

IV. METEOROLOGIA

1. Il Sahel meteorologico

La definizione geografica del Sahel che abbiamo dato all'inizio e che va ritenuta a tutti gli effetti di azione pratica che fanno oggetto di questo studio, non coincide perfettamente con la sua definizione in termini meteorologici. È opportuno tuttavia precisare anche questa seconda delimitazione perché rientra nel contesto della descrizione teorica e sinottica che seguirà.

Il Sahel è limitato a S da una linea ideale mediana fra l'isoieta dei 500 mm, l'isoamplitudine termica dei 10° C e l'asse del campo aerologico allorché è equamente ripartito durante l'anno fra l'eliseo di NE ('harmattan') e il monsone di SW.

Il carattere continentale o continentalizzato dei flussi d'aria imprime alla zona una tonalità igrometrica secca, con precipitazioni annuali comprese fra i 100 e i 500-600 mm — che permettono unicamente una vegetazione di steppa —, con una estate che rimane calda e influenzata da una ancor forte evaporazione. Tali contrasti marcati fanno alternare una estate calda a un periodo invernale relativamente fresco, specie per le notti, con le temperature più forti che si registrano nei periodi intermedi.

A causa dell'assenza di accidenti orografici di rilievo, e della scarsa densità della rete di stazioni meteorologiche, questa zona appare poco differenziata se si prescindere dal fatto che il Sahel occidentale rimane comunque più caldo di quello orientale¹.

L'orografia mette in evidenza la parte sud del massiccio dell'Air (Niger) e il massiccio del Darfour (Sudan). Quest'ultimo registra nella sua parte SW precipitazioni superiori ai 500 mm ed è anche caratterizzato da ampiezze termiche diurne molto forti che possono raggiungere nella stagione invernale i 27° C. I dintorni del

¹ La densità delle stazioni meteorologiche costituisce un fattore importante: per esempio una sua intensificazione permetterebbe di mettere in evidenza una regione climatica associata all'Adrar di Mauritania.

lago Ciad, e particolarmente le rive occidentali, denunciano un livello maggiorato di umidità e una massima differenza di temperature.

Per una definizione meteorologica più precisa della zona saheliana possono essere adottati i criteri generali seguenti ²:

	Ovest	Ciad	Sudan
Aerologia (mesi annuali di monzone)	< 6	< 6	< 6
Umidità relativa media	≤ 40-30	≤ 40-30	≤ 40-30
Rapporto fra estremi di umidità	> 3-4	> 3-4	≤ 3
Temperature annuali medie	30°	29°	≤ 29°
Temperature annuali massime	45°	44°	43°
Amplitudine termica annuale	10-15°	8-12°	7-11°

Le 3 zone hanno precipitazioni annuali comprese fra i 100 e i 600 mm. Sono di tipo boreale (2b) a regime 1.

2. Circolazione generale dell'aria ⁴

L'aspetto più tipico e il fattore più permanente e statico della circolazione dell'aria e del regime climatico nelle regioni considerate è costituito dagli anticiclioni del Sahara.

