

AGROMÉTÉOROLOGIE

AGROMÉTÉOROLOGIE

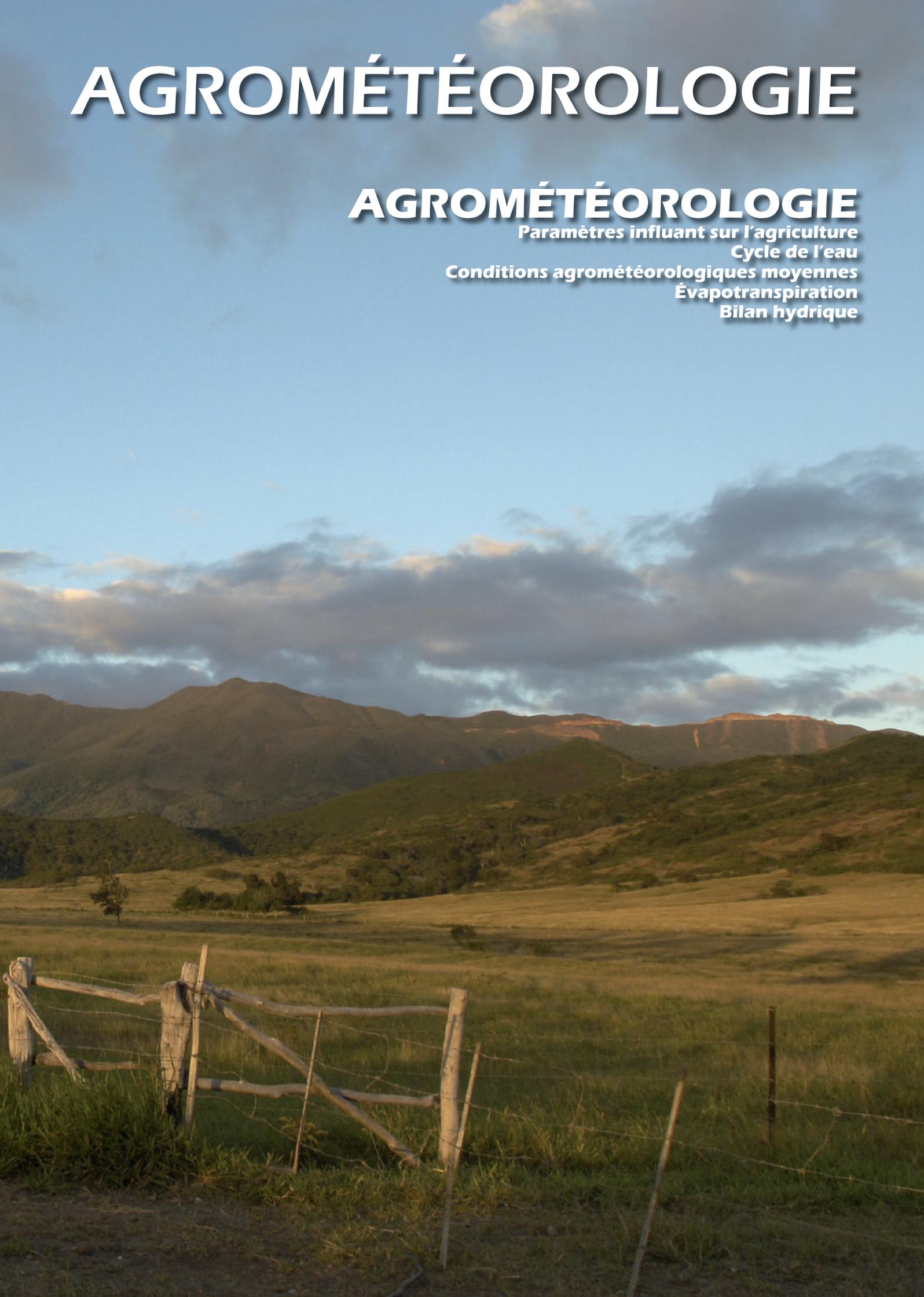
Paramètres influant sur l'agriculture

Cycle de l'eau

Conditions agrométéorologiques moyennes

Évapotranspiration

Bilan hydrique



AGROMÉTÉOROLOGIE

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

Paramètres influant sur l'agriculture

Le rayonnement solaire

Il participe à la photosynthèse (transformation par les plantes du gaz carbonique en glucides en utilisant l'énergie solaire). D'autre part certaines cultures sont plus ou moins sensibles à la durée du jour (photopériodisme).

La température

Elle est en partie liée au rayonnement. Cependant, son action se manifeste par l'existence de seuils biologiques ou de sensibilité, par les effets cumulatifs (degrés jours), les thermopériodismes (effets cycliques), les incidences sur les échanges hydriques. Par exemple, le letchi a besoin d'une période fraîche pour amorcer sa floraison.

Le vent

Le vent participe au transport d'éléments organiques vivants (spores, pollens, insectes). Les vents forts (cyclones) ont des effets mécaniques sur les organes aériens fragiles. Il intervient également sur l'échaudage (forte température, stress hydrique) et l'érosion. On peut en limiter les effets par la réalisation de brise-vent, mais il faut de toute façon en tenir compte lors de l'aménagement rural.

