneur en eau atteint une valeur d'équilibre avec le niveau d'humidité relative qu'il y a dans l'air. Les conditions météorologiques peuvent influencer le choix de la date de moisson d'une céréale donnée.

Au Maroc, il convient de signaler que les conditions climatiques prédominantes au moment de la récolte des céréales font que le grain à la récolte se présente avec un taux d'humidité autour de 12 à 13% et une température qui est celle des mois de juin et juillet pouvant dépasser 30 et 40°C. Cette situation implique que le grain en entrant dans les silos présente les conditions favorables à une attaque par les insectes. Celle-ci sera d'autant plus grande que le taux d'infestation qu'a subi le grain lorsqu'il était encore

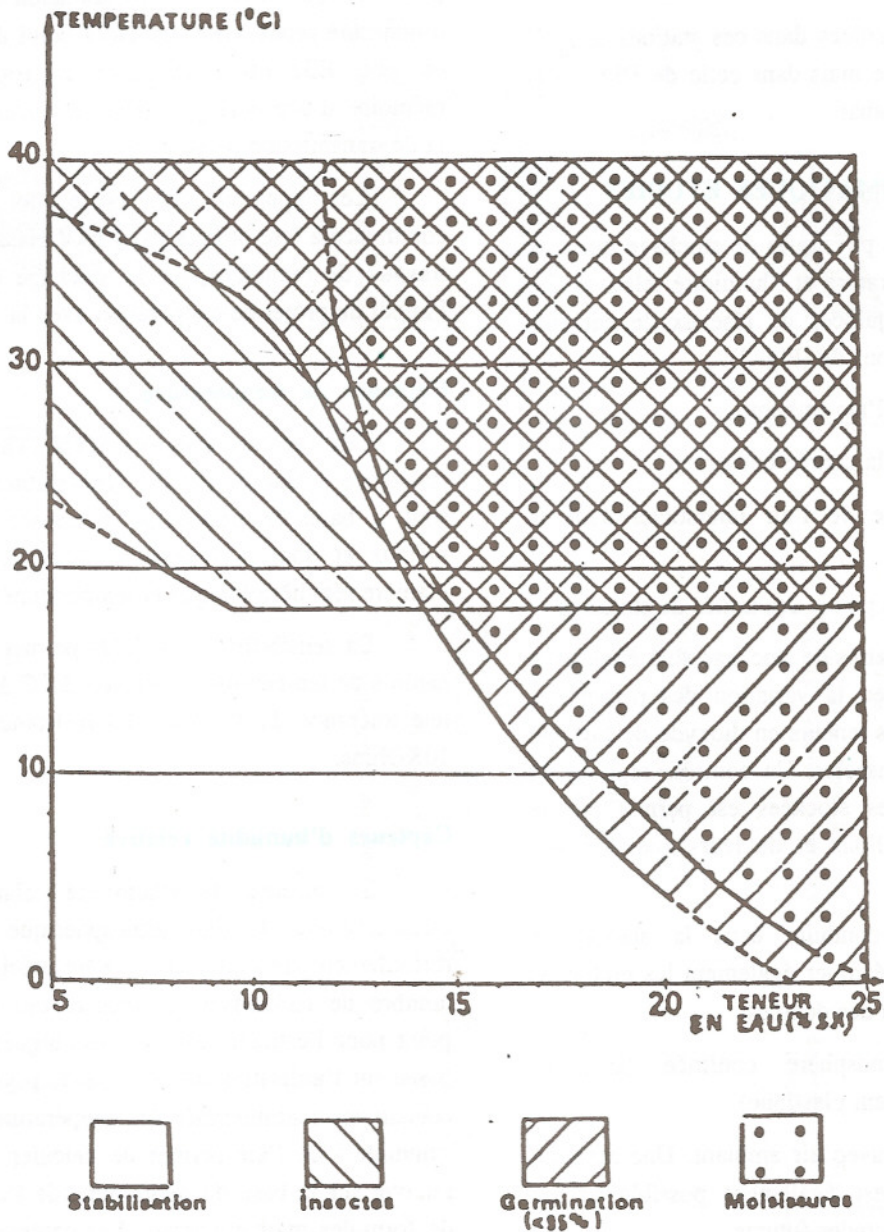
dans le champ est élevé. Pour pouvoir conserver la qualité de ce grain, il sera nécessaire de recourir selon le cas à son traitement chimique et à son refroidissement.

### UNITES PILOTES DE STOCKAGE

Les études conduites pour évaluer les effets des paramètres climatiques sur le stockage nécessitent le travail sur des unités pilotes pour une simulation plus fidèle. Parmi les études de ce genre conduites dans les autres pays, il convient de signaler les stations expérimentales de stockage du Grain Research Laboratory de l'USDA au Kansas, USA et les silos pilotes de l'Institut Technique des Céréales et Fourrages (ITCF) en France.

Les travaux de recherche développement menés par l'IAV Hassan II sur le stockage s'appuient sur deux stations expérimentales (Meknes et Rabat). Celles-ci comportent des unités de stockage pilotes qui servent également de support pour la formation et la vulgarisation (Projet DPV, 1989). Ces unités couvrent les systèmes de stockage traditionnels, le stockage moderne et des alternatives appropriées pour l'emploi de silos en matériaux locaux et le remplacement du stockage en sacs. Les unités suivantes sont installées dans les deux stations:

- Silo métallique en tôle lisse galvanisée de 40 tonnes doté de systèmes de manutention et de ventilation mécaniques.
- Silo en matériaux locaux (argile et paille) de 15 tonnes pouvant constituer une alternative appropriée au stockage chez les agriculteurs (BARTALI et LAMZOURI, 1990). Les parois de ce genre de silo offrent une isolation thermique en faveur du grain stocké (FERTAH, 1992).
- Entrepôts souterrains de 1,5 et 7 tonnes. Les silos souterrains atténuent les variations de température extérieure au niveau de la denrée. Les études menées sur ces entrepôts complètent celles qui ont été conduites par l'IAV Hassan II sur le stockage souterrain du blé dur dans la Chaouia entre 1987 et 1990. (Projet USAID/PSTC, 1987).



**Fig: 1** : Diagramme de la conservation des céréales  
(BURGES et BURREL)

La station de Meknes est dotée en plus :

- D'une unité de stockage en vrac horizontal de 45 tonnes
- D'unités de stockage traditionnel en roseaux.

Les denrées étudiées dans ces stations sont: le blé tendre, l'orge et le maïs dans celle de Dkhissa et l'orge dans celle de Rabat.

## PARAMETRES CLIMATIQUES ETUDIES

Les paramètres physiques de stockage qui sont évalués sont la température et l'humidité relative. Ces deux stations sont équipées de réseaux de capteurs pour suivre les variations de (Fig. 2):

- La température de l'air ambiant,
- La température de la denrée conservée
- L'humidité relative de l'air intersticiel dans la denrée
- La température des parois des unités de stockage

D'autres paramètres de stockage sont également étudiés en liaison avec la variation des paramètres précédents, tels que les teneurs en dioxyde de carbone et les populations d'insectes. Un contrôle régulier de la qualité des denrées stockées est permis par le prélèvement d'échantillons et de leurs analyses aux laboratoires.

La recherche conduite dans la station de Dkhissa se propose d'évaluer également les méthodes suivantes de protection des denrées:

- Stockage en atmosphère confinée (stockage souterrain, revêtement plastique)
- Aération du grain avec air ambiant. Une aération par air réfrigéré est également possible et est envisagée dans les études futures
- Traitement avec des plantes naturelles
- Traitement chimique par fumigation

## EQUIPEMENTS DE MESURE UTILISES

### Unités d'Acquisition de Données

Les capteurs utilisés pour le suivi des variations de température et d'humidité relative sont reliés à des

appareils d'enregistrement appelés UPAD ou Unités Portables d'Acquisition de Données. Ces appareils peuvent fonctionner avec piles ou être reliés au secteur au moyen d'un transformateur. Chaque UPAD peut recevoir 13 ou 14 capteurs selon que le capteur d'humidité relative est associé à celui de température ou pas. Elle est dotée d'un microprocesseur, de mémoire, d'une horloge et des interfaces d'acquisition et de transmission de données.

Ces appareils de saisie de données ont commencé à être utilisés par l'IAV Hassan II pour ses travaux de recherche sur le stockage en 1987 avec l'appui du projet de coopération avec la Belgique.

### Capteurs de température

Ces capteurs sont des CTN (Thermistance ou résistance à Coefficient de Température Négatif). Ils sont à base de céramique composée d'oxydes de métaux et dont la résistance électrique diminue de manière régulière lorsque la température augmente.

La sensibilité de la CTN permet de couvrir la gamme de température suivante: -30 C à +150 C avec une tolérance de +/- 0.2C. La résistance à 25C vaut 10KOhms.