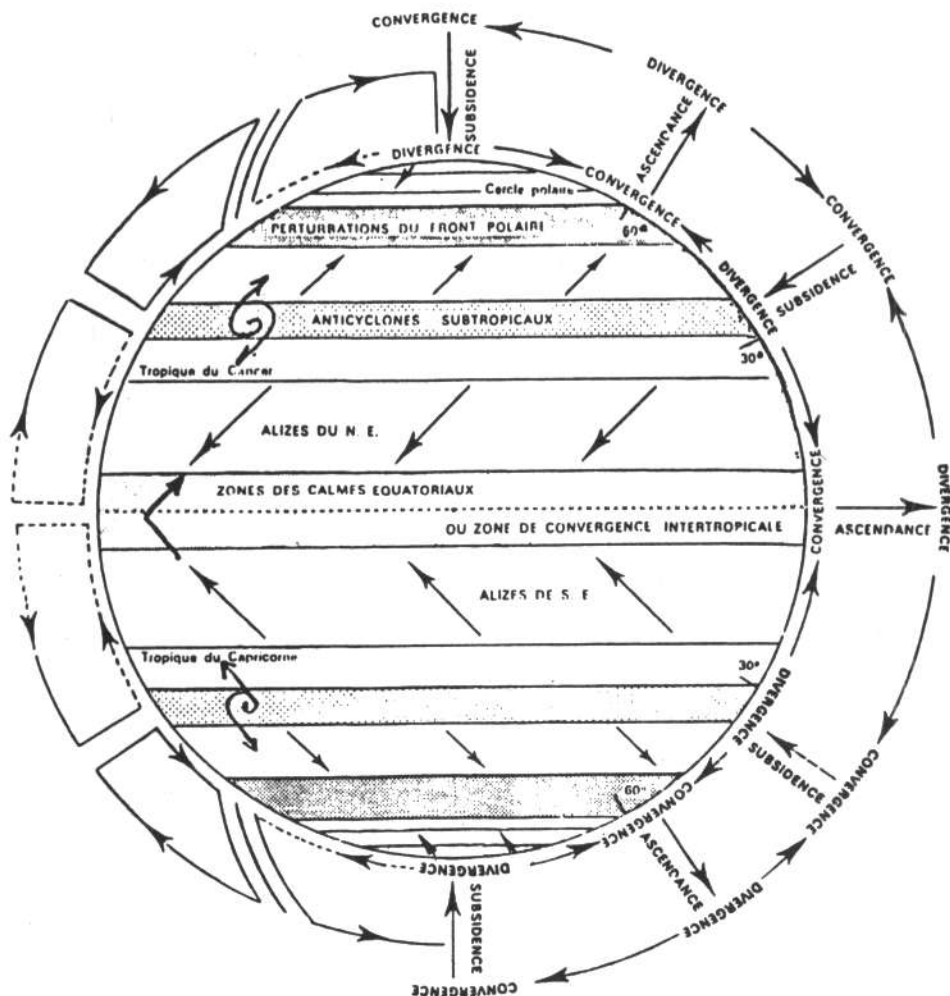
Come è noto gli anticiclioni tropicali formano due fasce intorno al globo a N e a S dell'equatore circa alle latitudini dei 30° N e 30° S. In queste zone si verifica all'altezza della tropopausa (sui 10.000-12.000 m) una convergenza di masse d'aria provenienti da N e da S (controalisei), aria che discende lentamente arrivando al suolo calda e secca; a questo punto la pressione è relativamente alta, anzi la più alta fra le medie pressioni riscontrabili sulla superficie del globo (1016-1022 mb). L'aria tende quindi a compensare l'eccedenza di pressione muovendo verso l'esterno. Queste correnti sono deviate verso destra nell'emisfero N e verso sinistra in quello S a causa della rotazione terrestre (forza di Coriolis); l'aria in sostanza circola intorno al centro di alta pressione degli anticiclioni nel senso delle lancette dell'orologio nell'emisfero N, in senso contrario in quello S (come le correnti marine e qualsiasi vortice di acqua o aria). Di conseguenza nelle fasce anticicloniche che si trovano sui tropici i venti da esse generati soffiano da E a W, dando luogo agli alisei di NE nell'emisfero N e agli alisei di SE nell'emisfero S (sono i 'Trade Winds'). Da notare che queste fasce non sono ovviamente continue ma formate di cellule anticicloniche situate a catena intorno alle latitudini dei 30°N e S con posizioni più o meno fisse. I meccanismi di circolazione dell'aria sui tropici sono analoghi a quelli sui poli, contrari a quelli della zona delle perturbazioni polari (60°N e 60°S) e a quelli della zona delle calme equatoriali ³.

² Prof. Marcel Leroux dell'Università di Dakar, autore del primo compendio completo di meteorologia tropicale africana (*Le climat de l'Afrique tropicale* pubblicato dall'OMM - Organizzazione Meteorologica Mondiale).