L'eau

Une plante est constituée de 60 % à 90 % d'eau. L'eau, sous forme de pluie, d'humidité de l'air ou du sol, intervient dans l'approvisionnement des végétaux en substances minérales extraites du sol, mais également dans les échanges avec le milieu ambiant : évapotranspiration, régulation stomatique (échanges gazeux de la plante par les ostioles). L'eau agit sur l'état phytosanitaire des cultures (humectation) et sur la structure physique des sols (battance, érosion...). Ainsi l'eau est un paramètre essentiel pour la plante et donc pour l'agriculture.

Cycle de l'eau

Le cycle de l'eau comprend différentes étapes dont les principales sont :

Précipitations

Elles ont lieu lorsque la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère se condense suffisamment pour former des gouttelettes d'eau ou de glace, trop lourdes pour rester en suspension dans l'air.

Evaporation

L'évaporation est un changement d'état : elle correspond au passage lent de l'eau de l'état liquide à l'état gazeux. Elle est mesurée à l'aide d'un bac à évaporation ou d'un évaporomètre, et s'exprime en millimètres.

Cependant, le calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) a remplacé ce genre de mesures au sein de Météo-France (voir page XX).

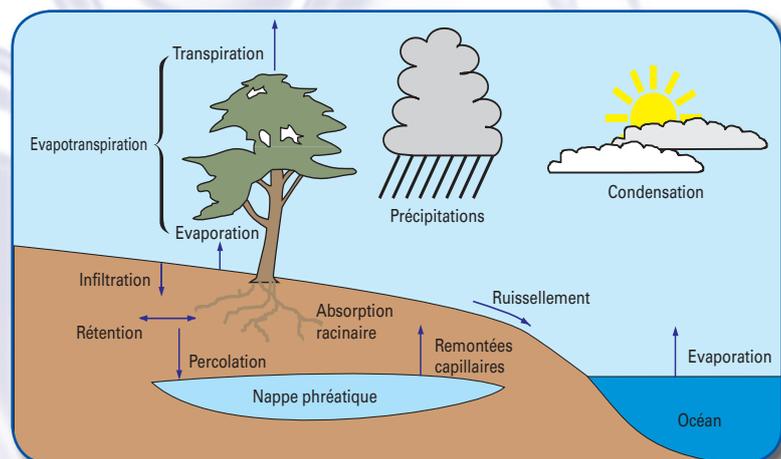
Conditions agrométéorologiques moyennes

Le climatogramme est une présentation simplifiée des conditions agrométéorologiques moyennes. Ce graphique permet de

✓ **Bac à évaporation**
il s'agit d'un grand bac en acier rempli d'eau, qui permet le calcul de l'évaporation sur une grande surface à l'air libre, par des mesures régulières (deux fois par jour) de la différence du niveau de l'eau.

✓ **Évaporomètre Piche**
c'est un tube en verre gradué en mm et 1/10 de mm, placé dans l'abri météorologique ; il est rempli d'eau et retourné sur une rondelle de papier buvard. La surface de la rondelle est considérée comme surface évaporante, et les mesures se font aussi matin et soir.

Figure 1 :
Le cycle de l'eau.



vérifier si les exigences climatiques de certaines cultures sont satisfaites aux divers stades de leur développement.

Les températures moyennes mensuelles sont portées sur l'axe horizontal et les totaux pluviométriques moyens mensuels sur l'axe vertical du graphique. Les douze points déterminés par la température et les précipitations moyennes de chaque mois sont reliés et dessinent un polygone dont la forme et la situation traduisent certains caractères du climat de la station étudiée. On utilise une droite S ($p = 4t$ avec p = précipitations et t = température) pour délimiter les période sèches et humides. Les points situés en dessous de cette droite représentent les mois pendant lesquels il sera éventuellement nécessaire de compenser le manque de précipitations par de l'irrigation.

La limite de 200 mm de pluie correspond, en moyenne pour l'ensemble du territoire, au maximum d'évaporation mensuelle. On considère que les quantités mensuelles de pluie dépassant ce total ne sont pas utilisées par les plantes et le sol.

Voici quelques exemples de climatogrammes réalisés sur la période 1971-2000 pour les stations les plus représentatives du territoire (sauf Koniambo : 2000-2005).

- ✓ à **Koumac**, les précipitations mensuelles moyennes ne dépassent jamais 200 mm, et la majorité des mois se situe en dessous de la droite S. Seuls janvier, février et mars sont favorables à une recharge en eau des sols. Ce poste est bien représentatif de la côte Ouest.
- ✓ à **Nouméa**, le climatogramme est un peu différent car les précipitations restent significatives jusqu'au mois de juin. Cette particularité climatique du sud de la Grande Terre a été décrite dans le chapitre Précipitations. Néanmoins, sept mois de l'année sont en dessous de la droite S.
- ✓ le climatogramme de **Poindimié** est assez représentatif de cette région de la côte Est caractérisée par des pluies abondantes surtout pendant le premier trimestre de l'année. Cette côte est suffisamment arrosée tout au long de l'année et seuls les mois d'août à octobre sont dans certaines régions en déficit hydrique. C'est particulièrement le cas pour la région comprise entre Houaïlou à Thio.