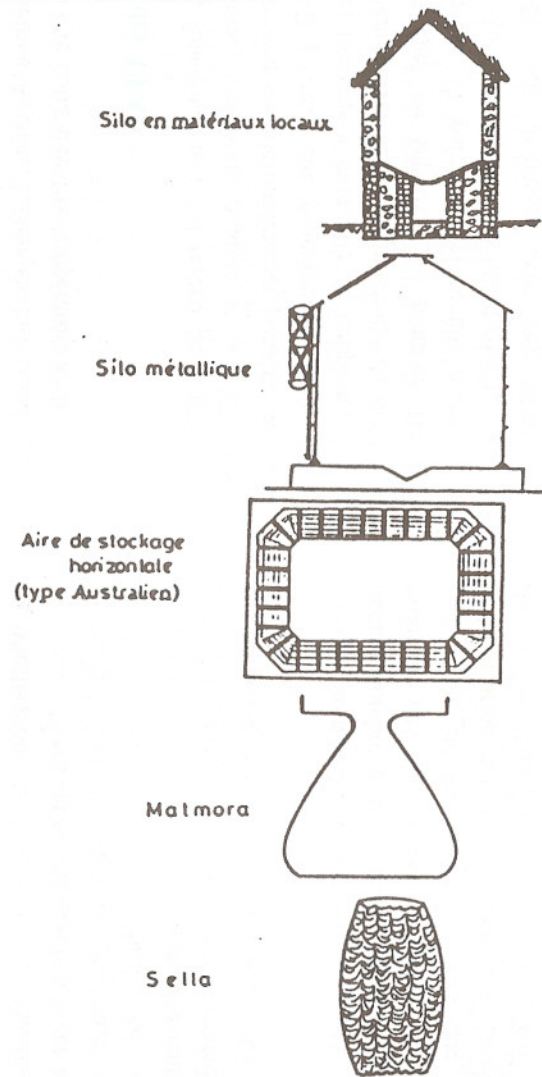
### Capteurs d'humidité relative

La mesure de l'humidité relative est une caractéristique de l'air atmosphérique qui est très difficilement mesurable de manière précise. Un certain nombre de techniques de mesure ont été mises au point pour l'estimer. Une des techniques utilisées est basée sur l'utilisation du principe du psychromètre. La connaissance simultanée des températures "sèche" et "humide" de l'air permet de calculer son humidité relative sur la base du diagramme de l'air humide ou de formules mathématiques. Les capteurs utilisés sur les stations expérimentales de stockage de Dkhissa et de Rabat sont des capteurs Vaissala.

### Etalonnage

Une fois les capteurs branchés sur les UPAD, il faut vérifier les résistances nominales des CTN et comparer les valeurs de température et d'HR données par les capteurs à celles données par d'autres appareils de mesure, L'appareil utilisé à cette fin est le

Fig.2 : Schéma d'acquisition et de traitement des données.



- Mesures manuelles des teneurs en CO<sub>2</sub> et en O<sub>2</sub>.

Capteurs, Nbre: 40  
Pas de mesure: 2 semaines

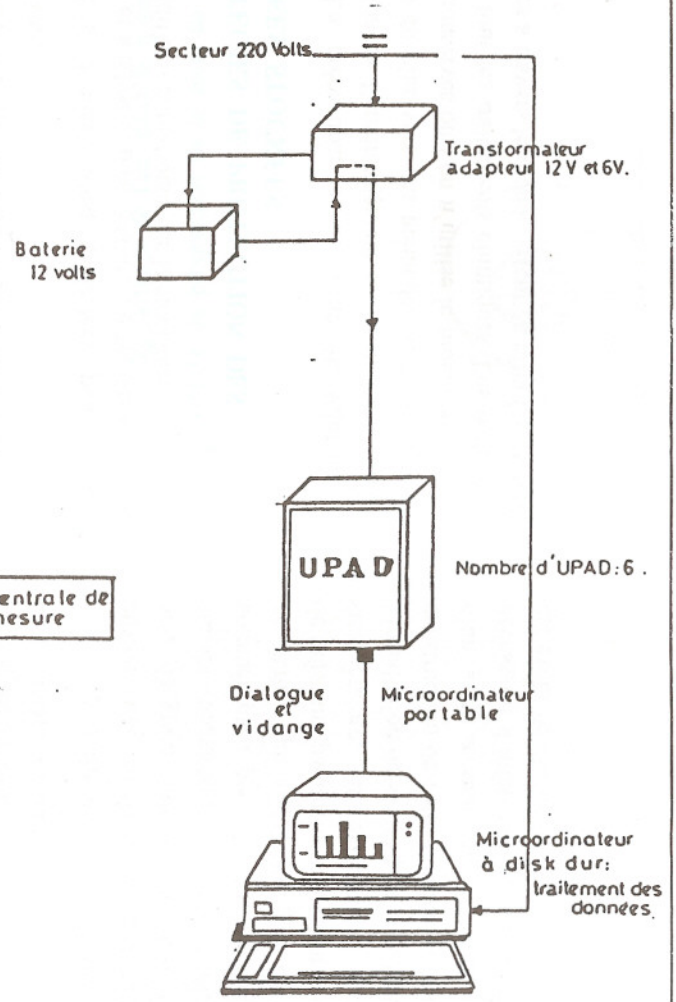
- Analyse d'échantillons par équipe pluridisciplinaire.

Nbre d'échantillons: 40  
fréquences 1 et 3 mois.

- Mesures automatiques de température et d'humidité relative.

Nbre de capteur de T°: 68  
: : : : HR: 6.  
Pas de temps de mesure: 1h.

Centrale de mesure



psychromètre d'Auguste. La température donnée par la CTN doit être comparée à la température sèche

## Gestion des UPAD

Le fonctionnement du réseau des capteurs de températures, d'humidité relative et des UPAD est géré au moyen de microordinateur portable ou autre. Les UPAD peuvent être programmées pour réaliser différentes mesures à intervalle de temps régulier et pour les enregistrer selon un intervalle de temps qui peut être égal ou supérieur au premier. Dans ce deuxième cas, l'appareil enregistre une moyenne de mesures. Un certain nombre de logiciels ont été développés pour dialoguer avec les UPAD. Ils comprennent:

- CHOIX : sélectionne un programme parmi un menu
- INITUPAD : introduit tous les paramètres d'initialisation de l'UPAD à savoir la date et l'heure d'initialisation, l'intervalle de temps de mesure et de stockage de données, le numéro de l'UPAD et le nombre de capteurs branchés.
- DIALOGUE : permet de connaître les paramètres d'initialisation, l'heure de la prochaine mesure et du prochain stockage, ainsi que le nombre de jours pendant lesquels l'UPAD pourra encore stocker les données. Il permet aussi de faire des lectures directes de température et d'humidité relative.
- VIDANGE : assure le transfert des données contenues en mémoire de l'UPAD vers l'ordinateur portable.

Les données ainsi collectées peuvent être traitées et analysées pour évaluer l'effet des variations des conditions climatiques sur le stockage.

## STRATEGIES DE PROTECTION DES DENREES STOCKEES

La préoccupation croissante au sujet de la protection de l'environnement fait que l'on s'oriente de plus en plus vers des méthodes de protection des grains conservés où l'on n'utilise le moins possible ou pas du tout les traitements chimiques. Les recherches actuelles à travers le monde visent en effet à s'abstenir

de l'utilisation de fumigants et d'autres produits chimiques de protection des grains tels que le bromure de méthyl. Les méthodes de protection s'orientent davantage vers la mise à profit des techniques d'aération du grain ou éventuellement d'autres méthodes comme le stockage en atmosphère contrôlée et l'emploi de produits naturels pour lutter contre les ravageurs.

L'emploi des traitements chimiques présente un certain nombre d'inconvénients majeurs à savoir: le problème des résidus dans la denrée, les problèmes liés à un emploi inapproprié tels que le risque d'intoxication pour l'utilisateur et le développement de souches résistantes de ravageurs. Dans le cas du Maroc, l'emploi de produits de fumigation des grains par les organismes stockeurs est à juste titre soumis à un contrôle par les services spécialisés de la DPVCTRF au sein du Ministère de l'Agriculture et de la Mise en Valeur.

## AERATION DES GRAINS

### Rôles de l'aération

L'aération des grains peut être réalisée avec l'air ambiant lorsque les conditions météorologiques le permettent ou avec l'air réfrigéré. Cette dernière méthode nécessite la disponibilité des équipements de réfrigération de l'air et d'une source d'énergie. Lorsque les silos ne sont pas équipés de systèmes d'aération, la technique couramment utilisée au Maroc est le transvasement des grains d'un silo vers un autre pour céder tout ou une partie de la chaleur du grain à l'air pendant son mouvement.

Le grain est un mauvais conducteur de la chaleur. Les variations de température au coeur d'un vrac de grain dans un silo se font toujours avec un certain déphasage et une amplitude relativement atténuée par rapport à celles de l'air extérieur. Le gain de chaleur qui affecte un grain conservé est fonction de plusieurs paramètres notamment ceux liés au climat (température, ensoleillement, vent), au site de l'installation de stockage et à la nature du matériau de construction de cette dernière. Lorsque la température d'un grain a subi une élévation inquiétante, il est nécessaire d'intervenir pour accélérer l'évacuation de cet excès de chaleur.

L'aération consiste à réduire la température du grain à des niveaux suffisamment bas pour :

- ❑ Eviter les dégagements d'eau et de chaleur dans le grain
- ❑ Limiter le développement de la microflore
- ❑ Diminuer la perte de matière sèche des grains en limitant leur activité respiratoire
- ❑ préserver les propriétés technologiques des grains à un niveau proche de celui qu'elles avaient avant stockage.
- ❑ Empêcher les insectes de se reproduire en ramenant la température à un seuil de 12 C (Lasseran et Fleurad-Lessard, 1990).

### Pratique de l'aération

Le refroidissement du grain avec l'air ambiant se base sur le refoulement au sein du grain de l'air atmosphérique lorsque celui-ci est à une température plus faible que celle du grain. Une différence de température de 5 à 7°C entre le grain et l'air est acceptable pour bénéficier des effets de la ventilation.

Si cette différence de température est trop élevée, la ventilation du grain avec un air chargé d'humidité relative peut créer des phénomènes de condensation dans le silo et avec un air sec des phénomènes de surséchage du grain. Si cette différence de température est trop faible, la ventilation ne présente pas d'intérêt avec un air ayant plus de 50% d'humidité relative.

Il convient donc de suivre les variations de température et d'humidité relative de l'air ambiant pour déceler les périodes propices pour la ventilation (Smith et Gough, 1990). Ces périodes se situent généralement la nuit en particulier pendant la saison d'été. Des capteurs de température doivent être installés à ce effet autour de l'enceinte de stockage et à l'intérieur du grain pour enregistrer les variations de ce paramètre. C'est ce qui est pratiqué dans les stations expérimentales de Dkhissa et de l'IAV Hassan II.