³ Tre sono dunque i movimenti di aria sui tropici: convergenza, subsidenza e divergenza. Il medesimo schema di circolazione si verifica sui poli che sono come gli anticiclioni tropicali zone di alta pressione. Lo schema inverso — convergenza al suolo, ascendenza e divergenza ad alta quota — si verifica invece nelle fasce dei fronti delle perturbazioni polari (60°N e 60°S) e nella fascia delle calme equatoriali, altrimenti detta zona di convergenza intertropicale.

Gli alisei derivanti dalle fasce anticicloniche tropicali dei due emisferi tendono a convergere, appunto nella 'zona di convergenza intertropicale' (ZCIT) che riceve molto calore solare, per cui convergenza e riscaldamento provocano una corrente ascendente nella quale per la decrescente pressione l'aria si raffredda provocando condensazione, annuvolamenti e precipitazioni attraverso le quali si libera molto del calore potenziale della condensazione. La corrente ascendente devia poi in altitudine (16.000-18.000 m) in direzione dei poli e una parte di essa alimenta le masse d'aria discendenti (subsidenza) sulle cinture anticicloniche tropicali dove l'aria

(ZCIT) che sono zone di bassa pressione. Questi fenomeni possono essere molto schematicamente riassunti col disegno seguente:



giunge al suolo calda e secca, a differenza di quella della zona intertropica che è tiepida e umida.

La diversa inclinazione stagionale dell'asse terrestre di fronte all'irradiazione solare fa sì che la ZCIT e le fasce anticicloniche tropicali, che agli equinozi sono rispettivamente sull'equatore e sui due tropici, si spostino verso N e verso S ai solstizi di estate e d'inverno. Abbiamo ritenuto utile riassumere queste nozioni elementari a maggior chiarimento del quadro meteorologico delle regioni che ci interessano.

Gli anticicloni tropicali del Sahara hanno infatti caratteristiche del tutto particolari e atipiche per un continente. Hanno una permanenza non riscontrabile altrove per via del surriscaldamento del suolo ove si registrano temperature che sono fra le più alte del pianeta. In tutta la zona africana compresa fra i 20°N e i 35°N i sondaggi atmosferici denunciano una anomalia positiva di pressione che si propaga ad altissima quota (fino all'isobaro dei 100 mb). Tale anomalia è dovuta all'eccesso di calore del suolo e alla risalita di aria surriscaldata la quale, non potendo evadere a causa delle alte pressioni, si accumula fino alla tropopausa (a queste latitudini, intorno agli 11.000-13.000 m); è solo al disopra di essa che le pressioni cominciano a riequilibrarsi. Si tratta come si vede di anticicloni altamente dinamici, aventi uno spessore di almeno 6000-7000 m e la cui presenza può essere avvertita anche fino ai 20.000 m.

Gli anticicloni sahariani hanno una stabilità del tutto eccezionale. Come è noto le cellule anticicloniche hanno tendenza a formarsi più facilmente sugli oceani, dove la circolazione dell'aria è più libera e la temperatura del mare più alta anche in inverno, che non sui continenti; ciò anche in quanto i rilievi continentali deviano le loro correnti discendenti a vortice in vario modo squilibrandole. Ma il Sahara, in quanto grande zona continentale senza rilievi apprezzabili (il Hoggar, l'Ennedi e il Tibesti non esercitano influenze sensibili fuori del loro ambito immediato), garantisce ai suoi anticicloni la stessa stabilità che hanno sugli oceani. Ecco che così, a oriente del vasto e importante anticiclone delle Azzorre, si snoda tutta una collana di anticicloni sahariani (all'incirca intorno all'asse Agadir-Beni Abbes-Ghadames) la cui permanenza, stabilità e dinamicità è a tutta prova: il Sahel è la principale vittima di questa situazione, come si potrà vedere da quanto segue⁴.