Figure 2a : Climatogramme de Koumac.

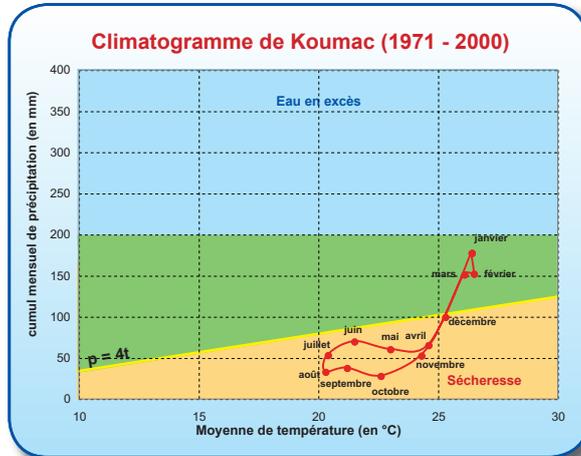


Figure 2b : Climatogramme de Nouméa.

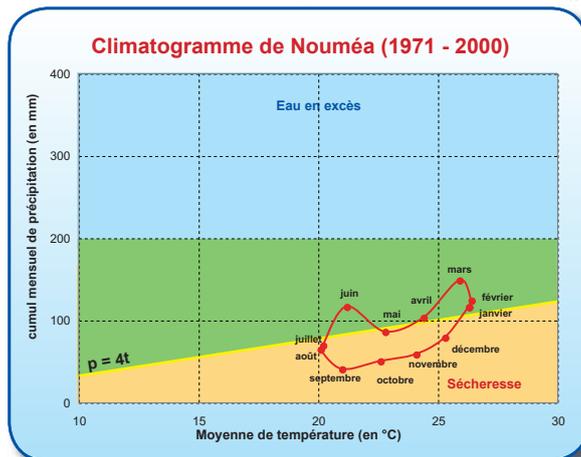
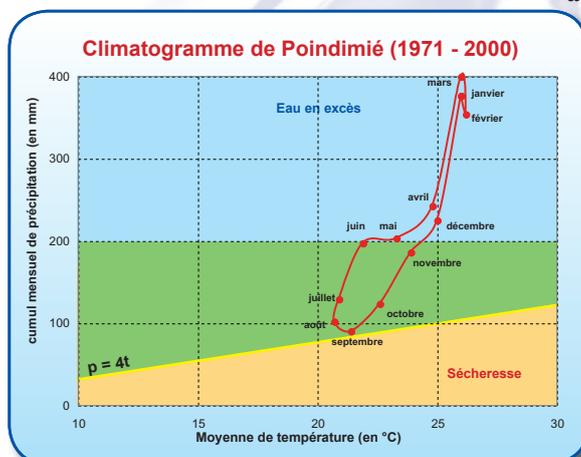


Figure 2c : Climatogramme de Poindimié.



L'humidité de l'air est la quantité de vapeur d'eau contenue dans un certain volume d'air. Elle est comprise entre 0 % (air sec) et 100 % (valeur de saturation). La quantité d'eau que peut contenir une particule d'air augmente avec la température de l'air.

Figure 2d :
Climatogramme
de Ouaham.

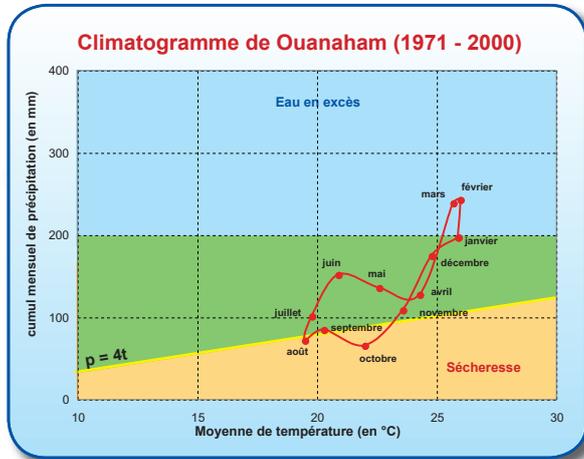
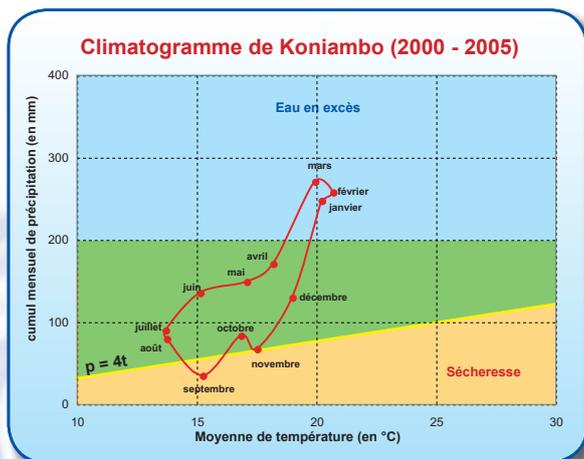


Figure 2c :
Climatogramme
de Koniambo.