A l'aide de ventilateur, l'air frais est introduit dans le grain généralement à partir de la base et remonte vers la surface en poussant un front de chaleur en dehors du silo (Rahaoui 1992) (Fig. 3).

**Fig. 3 : Principe schématisé de la ventilation**

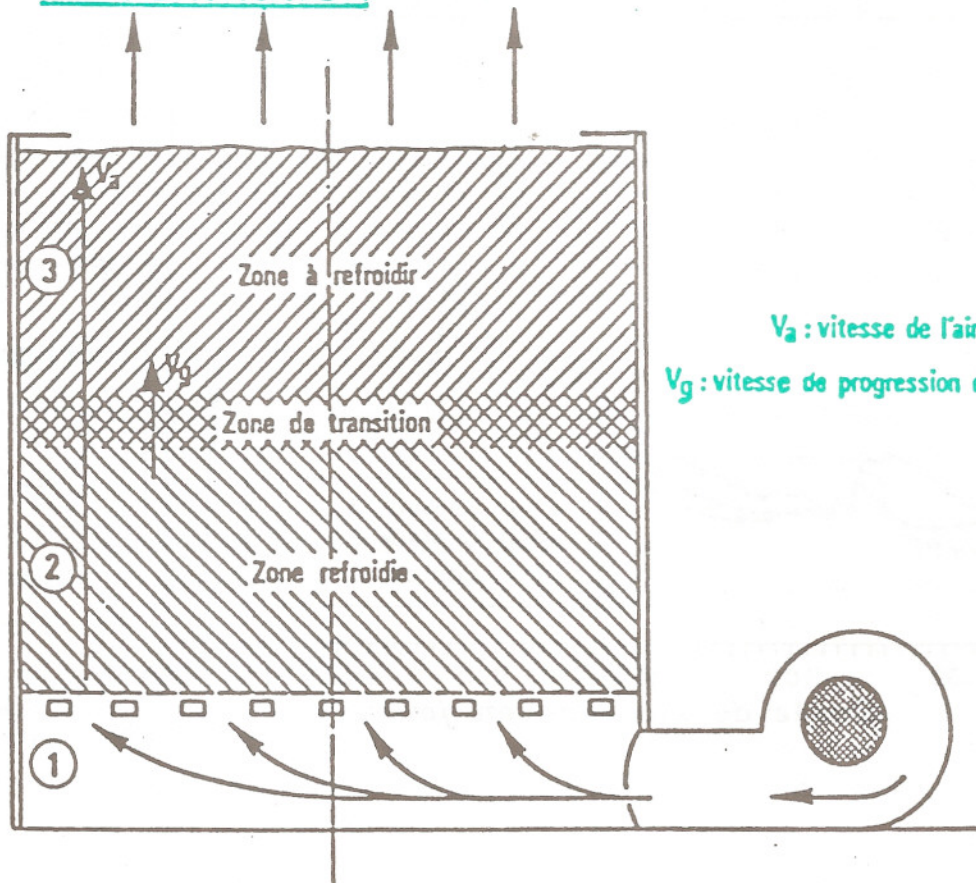


Fig.4: **SILO METALLIQUE**  
Gradient horizontal de température

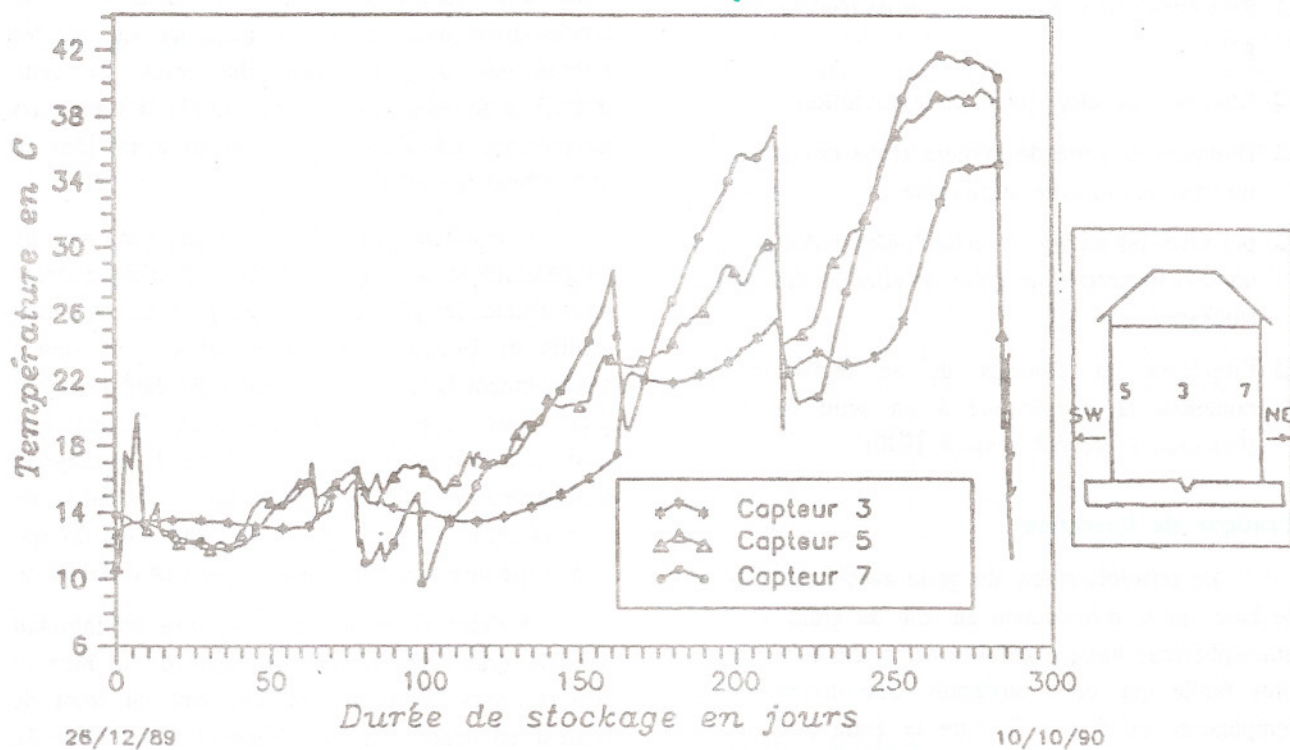
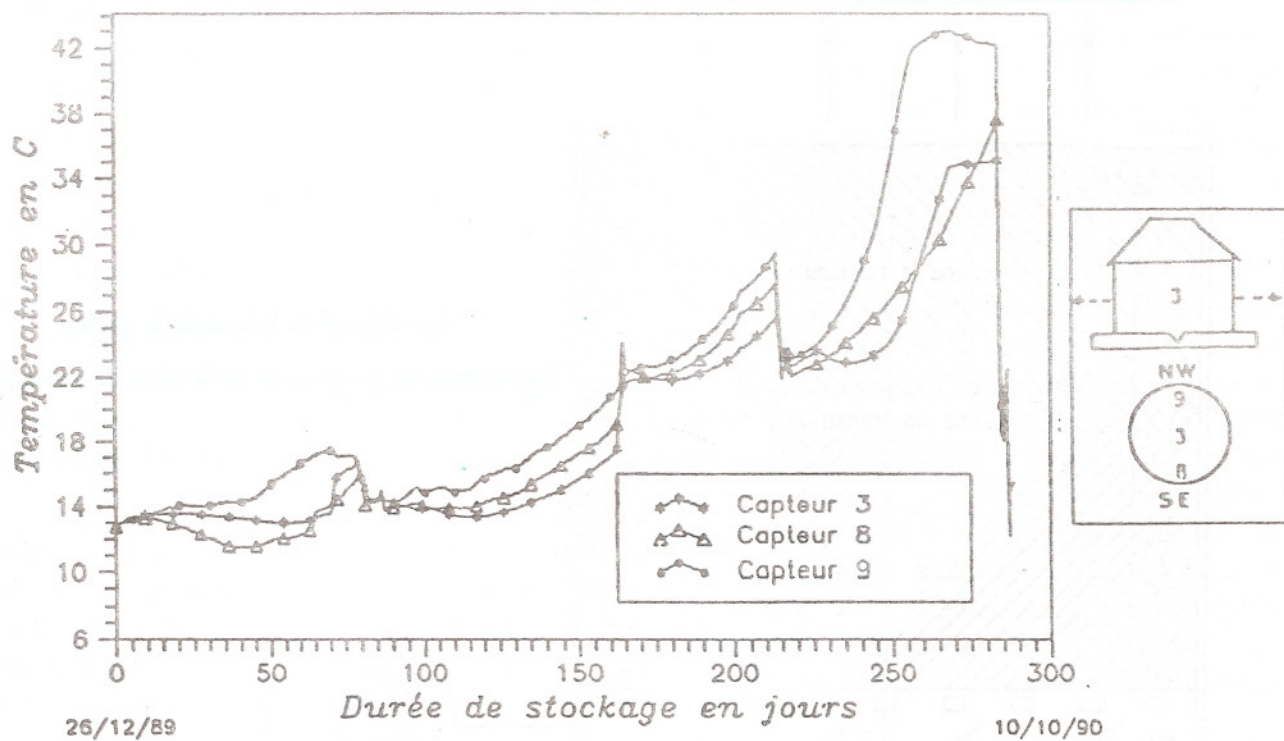


Fig.5: **SILO METALLIQUE**  
Gradient horizontal de température



L'opération de ventilation ne doit pas être incomplète et doit se continuer même par étapes jusqu'à l'élimination totale du front de chaleur; Dans le cas contraire, la ventilation finit par accumuler la chaleur dans une région donnée du grain et aboutit à l'effet inverse: la dégradation du produit par échauffement. Elle peut se réaliser en étapes lorsque les basses températures de l'air extérieur ne durent pas longtemps.

Les opérations de ventilation des grains assurent des baisses de températures de ces derniers (Bachraoui et El Alami, 1991). Ces baisses correspondent à des chutes sur les diagrammes d'enregistrement de températures (Fig. 4 et 5).