Durante l'inverno la ZCIT (zona di convergenza intertropica) si sposta a S dell'equatore (può avvenire che il suo margine superiore non raggiunga nemmeno il golfo di Guinea), mentre la fascia anticiclonica si trova ben stabilizzata nell'alto Sahara: le regioni saheliane e sudanesi sono continuamente spazzate dall'eliseo di

⁴ Anche l'anticiclone delle Azzorre è ben stabilizzato e genera un aliseo di origine marittima che influenza la costa occidentale. Può anche verificarsi che irruzioni di aria fredda circolanti intorno alle depressioni cicloniche del fronte delle perturbazioni polari (60°N) cavalchi questo aliseo in quota portando sulle coste della Mauritania e del Senegal annuvolamenti e brevi quanto eccezionali piogge invernali con un massimo di 20 mm, ma spesso solo poche gocce ('heug'). Questo aliseo infatti, sebbene umido per la sua origine, è incapace a creare precipitazioni, ma l'umidità negli strati bassi si condensa in nebbia e rugiada, raramente in leggere piogge. La sua influenza si estende fino a Dakar per 9 mesi all'anno, mentre dura tutto l'anno fino a Nouadibou, creando sulla costa di Mauritania una striscia come di deserto freddo tropicale.

NE che prende il nome di 'harmattan', vento caldo e secco che può trasportare sabbia sahariana creando una 'nebbia secca' capace di diminuire sensibilmente la visibilità.

In estate invece la ZCIT si sposta a N dell'equatore e può arrivare col suo margine N fino ai 25°N. Sennonché l'intenso surriscaldamento dell'aria sahariana tende ad aumentare ancora la sua relativamente bassa pressione. In questa situazione le basse pressioni della ZCIT attirano gli alisei di SE liberati dagli anticloni dell'emisfero australe (in particolare quello importantissimo dell'isola di S. Elena). Per la forza di Coriolis questi alisei di SE passando l'equatore deviano a destra ad angolo retto e si avvicinano alla ZCIT come venti di SW: vengono designati col termine di 'monsoni'⁵.

Il monsone, carico dell'umidità evaporata dall'oceano, trasporta sul continente forti masse di aria umida atta a trasformarsi in precipitazioni. Esso domina tutto l'anno sul golfo di Guinea fra capo Palmas e il monte Camerun e giunge al cuore dell'Africa centrale lungo un triangolo avente la sua base sulla costa occidentale, fra 4°N e 6°S, e il vertice al punto 2°N - 27°E (in sostanza il Camerun meridionale, il Gabon, il Congo-Brazzaville e il NW dello Zaire); viene solo leggermente deformato dal golfo di Guinea e un poco di più dagli altipiani e dai sistemi montagnosi dell'Africa centrale e orientale. Ma in estate, con lo spostamento a N dell'equatore meteorologico, viene a investire l'intero Sahel partecipando ai suoi equilibri meteorologici e climatici. Sul Sahel occidentale trasporta l'umidità evaporata dall'Atlantico, mentre sul Sahel centrale (Ciad) e orientale (Sudan) compensa la perdita parziale di questa umidità con quella raccolta dall'evapotraspirazione delle foreste equatoriali (ove la tensione del vapor d'acqua è talora anche superiore a quella degli oceani); e finalmente con la fortissima evaporazione dell'enorme bacino del Bahr al Ghazal inondato dal Nilo Bianco (si calcola che oltre il 92% dell'acqua evapori, e che solo meno dell'8% defluisca nel corso successivo del fiume).

Poiché le forze di spinta e di aspirazione agenti sulle masse d'aria variano a seconda della lunghezza e dell'itinerario dei percorsi compiuti sull'oceano e sul continente, del volume e dell'origine del vapor d'acqua trasportato, così il monsone subisce esso medesimo grandi variazioni di intensità e grado di umidità. A esso vengono a opporsi gli alisei di NE caldi e secchi, cioè l' 'harmattan', proveniente dagli anticloni del Sahara, che hanno persino la forza di rallentare lo spostamento estivo a N della ZCIT ritardandolo anche di 4-6 settimane rispetto alla posizione zenitale del sole: il risultato è una stagione delle piogge più corta. Gli alisei di NE e il monsone soffiano dunque in estate alternativamente nelle regioni saheliane e sudanesi determinandone in larga misura le condizioni meteorologiche e climatiche.