- ✓ le climatogramme de **Ouaham** se situe à mi-chemin entre ceux de la côte Est et ceux de la côte Ouest. Il se rapproche de ceux observés dans la région comprise entre Houailou à Thio.
- ✓ le climatogramme de **Koniambo** a un aspect relativement proche de celui d'un poste de la côte Est, mais avec des températures beaucoup plus fraîches. Il représente les conditions de la Chaîne Centrale.

Les climatogrammes donnant une vision simplifiée des conditions climatiques, il est préférable d'utiliser les notions d'évapotranspiration et de bilan hydrique pour affiner l'analyse agrométéorologique.

Évapotranspiration

Définitions

L'évapotranspiration est la quantité d'eau vaporisée (c'est à dire passant de l'état liquide à l'état gazeux) par une plante ou un couvert végétal. Cette quantité, exprimée en millimètres, comprend d'une part l'eau transpirée par la plante et d'autre part l'évaporation de l'eau contenue dans le sol.

On fait la distinction entre l'évapotranspiration potentielle (ETP), réelle (ETR) et maximale (ETM) selon le tableau récapitulatif suivant qui permet de montrer les éléments entrant dans le calcul de chacune.

Paramètres	ETP	ETM	ETR
Conditions météorologiques	X	X	X
Caractéristiques de la plante		X	X
Réserves en eau du sol			X

Les paramètres météorologiques intervenant dans l'évapotranspiration sont :

- ✓ Le bilan radiatif,
- ✓ La température de l'air,
- ✓ L'humidité de l'air, qui représente le contenu en vapeur d'eau de l'air et sa capacité à en absorber,
- ✓ La vitesse du vent, qui facilite la diffusion de la vapeur d'eau dans l'atmosphère.

Calculs

Il existe des appareils permettant de mesurer directement l'ETP : évapotranspiromètres ou lysimètres relativement coûteux et difficiles à mettre en œuvre. L'ETP est le plus souvent calculée selon plusieurs formules possibles. Météo-France utilise la formule de Penman (1948) dont l'expression est la suivante :

$$ETP = \frac{1}{L_v} \cdot \frac{F_r'}{\gamma + F_r'} \cdot R_n + \frac{\gamma}{\gamma + F_r'} \cdot E_a$$

R_n = rayonnement net (voir Rayonnement terrestre, page suivante),

L_v = constante de chaleur latente de vaporisation de l'eau,

F_r' = pente de la courbe de tension de vapeur saturante en fonction de la température,

γ = constante psychrométrique en hPa/°C (pour des pressions voisines de 1 015 hPa, elle est peu différente de 0,65),

E_a = pouvoir évaporant de l'air qui est fonction de la tension de vapeur d'eau e (en hPa), de la tension maximale de vapeur d'eau e_w pour une température T (°C), et de la vitesse du vent (en m/s) mesurée à 10 m.

Dans la formule de Penman, l'ETP se décompose en deux termes :

✓ une part radiative $\frac{1}{L_v} \cdot \frac{F_r'}{\gamma + F_r'} \cdot R_n$

✓ une part advective $\frac{\gamma}{\gamma + F_r'} \cdot E_a$

La part radiative varie peu dans l'espace (à l'échelle de quelques dizaines de kilomètres). Son estimation nécessite la mesure du rayonnement ou de l'insolation, de la température et de l'humidité.

La part advective est soumise à des influences locales qui peuvent être plus ou moins accentuées en des points très voisins. Son estimation nécessite la mesure du vent de l'humidité et de la température.

L'évapotranspiration potentielle (ETP)

On la définit comme l'évapotranspiration d'un couvert végétal bas, continu et homogène qui n'est soumis à aucune limitation d'ordre nutritionnel, physiologique, pathologique ou d'alimentation en eau. Ainsi définie, l'ETP correspond sensiblement à la quantité d'eau évapotranspirée par une prairie en pleine croissance, saine et sans stress hydrique. Elle est exprimée en mm/j. L'évapotranspiration potentielle ne dépend que des conditions météorologiques observées. L'ETP est une donnée climatique qui permet une approximation de la consommation en eau des plantes. Elle est utile aux agriculteurs désirant connaître le besoin en eau de leurs cultures pour éventuellement les irriguer. Notons que l'évaporation d'un plan d'eau est annuellement supérieure à l'ETP de 10 % à 15 %.