## PERSPECTIVES

La maîtrise de la variation des paramètres agrométéorologiques est une opération qu'il convient de généraliser et d'approfondir pour:

- Permettre une meilleure gestion des installations de stockage actuelles et futures. Au Maroc, il y a lieu de noter que les projets d'installations nouvelles de stockage ou les projets de rénovation d'anciens silos comprennent tous une partie silothermométrie pour mieux suivre la qualité des grains. La consommation de l'énergie électrique en vue de l'aération du grain nécessite d'être rationalisée en particulier lorsque les ressources de l'état pour cette source d'énergie sont limitées. Une meilleure connaissance des variations des paramètres du climat permettrait d'atteindre cet objectif. Un organisme de stockage qui gère un certain nombre d'unités installées à différents endroits pourra

centraliser par les voix de communications téléphoniques des données sur l'état de température des denrées conservées et les données météorologiques correspondant au site de chaque unité. Un meilleur encadrement des services de vulgarisation pour les différents intervenants dans l'acte de stockage du grain (traditionnel et moderne) pourra être attendu si l'on maîtrise et l'on arrive à mieux prédire les effets du climat sur la conservation.

- Appuyer la recherche développement en vue d'une meilleure protection des denrées stockées. Les modèles mathématiques pour la prédiction des transferts de chaleur et d'humidité induits par le climat dans une masse de grain sont d'une grande importance et d'une complexité variable. Dans la pratique, le bilan d'humidité est plus difficile à réaliser que celui de la chaleur. Les modèles étudiés essaient de prendre en compte les différents paramètres agrométéorologiques qui entrent en jeu dans un processus de transfert de chaleur entre le grain stocké et son environnement, température de l'air, vitesse du vent et radiation (Chang et al. 1992). A ces paramètres s'ajoutent ceux qui sont relatifs aux caractéristiques initiales du grain et ceux liés aux données sur la structure de stockage et les débits d'air de ventilation introduits dans le grain. Le modèle une fois établi et validé permet de donner la distribution des températures dans la masse de grain et de se rassurer sur sa bonne conservation. La mise au point de ces modèles permettra d'appuyer les opérations d'assistance technique et de vulgarisation au profit des organismes concernés par le stockage au Maroc.

## REFERENCES

- USAID/PSTC Washington: Program of Science and Technology In Cooperation, Grant # 7.336 to IAV Hassan II on Investigation of Plastic Liners for Indigeneous Underground Grain Storage Structures, Principal Investigator Bartali, 1987.
- Projet DPV sur la Maîtrise des Techniques de Stockage des Céréales et Légumineuses au Maroc, Groupe d'Etude et de Recherche sur le Stockage (GERS): La Station Expérimentale de Stockage de Dkhissa. IAV Hassan II. Rabat Novembre 1989.
- Ait El Cadi A., El Mir M. et El Harti A. (ONICL), Stockage Moderne des Céréales et Légumineuses, Situation Actuelle et Perspectives. Comptes Rendus du Séminaire International de la Commission Internationale du Génie Rural (CIGR), de l'ANAFID et l'IAV Hassan II sur les Structures de Stockage des Céréales, des Légumineuses et de leurs Dérivés, p.110-127, BARTALI H (Ed). Rabat, Maroc, 2830 Novembre 1990.

- BARTALI H., Storage Structures and Equipment Engineering. Key note paper. Proceedings 5th International Working Conference on Stored Product Protection, Vol.III, p. 1749-1756, F. Fleurat-Lessar & P. Ducom (Eds) Bordeaux-France September 9-14., 1990.
- J. C LASSERAN and F. FLEURAT-LESSARD, Aeration of Grain with Ambient or Artificially Cooled Air: A Technique to Control Weevils in Temperate Climates. Vol. II Proceedings, 5th International Working Conference on Stored-Product Protection. p. 1221-1230, F. Fleurat-Lessar & P. Ducom (Eds) Bordeaux-France September 9-14., 1990.
- C.V SMITH & M.C GOUGH, Meteorology and Grain Storage. Technical Note N° 101. WORLD METEOROLOGICAL ORGANISATION. Genva Switzerland. 1990.
- BARTALI H. et LAMZOURI J., Les Silos en Terre Armée de Paille, Comptes Rendus du Séminaire International de la Commission Internationale du Génie Rural (CIGR), de l'ANAFID et l'IAV Hassan II sur les Structures de Stockage des Céréales, des Légumineuses et de leurs Dérivés, p.110-127, BARTALI H (Ed). Rabat, Maroc, 28-30 Novembre 1990.
- BACHRAOUI Z. & EL ALAMI N. Contribution au Suivi et à l'Evaluation des Performances de Cinq Systèmes de Stockage des Céréales dans le Sais. T.2 Mémoire de 3 ème cycle G.R, IAV Hassan II. Rabat, Janvier 1991.
- RAHAOUI H. Etude des Performances du Silo Métallique pour le Stockage des Céréales avec Ventilation Forcée dans deux régions: Rabat et Meknes. Mémoire de 3ème cycl G.R, IAV Hassan II, Octobre 1992.
- Chang C.S, Converse H.H and Steele J.L, Modeling of Temperature of Grain during Storage with Aeration, International Symposium on Stored-Grain Ecosystems, Extended Abstracts. Jayas, White, Muir & Sinha (Eds), Department of Agricultural Engineering, University of Manitoba, Winnipeg Canada, June 7-10, 1992.
- FERTAHI A. Contribution à l'Etude des Besoins en Capacité de Stockage et des Performances des Structures Alternatives. Mémoire de 3ème cycle G.R, IAV Hassan II, Octobre 1992 Rabat Maroc.



الشركة الشريفة للأسمدة والمواد الكيماوية  
**SOCIÉTÉ CHÉRIFIENNE D'ENGRAIS ET DE PRODUITS CHIMIQUES**

Capital 17.200.000 DH  
 Siège social : Km 6.500 - route des Zenata - CASABLANCA  
 BP 281 - Télex 25 880 M

*50 ans au service de l'agriculture et de l'industrie*

CASABLANCA Km 6.500 route des Zenata Tél 24 6 83 24 39-52 24-71- 2	KENITRA Rue El Jahid Tél. 2813	FES Quartier Industriel Rue Miara Tél 215-88	BERKANE Quartier Industriel Tél. 22-10	graines clause matériel agricole produits phytosanitaires 204, Bd. E Zola Casablanca Tél 24-40-43	SOUK EL ARBAA DU GHARB  petite vitesse ONCF Tél. (090) 24-59	SIDI SLIMANE  petite vitesse CNCF Tél. (060) 23-77	KSAR EL KERIR  petite vitesse ONCF
---	--------------------------------------	--	---	---	--	---	--

**POUR L'AGRICULTURE**

**POUR L'INDUSTRIE**



**SECURITE :** des produits de qualité...  
**CONTINUITE :** que nous suivons  
**EFFICACITE :** qui vous donneront satisfaction



**Et tous les produits moulés en polystyrène expansé**

S. BENNANI<sup>(1)</sup> ; S. OUATTAR<sup>(1)</sup> ; M. EL MOURID<sup>(2)</sup>

## INTRODUCTION

La céréaliculture est un secteur clé dans l'agriculture marocaine et couvre environ 5 millions d'hectares. Plus de la moitié de ces soles céréalières est conduite dans les zones arides et semi-arides qui sont caractérisées par une pluviométrie annuelle comprise entre 200 et 400mm. La principale contrainte dans ces zones est liée à la disponibilité en eau qui constitue le facteur limitant majeur. A cela viennent s'ajouter les températures élevées, les faibles profondeurs des sols et les fréquentes attaques de parasites et de ravageurs. Tout cela concourt à faire de ces régions un environnement très hétérogène où les conditions de production sont aléatoires et où les risques de perte totale des cultures sont élevés (El Mourid, 1991). Il est, par conséquent, indispensable que les stress soient identifiés et que leurs impacts sur la croissance, le développement et le rendement soient quantifiés. Le but de ces analyses est d'expliquer, sur les bases de processus physiques ou physiologiques, l'effet d'un ou plusieurs éléments du climat sur une réponse mesurable de la culture, telle que la croissance végétative, le développement reproductif ou les rendements (Baier, 1973). Le modèle SIMTAG, objet de notre travail, répond tout à fait à ces impératifs. Il intègre les effets de l'eau, de la température et de la demande évaporative sur la croissance et le développement de blés de différentes maturités. Ses champs d'applications sont multiples et primordiaux pour la maîtrise de la connaissance des interactions climat-culture, en particulier dans les zones arides et semi-arides (Stapper, 1984a,b; Harris et

al., 1987; El Mourid, 1988; Harris, 1989). Il serait trop ardu d'en dresser une liste exhaustive mais nous pouvons citer, à titre d'exemple, qu'il favorise l'élaboration de nouvelles technologies de production répondant spécifiquement aux besoins d'un groupe d'utilisateurs ou aux contraintes d'un site. De plus, il exige très peu de ressources financières et humaines, lesquelles sont souvent difficiles à mobiliser. Enfin, il simplifie l'analyse et l'interprétation des résultats des essais ainsi que leur vulgarisation ultérieure. Il permet, également, de comparer les acquis de la recherche avec les potentialités régionales et d'indiquer, par ce moyen, les orientations à donner à la recherche et au développement et de les planifier. En ce qui concerne, plus spécifiquement, la prédiction du rendement grain il permet de simuler les conditions optimales de production du blé et aide dans la mesure des risques. Il est, en effet, pourvu d'une série d'outputs qui donne les résultats des rendements en terme de probabilités (fréquences). De plus, sa capacité à générer des séries de rendements sur une longue période est utile et permet la réalisation d'analyses économiques, par exemple, au niveau régional. Néanmoins, il ne peut évidemment pas remplacer l'expérimentation au champ qui reste toujours l'arbitre final de sa validité. C'est pourquoi nous proposons de tester les performances de notre modèle vis-à-vis du comportement du système réel qu'il doit simuler en comparant les résultats calculés par le modèle dans une situation bien définie aux données expérimentales sous des conditions identiques. Ce type de comparaison fournit des informations précieuses sur la précision du modèle dans des conditions contrôlées.