⁵ Il termine di 'monsone' ha vari significati. Originariamente stava a indicare venti che soffiano con grande persistenza e regolarità in certi periodi dell'anno a causa della differenza di temperatura fra i mari e i continenti; le regioni più favorevoli allo sviluppo dei monsoni sono le latitudini medie prossime ai tropici, perché presso l'equatore le variazioni stagionali delle temperature sono troppo limitate per provocarne la formazione. In realtà peraltro tutti i continenti producono nella zona intertropicale degli 'effetti di monsone', che si traducono in una componente diretta verso il continente nella stagione calda e verso il mare in quella fresca: ciò ha consacrato nell'uso una estensione del termine di monsone al di là del fenomeno specifico e geograficamente localizzato che originariamente stava a designare.

Bisogna notare che il monsone è molto più variabile nel tempo e nello spazio che gli alisei tropicali: la sua persistenza media è del 60% sugli oceani e molto minore sui continenti, mentre la persistenza degli alisei è del 90%. Di conseguenza la permanenza, la stabilità e il dinamismo del sistema anticiclonico del Sahara fanno sì che qualsiasi indugio o deficienza nel variabile meccanismo del monsone si traducano immediatamente in una flessione pluviometrica nelle regioni saheliiane e sudanesi ma in primo luogo, e per una questione di latitudine, nel Sahel.

3. Precipitazioni estive e linee di perturbazione

Nel Sahel le piogge estive sono dunque dovute alla traslazione verso N della ZCIT, o equatore meteorologico, e all'umidità trasportata dal monsone atlantico. Il loro volume e la loro durata in un punto determinato dipendono quindi in primo luogo dalla latitudine.

Queste precipitazioni hanno luogo lungo determinate 'linee di perturbazione' (*lignes de grains* — *disturbances lines*) e sono imperniate sugli equilibri dell'incontro fra l'eliseo continentale di NE (*harmattan*) e il monsone atlantico di SW.

Vediamo sommariamente i fenomeni alle varie latitudini procedendo da N a S:

- a) *Estremo Nord* (circa 25°N - 22°N). *Zona sahariana*. Il monsone è all'estremo della sua corsa e siccome l'harmattan di molto su di esso predomina, la sua aria secca tende a superare la corrente monsonica passandovi sotto, in quanto più pesante per l'alta pressione. Al limite fra le due masse d'aria o fronti l'aria ascendente è troppo secca per produrre precipitazioni (nel Sahara le scarse e rare precipitazioni sono esclusivamente dovute a irruzioni di aria fredda proveniente dal fronte delle perturbazioni polari, 60°N). L'altezza media longitudinale della zona è di 400 km. Il cielo è chiaro. Le nuvole sono a forma di cirri e altocumuli. Vi è il fenomeno delle litometeore (nebbia secca o venti di sabbia).
- b) *Nord* (circa 22°N - 18°N). *Zona saheliana superiore*. Il monsone arriva ad agire entro certi limiti, ma le precipitazioni provengono da cumuli di modeste proporzioni e localizzati (cumuli di bel tempo) e sono sotto forma di temporali isolati o piogge sparse di media intensità (sui 50 mm). L'altezza media longitudinale della zona è di 200 km. Lo spessore medio del monsone è fra lo zero e i 1000-1500 m. Il cielo è poco nuvoloso.
- c) *Zona delle linee di perturbazione* (circa 18°N - 13°N). *Zona saheliana inferiore e sudanese superiore*. Qui lo scontro fra harmattan e monsone è drammatico e in certo senso ad armi pari, con la formazione di cumulonembi verticali che raggiungono grandi altitudini e piogge torrenziali o diluvi di breve durata, in genere dai 30' alle 2 ore, e con precipitazioni sui 200 mm. Sono fasce di cumulonembi attivi che possono estendersi per una lunghezza di 200 km, allineati da N a S e che si muovono da E a W alla velocità degli strati medi del harmattan, ossia a 25 nodi. Questi cumulonembi si autogenerano e possono durare vari giorni portando pioggia a centinaia di migliaia di km². Le precipitazioni diluviali sono precedute da transizioni subitanee dal normale monsone di SW a folate e raffiche provenienti da E di aria rinfrescata dall'evaporazione della pioggia. L'altezza media longitudinale della zona è fra i 200 e i 400 km. Lo spessore del monsone è fra i 1000 e i 3400 m. Il cielo è coperto.