L'évapotranspiration maximale (ETM)

C'est la quantité d'eau maximale que peut effectivement consommer une plante lorsque son irrigation est optimale. L'eau n'est alors pas un facteur limitant au niveau de l'absorption racinaire. La régulation stomatique est minimale et l'évapotranspiration maximale. Cette consommation en eau varie en fonction : de la culture considérée, de son stade phénologique (stade de développement), des conditions météorologiques observées. Coefficient cultural : l'ETP est calculée avec la formule de Penman (paragraphe suivant), à partir des données météorologiques. Suivant la nature et le stade de développement de la plante, on détermine le coefficient cultural k_c qui permet d'obtenir l'ETM : $ETM = k_c \cdot ETP$

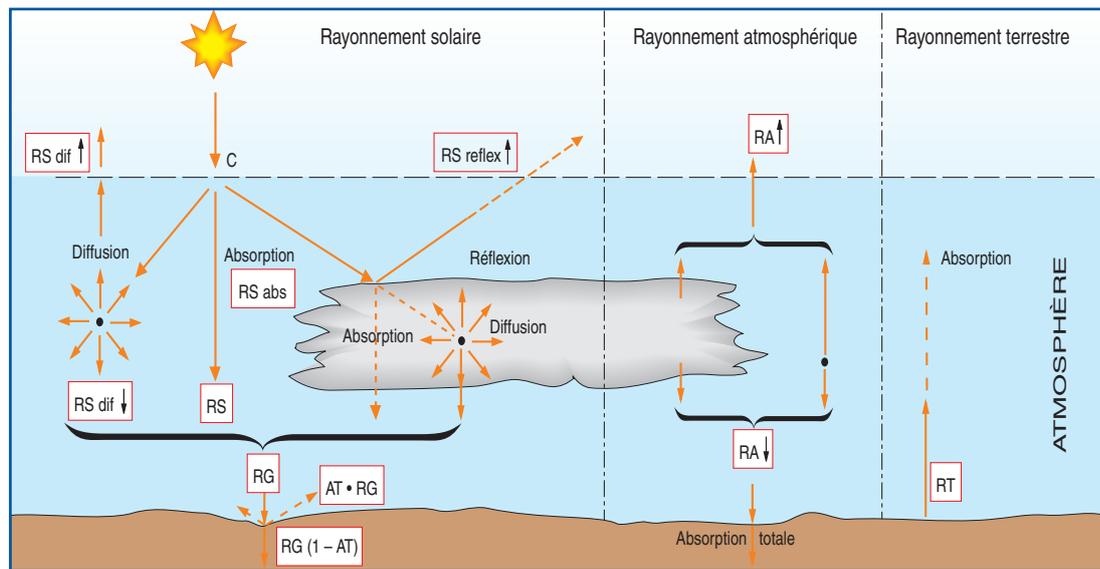
L'évapotranspiration réelle (ETR)

C'est la quantité d'eau réellement perdue sous forme de vapeur d'eau par une surface ou un couvert végétal. Elle dépend : de la culture considérée, du stade phénologique de la culture, du contenu en eau du sol, des conditions météorologiques observées. L'ETR peut être comprise entre 0 et ETM suivant la quantité d'eau disponible. L'ETR atteint l'ETM lorsque l'eau contenue dans le sol et pouvant être absorbée par les racines de la plante est en quantité suffisante.



Figure 3 :
En Nouvelle-Calédonie, Météo-France a établi un réseau de 12 postes permettant le calcul de l'ETP.

Figure 4 :
Bilan radiatif.



Bilan radiatif

Le bilan radiatif entre pour une grande part dans le calcul de l'ETP. Il s'agit de la résultante au niveau de la surface de la Terre de l'ensemble des flux d'énergie sous forme radiative. On distingue :

- ✓ le rayonnement solaire (RG) ;
- ✓ le rayonnement atmosphérique ;
- ✓ le rayonnement terrestre.

Rayonnement solaire

Lors de la traversée de l'atmosphère, le rayonnement solaire est diffusé, absorbé ou réfléchi. La moitié environ du rayonnement incident atteint le sol : c'est le rayonnement global (RG). La surface terrestre en absorbe alors une partie et renvoie le reste par réflexion. La fraction du rayonnement solaire réfléchi par la surface terrestre est très variable selon la nature du sol et se calcule par un coefficient appelé **albédo** (A_T).

Rayonnement atmosphérique

Compte tenu des températures régnant dans les différentes couches atmosphériques, ces dernières émettent un rayonnement infrarouge de grande longueur d'onde (5 000 nm à 100 000 nm). Par les transferts radiatifs successifs, une partie (RA) parvient au sol où elle est absorbée entièrement tandis que le reste va se perdre dans l'espace.

Rayonnement terrestre

La surface terrestre émet également un rayonnement (RT) dans l'infrarouge ; il varie avec la nature du sol, son état hydrique et

sa température.

Pour calculer le bilan radiatif, encore appelé **rayonnement net** (R_n), il suffit de prendre en compte ces différents rayonnements au niveau du sol (chaque terme étant compté positivement s'il constitue un gain d'énergie pour la surface, négativement dans le cas contraire) :

$$R_n = (1 - A_T)RG + RA - RT.$$

Variabilité de l'ETP

L'ETP est calculée à partir de la vitesse du vent, de la température, de l'humidité et du rayonnement global et/ou de l'insolation.