(1) Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat

(2) Institut National de la Recherche Agronomique, Settat

## METHODOLOGIE

La démarche suivante a été adoptée pour la réalisation de ce travail:

1. Collecte des données climatiques.
2. Collecte des résultats des essais de 5 essais au champ conduits à la station expérimentale de Sidi Elaydi de 1985/86 à 1991/92 et choix des paramètres à étudier en fonction de la disponibilité des résultats.
3. Simulations par le modèle SIMTAG.
4. Confrontation des résultats observés et simulés.

## PRESENTATION DU MODELE SIMTAG

Les simulations ont été effectuées à l'aide d'un modèle de croissance et de développement, SIMTAG, développé par l'ICARDA sur la base de la littérature ainsi que d'expérimentations conduites en Syrie (Stapper, 1984a,b). Il simule la croissance et le développement de cultures placées dans des conditions non limitantes en nutrition minérale. Il se base sur des principes physiologiques, génétiques, morphologiques et physiques. Le pas de calcul est quotidien.

### Entrées du modèle

Les entrées du modèle sont de quatre types :

#### 1. Données climatiques :

- Température maximale (°C). TEMPMX.
- Température minimale (°C). TEMPMN.
- Radiation solaire (MJ/m<sup>2</sup>). RADSOL.
- Précipitations (mm). RAIN.

#### 2. Données culturales :

- Variété.
- Date de semis.
- Dose de semis (plants /m<sup>2</sup>).
- Profondeur de semis (mm).
- Date et dose d'irrigation.

#### 3. Données pédologiques :

- Albédo (-). SALB.
- Nombre de la courbe de ruissellement (-). CN2.
- Constante d'évaporation du sol (mm). U.
- Facteur de drainage (mm/mm). DRNF.
- Facteur de rétention de l'eau du sol (-). SWWF.
- Facteur de température du sol (-). TEMFSO.

ainsi que les informations suivantes concernant chaque horizon de sol:

- Epaisseur de l'horizon (mm). DLAYR.
- Stock initial en eau (mm<sup>3</sup>/mm<sup>3</sup>). SW.
- Stock d'eau après séchage à l'air (mm<sup>3</sup>/mm<sup>3</sup>). SWAD.
- Limite inférieure de l'eau extractible par la plante (mm<sup>3</sup>/mm<sup>3</sup>). SWLL. - Limite supérieure de drainage (mm<sup>3</sup>/mm<sup>3</sup>). SWUL.
- Stock d'eau à la saturation (mm<sup>3</sup>/mm<sup>3</sup>). SWSAT.

#### 4. Données génériques :

- Sensibilité à la photopériode; (h<sup>-1</sup>). PPS.
- Photopériode critique (h). PPC
- Temps photothermique (°.j) depuis l'émergence jusqu'à l'initiation florale, DP1A, et jusqu'à l'anthèse, DP3.
- Sensibilité à la vernalisation (-). VNS.
- Taux d'apparition des feuilles (-). PHF.
- Facteur de croissance du grain (mg/°.J/grain). GGF.
- Capacité de production du grain (grains/g de matière sèche).

#### Sorties du modèle :

Les principales sorties du modèle concernent :

- La croissance et le développement du blé et de ses composantes.

- L'utilisation de l'eau, l'humidité du sol et le bilan hydrique.
- L'analyse fréquentielle de plusieurs données.

## I. PREDICTION DU RENDEMENT

Nous débuterons cette analyse par le calcul des moyennes et des écarts types des résultats observés et simulés sur cinq années cumulées ainsi que les moyennes des différences relatives. Le tableau 17 récapitule ces résultats.

**Tableau 17 : Moyennes, écarts types et différences relatives observés et simulés pour le rendement grain (5 années, 3 régimes hydriques et 4 variétés confondus).**

	Moyenne observé	SDobs	Moyenne simulée	SDsim	Moyenne des différences relatives (%)
RENDEMENT GRAIN (qx/ha)	30.18	10.68	30.73	22.32	-2.52

SDobs : Ecart type des valeurs observées.

SDsim : Ecart type des valeurs simulées.

Moyenne des différences relatives =

$$[(\text{observé} - \text{simulé})/\text{observé}] * 100$$

Les valeurs négatives de la moyenne des différences relatives indiquent une surestimation du modèle.

L'examen des résultats du Tableau 17 n'ont pas mis en évidence de déviations importantes entre les moyennes et les écarts types des populations observées et simulées. Ceci signifie que les deux échantillons de population se placent dans des gammes similaires. En effet, le rendement grain, malgré un écart type de la population simulée légèrement supérieur à celui de l'observée, montre une égalité presque parfaite des moyennes et des différences relatives négligeables. La très légère surestimation observée (2.52 %) ne représente même pas les pertes après récolte.

La deuxième étape consiste à représenter graphiquement la confrontation des rendements simulés et observés ainsi que la droite de régression qui en résulte. Nous estimerons qu'il y a bonne

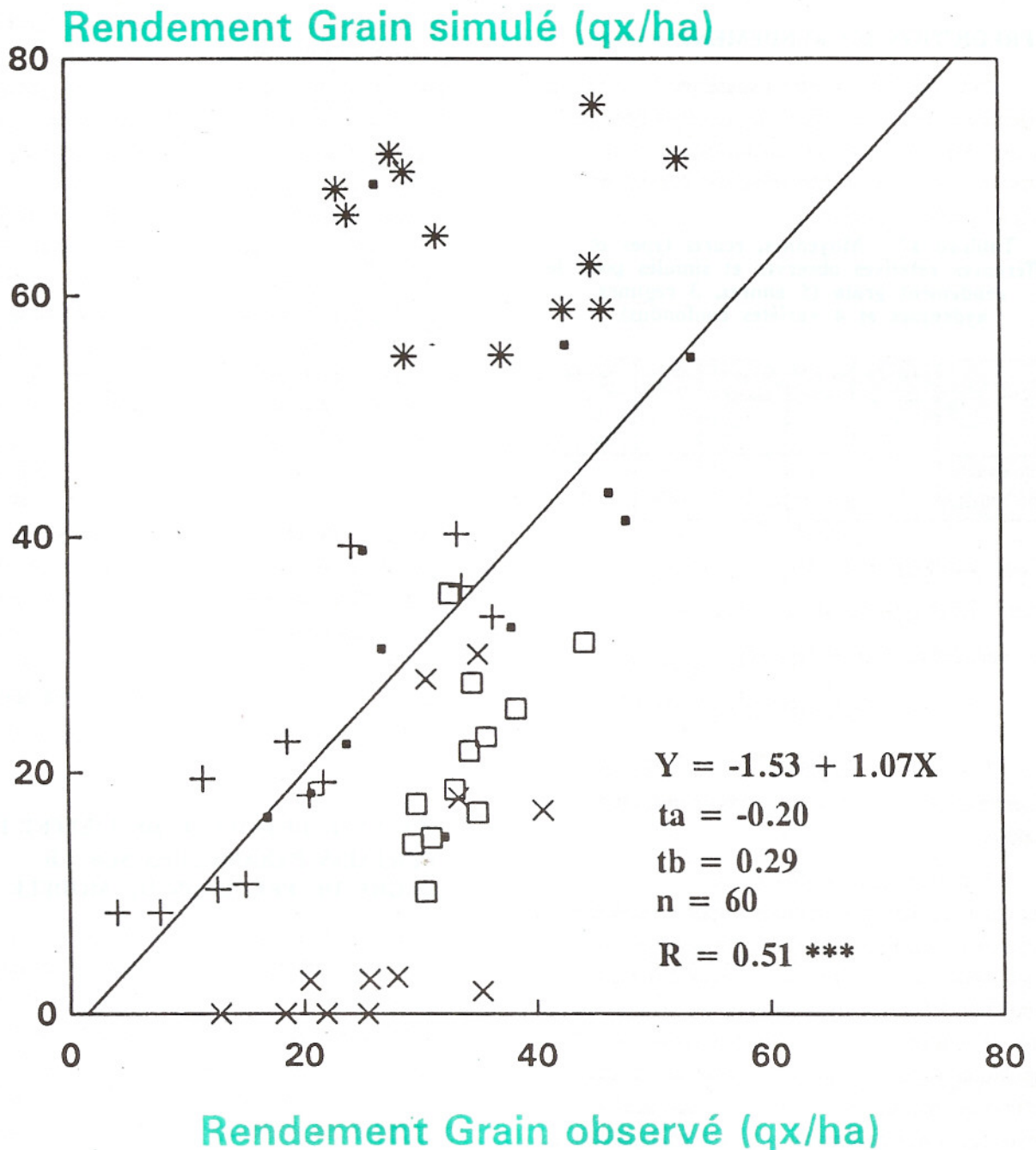
adéquation entre les valeurs observées et simulées si l'ordonnée à l'origine (a) ne diffère pas significativement de 0 et si la pente de la droite de régression (b) est égale à 1. Le test de Student est également utilisé afin d'évaluer le bon ajustement ("goodness-of-fit") de la droite de régression par rapport à la droite d'exacte prédiction. Les hypothèses à tester sont: a=0 et b=1 dans l'équation de la droite de régression  $Y=a+bX$ . L'examen de la représentation graphique des rendements grain simulés et des rendements grain observés (Figure 1) met en évidence que le modèle est capable de prédire de manière très satisfaisante le rendement grain. Ceci est particulièrement le cas lorsque les valeurs sont inférieures à 40 qx/ha mais il surestime légèrement les rendements dans des conditions bien alimentées en eau (rendements > 40 qx/ha). Le coefficient de corrélation est très hautement significatif avec une valeur de 0.51, l'ordonnée à l'origine est de -1.52 et la pente de la droite de régression est proche de l'unité (1.06). Les valeurs t, et  $t_b$  du test de Student ne diffèrent pas significativement de 0 et de 1, respectivement, ce qui prouve qu'il existe un très bon ajustement entre la droite de régression et la droite d'exacte prédiction. Néanmoins, la dispersion du nuage de points autour de la droite est assez considérable (coefficient de corrélation bas et écart type de la droite de régression élevé).