- d) *Sud* (circa 13°N - 9°N). *Zona sudanese inferiore e guineana*. Qui il monzone può dispiegare tutta la sua potenzialità con piogge continue fra moderate e forti provenienti da altocumuli, altostrati e stratocumuli. L'altezza media longitudinale della zona è fra i 200 e i 500 km. Lo spessore del monzone è fra i 1000 e i 3400 m.
- e) *Estremo Sud* (circa 9°N - 5°N). *Zona del golfo di Guinea*. Il monzone è permanente e dura tutto l'anno con piogge deboli e acquerugiose ma continue, provenienti da strati, stratocumuli e cumuli. Lo spessore del monzone è di circa 2000 m. Il cielo è poco nuvoloso.

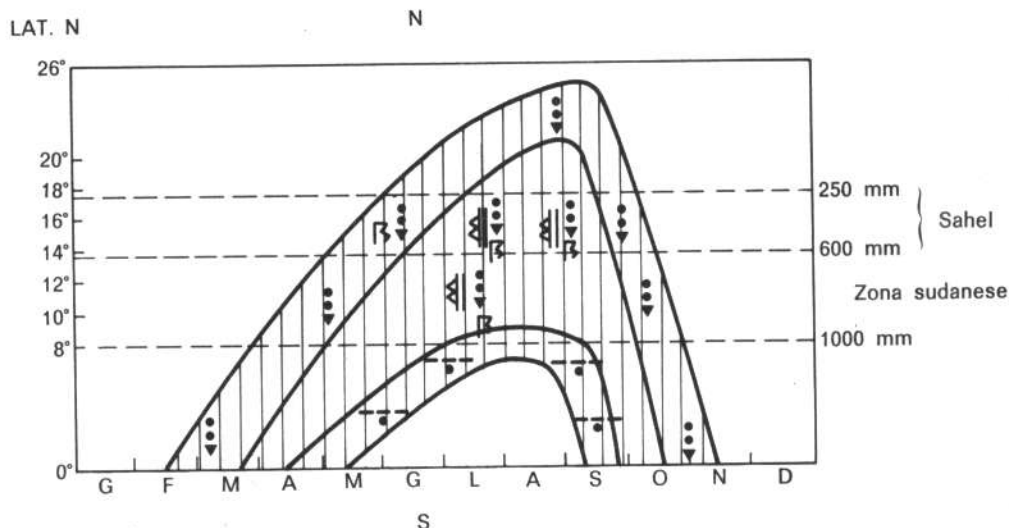


Diagramma del movimento stagionale del monzone atlantico e delle aree raggiunte. Una arbitraria distinzione è stata fatta fra zone ad acquazzoni sparsi \bullet , a temporali B, a linee di perturbazione A, ad annuvolamenti più vasti con piogge più persistenti ---. Il ritardo rispetto alla posizione zenitale del sole fa sì che il massimo spostamento verso N ha luogo in agosto.

A maggior chiarimento del meccanismo delle linee di perturbazione possiamo vedere il fenomeno di una perturbazione singola, presa isolatamente. In una prima fase di avvicinamento di un nucleo anticiclonico mobile all'equatore meteorologico (ZCIT), quando il contatto non ha ancora avuto luogo, l'anticiclone con le sue eventuali litometeore e il monzone soffiano normalmente. In una seconda fase, quella del contatto, il nucleo anticiclonico più pesante e freddo a causa dell'alta pressione continua il suo cammino attraverso il fronte intertropicale (ZCIT) e obbliga il monzone più leggero a sollevarsi sopra di esso, con formazione di cumuli nei quali l'umidità comincia a condensarsi e a precipitare. In una terza fase il nucleo anticiclonico ha superato la linea dell'equatore meteorologico e sopra di esso il monzone produce cumulonembi e poi altocumuli ed altostrati con forti precipitazioni diluviali.