Afin de mettre en évidence l'influence de chacun de ces paramètres sur la variabilité de l'ETP, celle-ci sera étudiée en faisant varier un seul paramètre à chaque fois, les autres étant initialisés à leur valeur moyenne. La variation de chaque paramètre a été fixée à plus ou moins une fois l'écart-type, centré sur la moyenne calculée sur la période 1971-2000 pour le poste de Nouméa. Dans les conditions climatiques de Nouméa, le rayonnement est le paramètre qui a l'influence relative la plus importante sur l'ETP. Il impacte fortement l'ETP radiative qui est le terme prépondérant dans le calcul de l'ETP. De plus, le rayonnement possède une très grande variabilité d'un jour à l'autre, tout comme le vent.

Les autres paramètres sont liés de façon plus ou moins directe au rayonnement

Quelques exemples d'albédo :

- neige fraîche : 0,8 à 0,9
- rochers : 0,15 à 0,25
- sol cultivé : 0,07 à 0,14
- forêts : 0,06 à 0,20
- mer* : 0,05 à 0,40

*L'albédo de la mer varie en fonction de la hauteur du soleil au dessus de l'horizon et de l'agitation de la surface.

Variabilité de l'ETP en faisant varier les paramètres de la station de Nouméa de plus ou moins une fois l'écart type

Paramètres	Moyenne	Ecart-type	Variabilité (en %)
Température (en °C)	23,4	2,7	19%
Humidité (en %)	75,7	7,5	-31%
Vitesse du vent (en m/s)	5,2	2,2	14%
Rayonnement global (en J/cm ²)	1890	721	45%

Figure 5 : Paramètres influençant l'ETP.

global. Lorsque celui-ci est fort, les températures augmentent, faisant chuter le taux d'humidité de l'air et favorisant la mise en place des brises qui renforcent le vent. Ainsi lorsque le rayonnement est important, tous les paramètres ont tendance à faire augmenter l'ETP. Inversement, les jours où le rayonnement est faible correspondent à des journées nuageuses, plus humides, avec des températures maximales moins élevées et donc une évapotranspiration plus faible.

L'humidité est le seul paramètre dont la variabilité est inverse à celle de l'ETP.

Il est aussi intéressant de remarquer que malgré un faible écart-type, l'humidité et la température jouent un rôle important. Potentiellement, ceux-ci ont un fort impact sur les variations de l'ETP, mais le climat calédonien, sous l'influence océanique, limite la variabilité de ces deux paramètres. Ils ne jouent donc pas un rôle prépondérant dans les variations de l'ETP en Nouvelle-Calédonie.

Le vent n'intervient que dans le terme advectif du calcul de l'ETP ce qui limite son influence.

Evolution saisonnière de l'ETP

Le *figure 6* montre l'évolution de l'ETP quotidienne moyenne mensuelle pour différents points de mesure. Il apparaît un cycle saisonnier très net entre les mois de la saison fraîche (mai à août) où les valeurs sont les plus faibles, et les mois de la saison sèche (entre octobre et décembre) où elles sont maximales.

L'ETP varie en fonction des conditions locales. Les valeurs les plus fortes sont enregistrées

sur la côte Ouest avec un maximum à Nouméa, station particulièrement ensoleillée et ventée. La côte Est, plus arrosée donc plus nuageuse, enregistre des valeurs plus faibles comme à Poindimié. L'ETP du poste de Ouanaham est comparable à celle de la station de Poindimié sauf en été où cette région est plus nuageuse. Dans des conditions d'altitude comparables, l'ETP varie peu géographiquement ($\pm 20\%$), comme la température moyenne et l'humidité. En revanche, elle diminue fortement avec l'altitude, comme au Koniambo, car les températures moyennes et le rayonnement global sont très inférieurs à ceux des autres postes.

Au cours de la saison sèche, l'ETP quotidienne moyenne est comprise entre 6 mm/j et 6,5 mm/j à Nouméa. Elle varie de 3,3 mm/j à 3,8 mm/j de mai à août. Le cycle annuel est donc très important par rapport à la moyenne annuelle (4,8 mm/j à Nouméa). L'amplitude de ce cycle est comprise entre 50 % de la moyenne annuelle pour la côte Est et 84 % sur la côte Ouest (La Tontouta).

Figure 6 : ETP quotidienne au fil des mois.

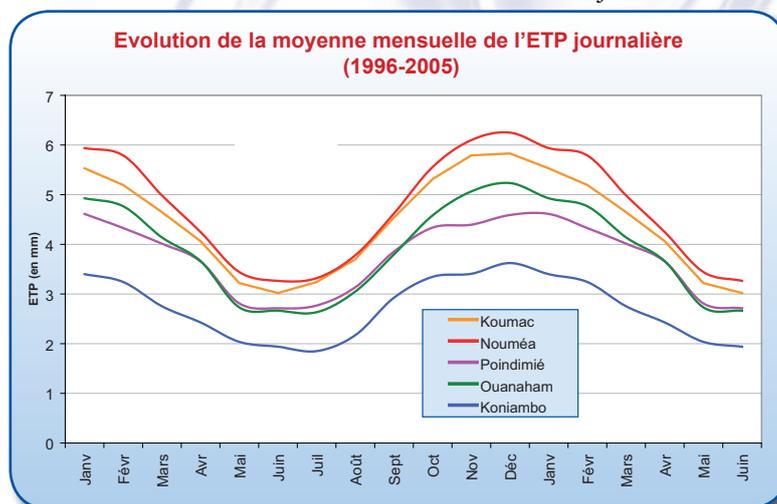


Figure 7 a :
Bilan hydrique à Koumac.