## II. ANALYSE DETAILLEE DE L'EFFET DE CERTAINS PARAMETRES SUR LE DEGRE DE PRECISION DU MODELE

La fiabilité du modèle SIMTAG semble être très fortement tributaire des conditions de calibration du modèle. Afin de tester cette hypothèse et vu le caractère global de l'analyse précédente, nous nous sommes intéressés à l'effet de certains paramètres particuliers sur le rendement grain. L'objectif de cette démarche est de sonder les possibilités d'amélioration de la puissance de prédiction du modèle,

### II.1 Effet type d'année

Nous avons représenté graphiquement dans la Figure 2 la confrontation entre les rendements grain observés et simulés pour trois années très contrastées:



**Fig.1. Confrontation entre les rendements grain observés et simulés (4 variétés, 5 années et 3 régimes hydriques confondus)**

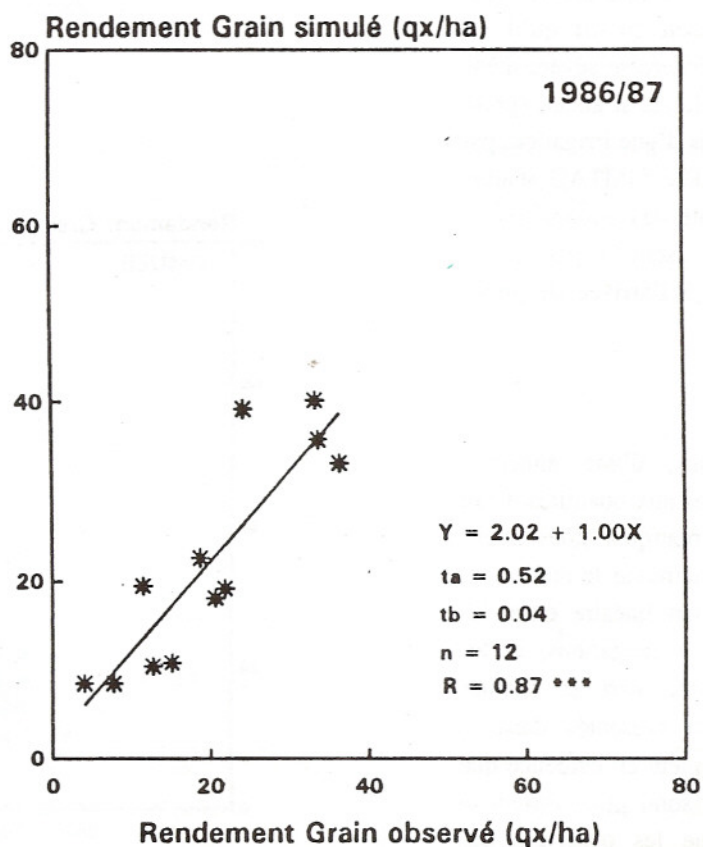
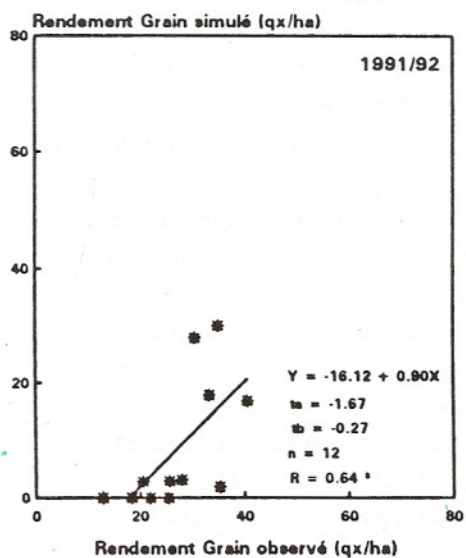
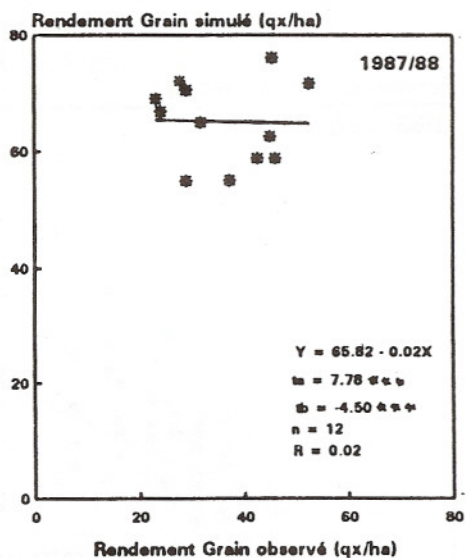


Fig.2. Confrontation des rendements grain observés et simulés toutes variétés et régimes hydriques confondus. Effet "Année".

une année très humide (1987/88), une année très sèche (1991/92) et une année "normale" (1986/87). La figure 2 met très clairement en évidence un effet "année". Les résultats de la régression linéaire relatifs à l'année "normale" sont excellents. Le coefficient de corrélation est très hautement significatif avec une valeur de 0.87, la pente (b) est exactement égale à l'unité et la droite de régression s'ajuste très bien à la droite d'exacte prédiction (les valeurs t, et tb n'étant pas significativement différentes de 0 et de 1, respectivement). De plus, le nuage de points se répartit correctement autour de la droite de régression. A l'opposé, il n'existe pratiquement aucune corrélation entre les rendements grain simulés et observés pendant l'année très humide. Ces rendements grain ont été très largement surestimés par le modèle. Dans la réalité, ils sont très en-deçà des prévisions pour des raisons de maladies, de verse, etc... En année très sèche, ils sont, à l'inverse, très sous-estimés puisque, même en conditions bien irriguées, certains rendements calculés par le modèle n'atteignent pas la moitié des niveaux obtenus dans la réalité. La raison en est qu'il est stipulé dans le modèle qu'une sécheresse sévère mène très rapidement à la mort des cultures si aucun apport d'eau supplémentaire (par le biais d'une irrigation, par exemple) n'est apporté. Le modèle SIMTAG semble ne pas tenir suffisamment compte des possibilités de récupération des plantes qui sont capables de reprendre une croissance active à l'arrivée de pluies tardives.

## II.2. Effet régime hydrique

Les principales variations, d'une année à l'autre, sont, pour l'essentiel, liées aux quantités d'eau reçues par les cultures. C'est pourquoi nous avons voulu estimer l'effet de ce paramètre sur le rendement grain en effectuant une régression linéaire entre les différents apports d'eau (pluies + irrigations) et les rendements grain observés d'une part et simulés d'autre part. Ces résultats sont présentés dans la Figure 3. Cette figure met clairement en évidence que les rendements grain simulés sont plus fortement corrélés aux apports d'eau que les observés. Les précipitations et irrigations éventuelles expliquent 89 % des variations de rendements simulés contre 58 %