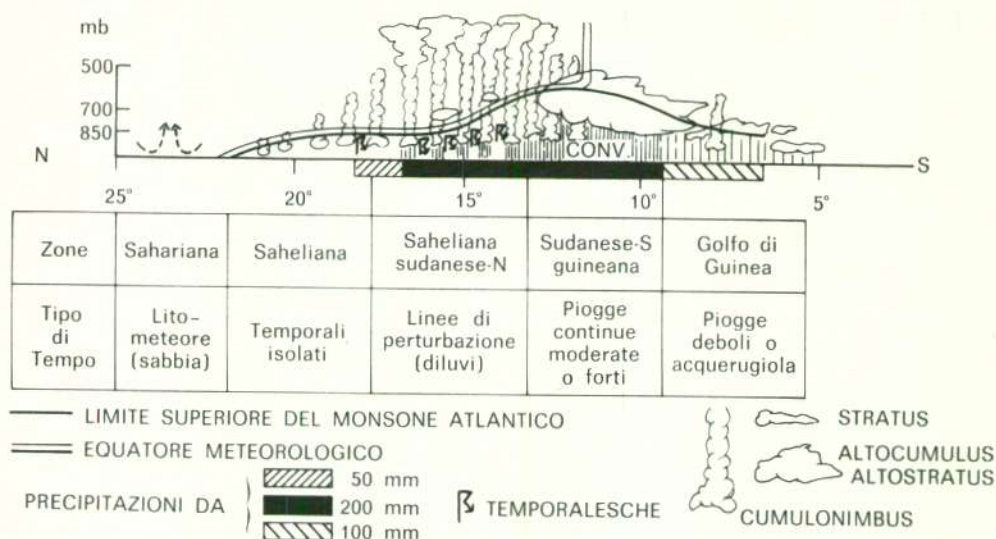


Diagramma sui tipi di tempo e precipitazioni sull'Africa occidentale in agosto verso il meridiano 0° Gr. Sezione verticale N-S da 25°N a 5°N (secondo M. LEROUX, La dynamique des précipitations en Afrique occidentale. ASECNA PDEM n. 23, Dakar, 1970).

4. Altri fattori pluviometrici e agroclimatici

Oltre alle piogge sparse, alle linee di perturbazione e alle precipitazioni più continuative, vi sono altri fenomeni più rari che possono portare pioggia nelle regioni considerate sia in estate che durante l'inverno. Certune sono perturbazioni che si originano nelle correnti provenienti da E che piegano poi verso N attraversando i tropici come cicloni tropicali; altre invece riflettono l'influenza delle depressioni del fronte delle perturbazioni polari con penetrazione di aria fredda attraverso i tropici verso S (per es. la breve 'pioggia dei manghi' del Mali in aprile, così chiamata perché coincide col momento della maturazione di questi frutti). Non vale però la pena di esaminare in questa sede tali fenomeni che sono relativamente rari e poco conosciuti nei loro aspetti sinottici.

Come si vede, le piogge di queste regioni sono dovute allo spostamento estivo a N della ZCIT e il meccanismo finale è in gran parte quello delle linee di perturbazione. Come conseguenza di ciò, e dell'assenza di una accidentata orografia, il regime pluviometrico è caratterizzato da una certa regolarità qualora venga considerato sulla larga scala dell'insieme delle regioni saheliane e sudanesi, ma questa regolarità diminuisce sensibilmente non appena si salga in latitudine, per cui il Sahel è in permanenza la zona più esposta alla siccità.