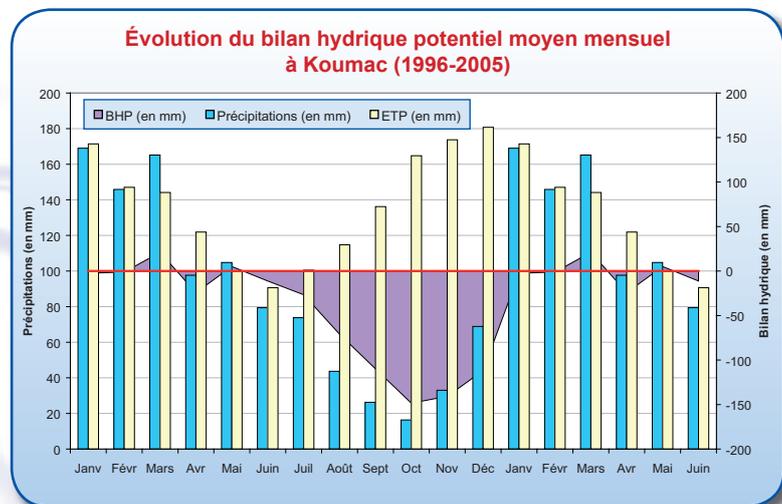


Figure 7 b :
Bilan hydrique à Nouméa.

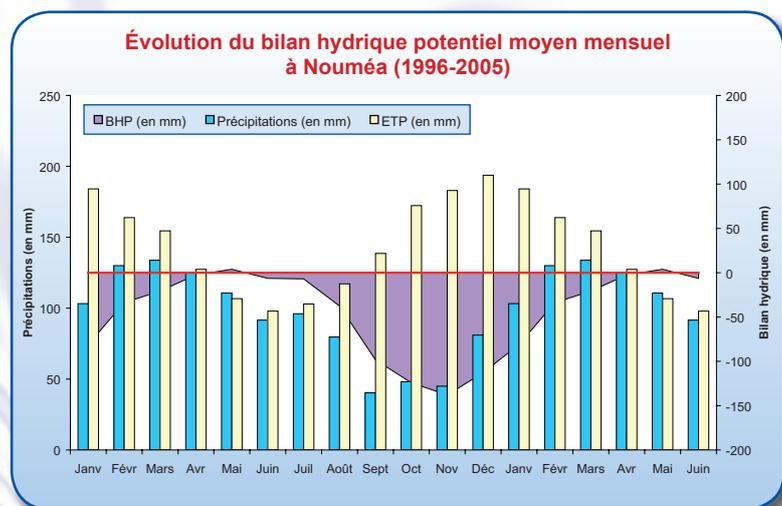
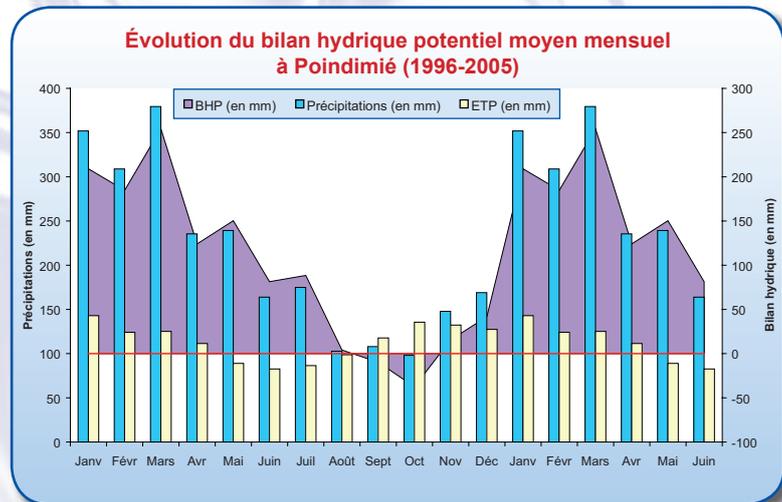


Figure 7 c :
Bilan hydrique à Poindimié.



Bilan hydrique

Pour compenser les pertes en eau par évapotranspiration, il faudrait que les précipitations soient au moins égales à l'ETR. Cette notion d'équilibre entre apports et pertes en eau revient à calculer le bilan hydrique.