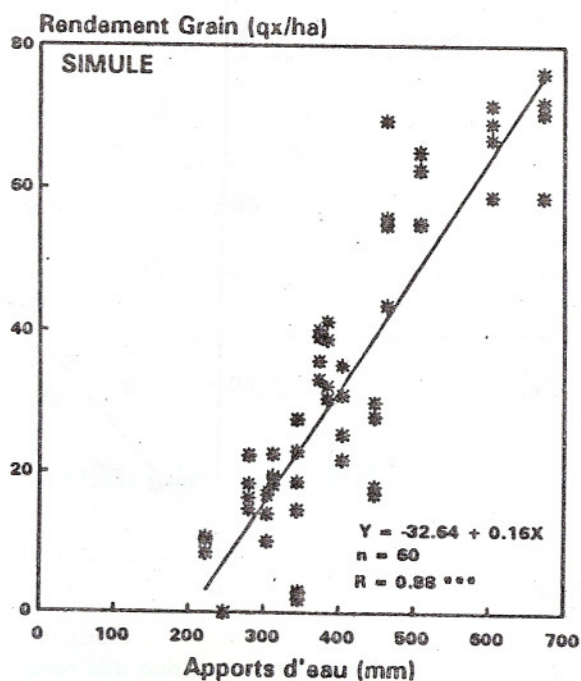
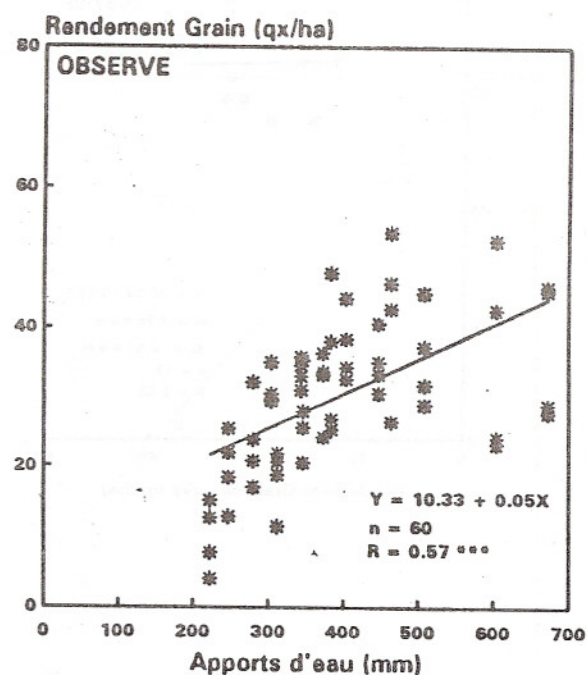
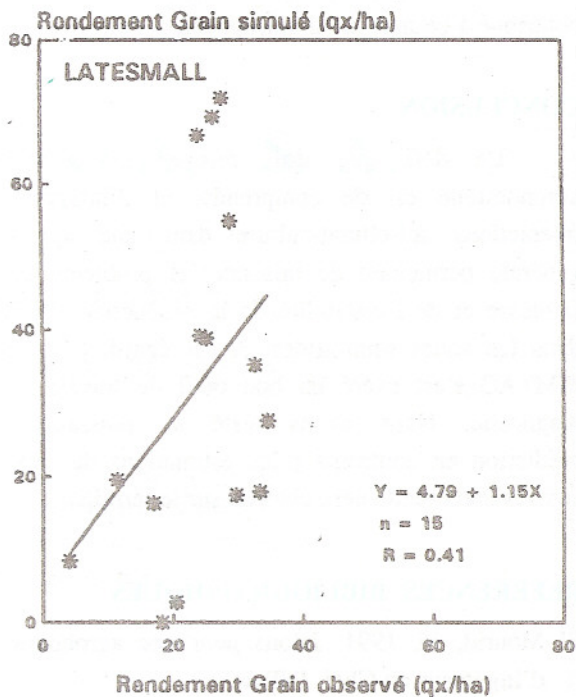
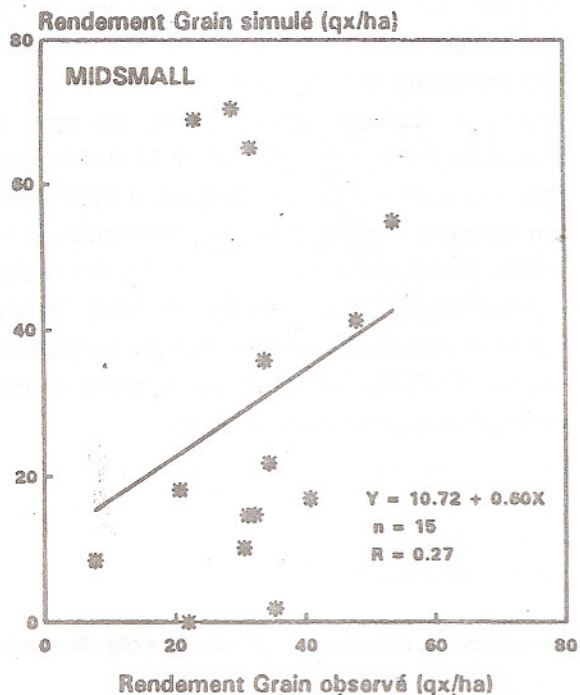
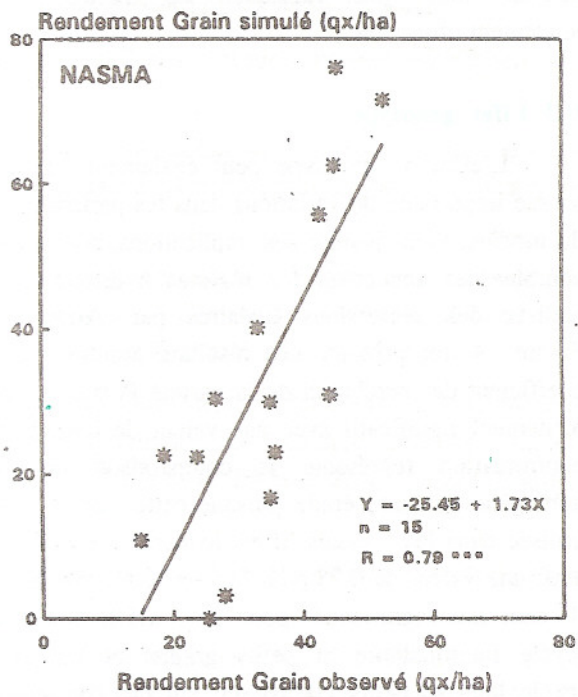
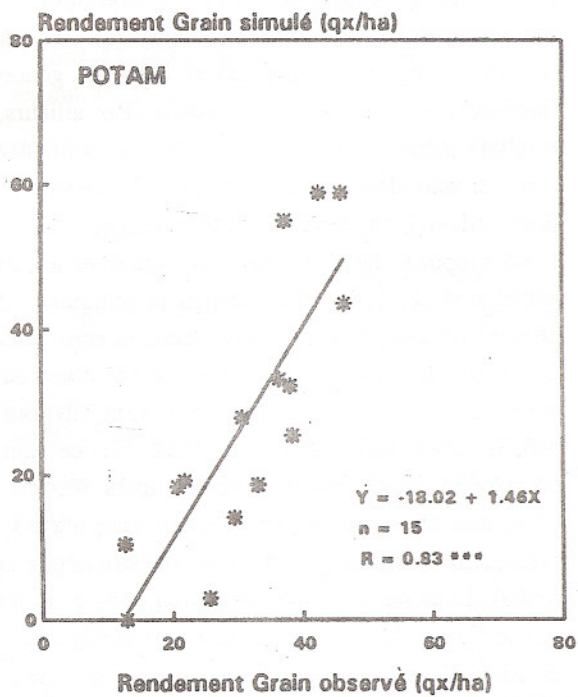


Fig.3. Rendements grain observés et simulés en fonction des apports d'eau. Effet "Régime hydrique".



**Fig.4. Confrontation entre les rendements grains observés et simulés tous régimes hydriques et années confondus. Effet "Génotype".**

dans la réalité. Les apports d'eau à eux seuls ne peuvent donc pas expliquer les variations de rendement observées.

### II.3 Effet génotype

L'effet du génotype peut également être une source importante de variations dans les performances du modèle. Pour évaluer ses implications, nous avons combiné les années et les régimes hydriques pour réaliser des régressions linéaires par variété. La Figure 4 qui présente ces résultats montre que le coefficient de corrélation de la variété Potam est très hautement significatif avec une valeur de 0.83. Cette confrontation représente la comparaison la plus homogène de notre étude puisque cette variété a été utilisée dans les 5 essais. Il est hautement significatif avec une valeur de 0.78 pour la variété Nasma. Enfin, ils sont non significatifs pour les variétés Midsmall (cycle intermédiaire et petits grains) et Latesmall (cycle long et petits grains) qui ont été confrontées dans la réalité à un mélange de variétés qui présentent, de plus, des caractéristiques génétiques différentes. Le manque d'homogénéité variétal dans la comparaison des rendements observés et simulés a beaucoup contribué à ce manque d'ajustement.

### CONCLUSION

Le défi que doit relever la recherche agronomique est de comprendre et d'intégrer les interactions sol-climat-culture dans une approche générale permettant de raisonner le problème de la faiblesse et de l'instabilité de la production végétale dans les zones semi-arides. A cet égard, le modèle SIMTAG s'est avéré un bon outil de travail et de diagnostic. Nous avons testé sa puissance de prédiction en confrontant les estimations du modèle aux résultats réellement obtenus sur le terrain.

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- El Mourid, M. 1991. Jalons pour une agronomie des zones arides et semi-arides. Mémoire pour le concours d'Ingénieur en Chef. INRA.
- Baier, W. 1973. Crop-weather analysis model: review and model development. *J. App. Meteorol.* 12. 937-947.
- Stapper, M. 1984a. Simulations assessing the productivity of wheat maturity types in a Mediterranean climate. Ph.D. diss. University of New England, Armidale, N.S.W. (Australia).

De manière globale, le modèle SIMTAG s'est avéré très sensible aux variations dans l'environnement (5 années), dans les techniques culturales (régimes hydriques) et dans les génotypes (précoces, intermédiaires et tardifs). Par ailleurs, les résultats présentés dans cette évaluation soulignent la contradiction des conclusions selon le critère utilisé pour valider le modèle. Ceci est en accord avec ce qui a été rapporté dans la littérature (Otter et al., 1986; Whisler et al., 1986; Van Keulen et Seligman, 1987; Dent et Blackie, 1979). Les rendements grain calculés par le modèle ne diffèrent pas significativement de ceux réellement obtenus sur le terrain, ils ont été prédits avec une erreur de 2.52 %, ce qui ne correspond même pas aux pertes après récolte. Les moyennes observées et simulées sur cinq années sont pratiquement égales (30.18 qx par hectare contre 30.73 qx/ha). Lorsque toutes les situations sont confondues, le coefficient de corrélation liant les valeurs observées et simulées est très hautement significatif avec une valeur de 0.51. De plus, le t-test de Student a mis en évidence que c'est l'un des paramètres pour lequel nous obtenons le meilleur ajustement entre la droite de régression et la droite d'exacte prédiction, ce qui indique une grande fiabilité. Cependant, certaines incertitudes restent liées aux effets des températures élevées durant le remplissage du grain et des vents chauds et secs tels que le chergui qui provoquent l'échaudage des graines. De même, le modèle suppose que le couvert végétal est uniforme, or cette condition est rarement remplie dans les zones arides et semi-arides. Il tend, par conséquent à prédire des valeurs de rendement plus élevées que dans la réalité. Malgré les quelques perturbations provoquées par ces facteurs, le modèle SIMTAG est tout à fait à même de prédire avec précision les rendements grain.

- Stalper M. 1984b. SIMTAG: A Simulation Model of Wheat Genotypes. Model Documentation. University of New England, Armidale, N.S.W. (Australia); ICARDA (Farming Systems Program), Aleppo, Syria.
- El Mourid, M. 1988. Performances of wheat and barley cultivars under different soil moisture regimes in a semi-arid region. Ph.D. diss. Iowa State University, Ames, Iowa.
- Harris H.C., W. Goebel and P.J.M. Cooper. 1987. Crop Genotype-Environment Interaction. Pages 37-49 In Drought Tolerance in Winter Cereals. Edited by J.P. Srivastava, E. Porceddu, E. Acevedo, and S. Varma. Published by John Wiley & Sons, New York.
- Harris, H.C. 1989. The relative impact on wheat of water and temperature constraints in lowland areas of West Asia and North Africa. Pages 15-34. In Physiology-Breeding of Winter Cereals for Stressed Mediterranean Environments. (Montpellier, France, 3-6 July 1989). Eds INRA, Paris, 1991 (Les Colloques N° 55).
- Otter, S., D.C. Godwin, and J.T. Ritchie. 1986. Testing and validating the Cereswheat model in diverse environments. AGRISTARS. Yield Model Development: a Joint Program for Agriculture and Resources Inventory Surveys Through Aerospace Remote Sensing. YM-15-00407. 3SC 202 44. Lyndon B. Johnson Space Center, Houston, Texas.
- Van Keulen, H. and N.G. Seligman. 1987. Simulation of water use, nitrogen nutrition, and growth of a spring wheat crop. Simulation Monographs. Pudoc Wageningen, Netherlands.
- Whisler, F.D., B. Acock, D.N. Baker, R.E. Fye, H.F. Hodges, J.R. Lambert, H.E. Lemmon, J.M. McKinion, and V.R. Reddy. 1986. Crop Simulation Models in Agronomic Systems. pp. 141-208. Advances in Agronomy, Vol. 40. Academic Press, Inc., New York.
- Dent, J.B., and M.J. Blackie. 1979. Systems Simulation in Agriculture. Applied Science Publishers, LTD, London.



**ABENGOA, S.A.**

MONTAJES

ELECTRICOS

SEVILLA

ESPAÑA

Siège Social : Av. Carlos V, 20 SEVILLA-4

**Activités : Centrales électriques, Installations hydrauliques, Postes de transformation, Réseaux de distribution, Télécontrôle, Traction électrique, Télécommunication et Téléphonie, etc.**

**Fabrication : Cellules M.T, Tableaux de puissance et contrôle, Equipements pour centrales nucléaires, Redresseurs, Centres de transformation, etc.**

DELEGATION AU MAROC. 66 AV. MOHAMED V. — TANGER

TELEPHONE 38823 et 38816 - TELEX 33772 M -

# BESOINS EN DONNEES METEOROLOGIQUES POUR LA MECANISATION DE L'INSTALLATION ET LA RECOLTE DES CULTURES

BOURARACH El Hassan\* & OUSSIBLE Mohamed\*

## PROBLEMATIQUE

La connaissance des données météorologiques est déterminant dans la planification et la gestion de la production agricole. Inconsciemment, quand un agriculteur entreprend ou projette d'entreprendre une activité, il réfléchit sa réalisation dans des conditions climatiques données. Les sciences et particulièrement celles relatives aux prévisions climatiques offrent actuellement à l'agriculture des moyens fiables pour planifier les activités quotidiennes, ainsi que celles à moyen et long terme. Cette planification a deux soucis :

- améliorer la production et la productivité et;
- préserver l'environnement.

En effet, un retard dans l'exécution d'une opération, par exemple l'installation ou la récolte d'une culture, peut se traduire par un manque à gagner consécutif à une chute ou des pertes de rendement. Ainsi, en Allemagne, GEGO (1983) rapporte que pour les céréales chaque jour de retard à la récolte occasionne une perte de 0.25 à 0.45 % du rendement optimal, Au Maroc, des essais ont démontré qu'un retard à la récolte des céréales d'une semaine après maturité peut induire une augmentation des pertes de plus de 50 %. Le choix de la date de travail du sol peut donner des rendements de céréales variant du simple au double (BOURARACH, 1989).

Aussi, la méconnaissance ou la négligence des conditions climatiques sévissant pendant la réalisation des opérations culturales peut entraîner des

dégradations de l'environnement. L'utilisation d'engins lourds dans des conditions d'humidité excessives peut entraîner une dégradation quasi-irréversible du sol (OUSSIBLE, 1976, 1984).

## BESOINS EN RECHERCHE

La connaissance des exigences de la culture (sensibilité à la date du semis ou de récolte, Fig. 1), ainsi que la connaissance des prévisions climatiques permet de caler les opérations culturales avec plus au moins de risque et de déterminer le temps disponible pour leur exécution. HUNT (1973) propose l'expression suivante pour l'estimation des pertes de rendements ôr dues à un retard ôt (h) dans l'exécution de l'opération culturale :

$$dr = T. ro. dt (t/ha)$$

ro : étant le rendement optimal (t/ha)

T : étant le coefficient de la date d'intervention (Tab 1).

Tab 1 : Coefficient de la date d'intervention pour différentes opérations culturales

Opération	Coefficient (x 10 <sup>-3</sup> 1/h)
travail du sol	0.05-0.3
semis	0.3
récolte des céréales	0.2
récolte de soja	0.5
récolte de maïs	0.3
récolte de foin	1.0

\* Professeurs à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II respectivement au Département de Machinisme Agricole et au département d'Agronomie et d'Amélioration des Plantes.

% du rendement optimal

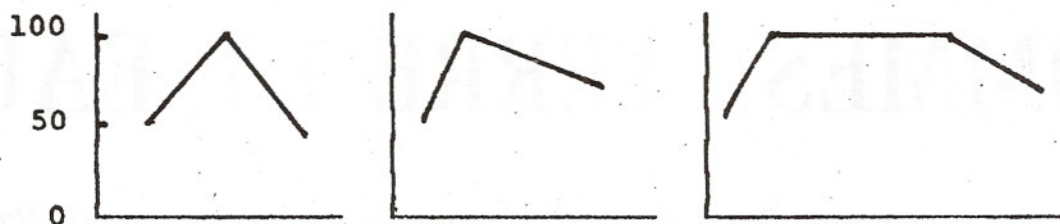


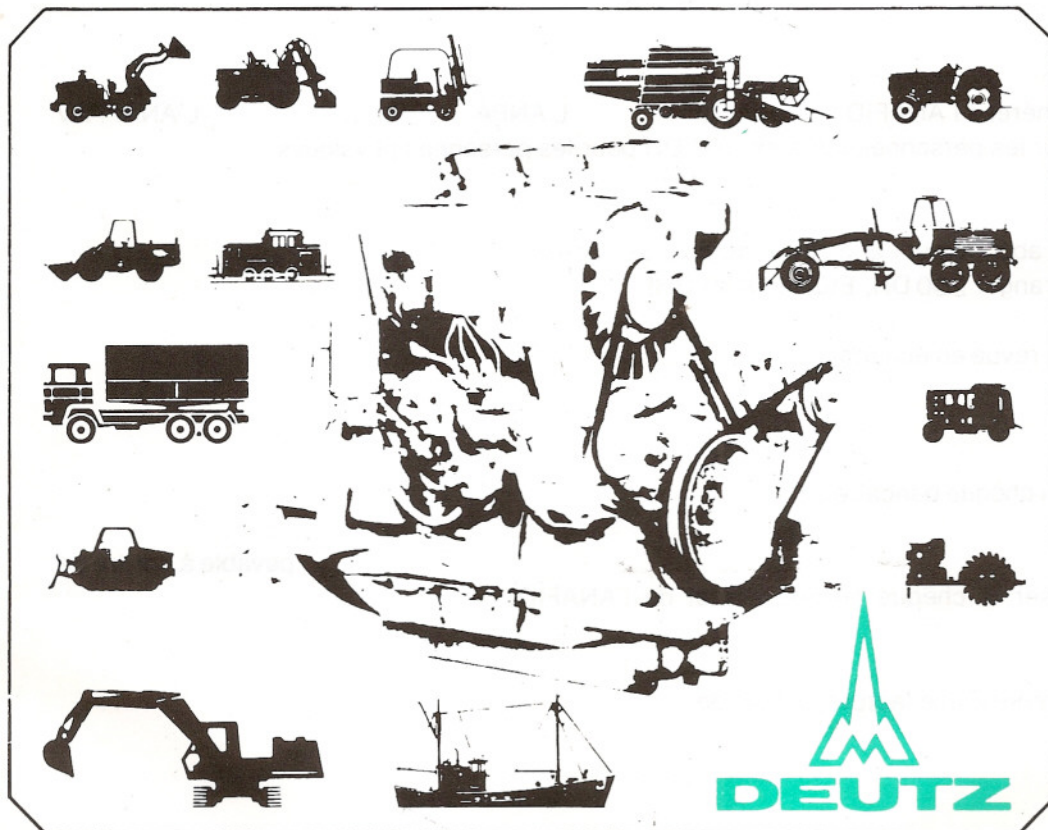
Fig. 1: Schéma de sensibilité du rendement d'une culture à la date d'une opération culturale y afférente.

Il est donc nécessaire de connaître la sensibilité des principales cultures aux dates de réalisation des différentes opérations culturales. La banque de données climatiques quant à elle devrait permettre la détermination de la probabilité des jours disponibles pour la réalisation de ces opérations. La détermination des jours disponibles passe par la connaissance également du comportement physique et mécanique du sol et par la connaissance de l'action des outils utilisés sur celui-ci. A titre d'illustration nous donnons sur le Tab. 2 les humidités critiques au delà desquelles il est recommandé de ne pas accéder à la parcelle sous

peine de dégrader la structure du sol pour deux types de sol au Gharb.

Tab. 2 : Humidités pendérales critiques d'accès à la parcelle pour deux types de sol (Projet STD 01-60/D, 1993).

texture	humidité (%)
argileuse	28
argile limoneuse	35



**Moteurs diesel  
Deutz  
pour tous les  
domaines  
d'application**



**MAGIDEUTZ S. A.**  
4 à 8, rue Layris-Verger  
CASABLANCA/Maroc

Le refroidissement par air est la solution universelle à de nombreux problèmes d'entraînement. Un seul et même moteur peut ainsi travailler sans problèmes dans des conditions aussi différentes que la chaleur désertique et le froid arctique.

Et ceci, grâce à la mise au point du refroidissement par air. Nous l'avons maintenant perfectionné au point que la plupart des moteurs diesel refroidis par air du monde sont de marque Deutz. Et leur nombre augmente journellement. Dans votre pays aussi, de plus en plus d'utilisateurs donnent la préférence aux moteurs Deutz refroidis par air pour équiper leurs engins.