Les données nécessaires à son calcul sont :

- ✓ Les données pédologiques, qui définissent la constitution et la structure d'un sol, lesquelles déterminent la quantité d'eau qu'il peut contenir ;
- ✓ Les quantités de précipitations (RR) et l'évapotranspiration potentielle (ETP) ;
- ✓ Les données phénologiques : type de couvert végétal ou de culture et stade de son développement. Ces données sont synthétisées par le coefficient cultural k_c et traduisent le besoin réel en eau de la plante ($ETM = k_c \cdot ETP$).

Le calcul du bilan hydrique se fait par itérations successives mensuelles, décadaires ou journalières. On détermine tout d'abord l'état initial de la réserve en eau du sol. On y ajoute l'apport en eau que sont les précipitations (RR), et on retranche la quantité d'eau réellement évapotranspirée (ETR) :

$$Bh = Bh_i + RR - ETR$$

Bh_i : bilan hydrique initial

Le bilan hydrique permet d'estimer la période et la quantité d'irrigation nécessaire lorsqu'il y a déficit hydrique. Si l'apport en eau est trop important, on dépasse la capacité au champ du sol (quantité maximale d'eau que peu contenir le sol). L'eau en surplus stagne (inondation) ou s'écoule (ruissellement).

Le **bilan hydrique potentiel (BHP)** est la différence entre les apports par les précipitations et les pertes supposées égales à l'ETP. Il ne dépend que des conditions climatiques et permet de préciser les périodes où les précipitations ne couvrent plus les besoins théoriques en eau des plantes.

Notons que le **BHP donne une image pessimiste des réserves en eau** car l'ETP est nécessairement supérieure à l'ETR.

Variabilité du bilan hydrique potentiel moyen

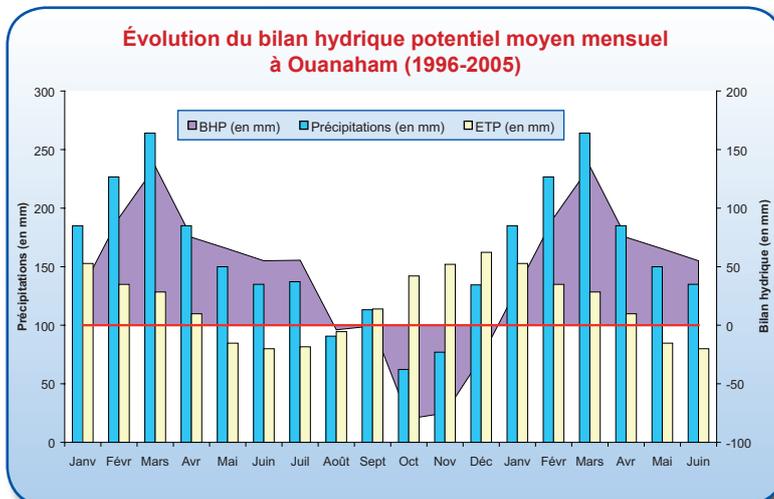
L'ensemble des figures 7a à 7d représente la variation au cours d'une année du bilan hydrique potentiel moyen mensuel.

Comme pour l'ETP, nous retrouvons un cycle saisonnier très net pour Nouméa avec un maximum observé entre mai et juillet lorsque l'ETP est au plus bas et que les précipitations sont encore assez abondantes. Notons toutefois que le bilan hydrique est en moyenne toujours négatif excepté en mai. Ce déficit est même très important entre septembre et décembre : l'ETP est alors maximale et les précipitations sont rares. C'est ce qui caractérise la saison sèche.

Pour les postes du nord de la côte Ouest (Koumac figure 7a), ce maximum est observé en février et mars, lorsque les précipitations abondantes de la saison cyclonique compensent une ETP pourtant importante. Un deuxième maximum est enregistré en mai, lorsque l'ETP diminue fortement et que les précipitations sont encore suffisantes. Remarquons aussi que la saison sèche commence un peu plus tôt qu'à Nouméa (Figure 7b), et qu'elle est plus sévère avec un BHP très négatif de septembre à décembre. Ainsi, les variations du BHP dans le nord de la côte Ouest sont plus contrastées qu'au sud : les deux régimes de précipitations sont légèrement différents alors que les ETP sont très proches.

Pour les postes de la côte Est (Figure 7c), l'évolution du BHP est tout autre. Les précipitations sont beaucoup plus abondantes tout au long de l'année. A Poindimié, seuls les mois de septembre et octobre présen-

Figure 7 d :
Bilan hydrique à Ouanaham.



tent un déficit hydrique. L'excédent pluviométrique est même très important durant l'été. De plus, les conditions étant plus humides et nuageuses, l'ETP est légèrement inférieure par rapport à celle de la côte Ouest. Les régions de la côte Est sont donc moins exposées aux sécheresses. Cependant, certaines zones de la côte Est sont moins arrosées, notamment entre Houaïlou et Thio.

L'évolution du BHP aux îles Loyauté (Figure 7d) est très contrastée entre une saison très pluvieuse durant la période cyclonique et une période plus sèche entre octobre et novembre avec un déficit hydrique assez marqué.

Pour conclure, il apparaît clairement que l'évolution du bilan hydrique est très liée à celle des précipitations, l'ETP variant finalement assez peu d'une région à une autre en