Per quanto riguarda gli altri fattori agroclimatici, la circolazione dell'atmosfera è stata presa in considerazione nella misura in cui porta acqua a queste regioni, essendo questo il suo aspetto agroclimatico più importante. Ma possiamo accennare

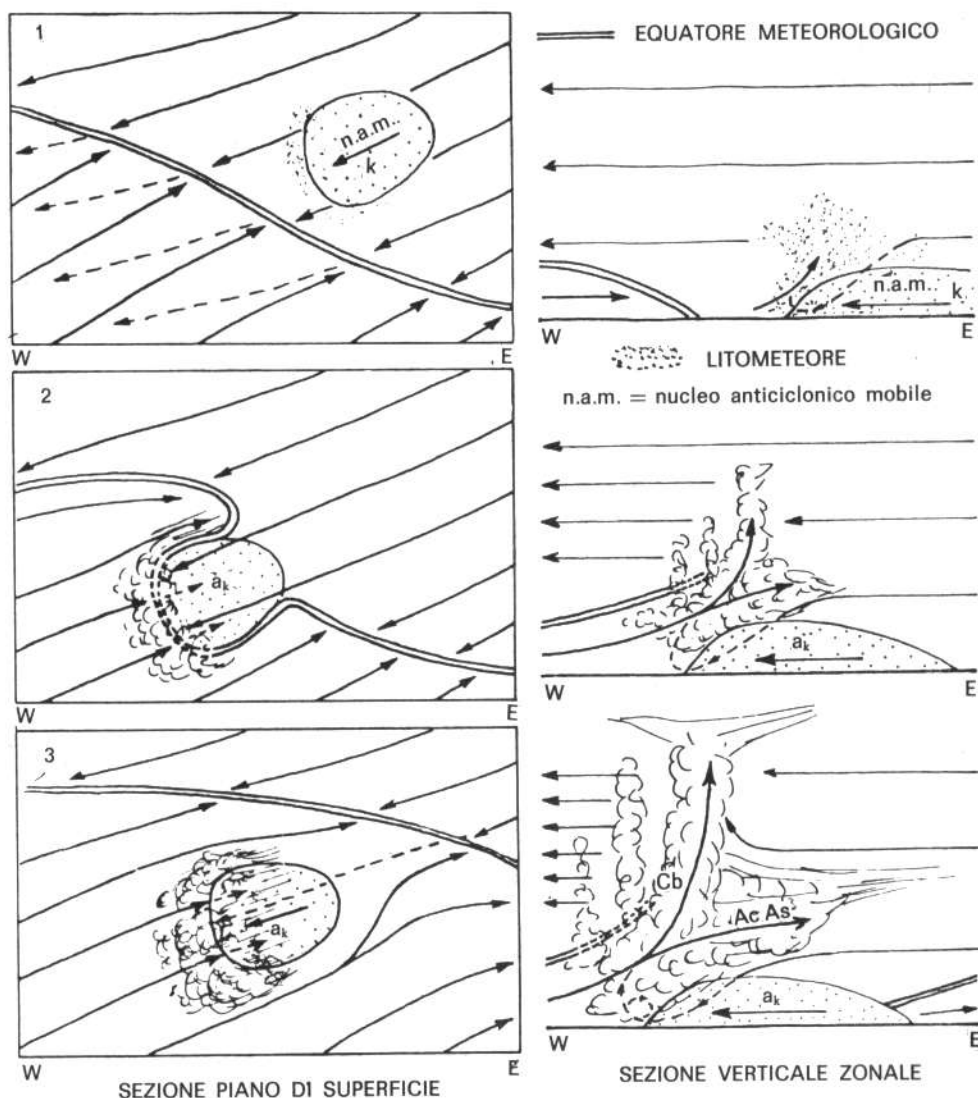


Diagramma del processo di formazione di una perturbazione. Sezione piana di superficie W-E a sinistra; sezione verticale zonale E-W a destra; nelle fasi 1, 2, 3 (secondo M. LEROUX, *Le climat de l'Afrique tropicale*, Th. Doc. Etat, à paraître, Paris, 1983).

sommariamente anche ad altri fattori la cui entità e le cui variazioni sono meglio comprese in termini di meteorologia sinottica.

Le temperature, che dipendono in primo luogo dalla radiazione solare incidente fuori dell'atmosfera, sono ulteriormente regolate dalla nebulosità e dall'avvezione (trasferimenti orizzontali di calore nell'atmosfera); avvezione da NE di aria riscal-

data dalla subsidenza anticiclonica e da SW di aria resa meno calda dalla nebulosità e dall'evaporazione.

Le umidità variano secondo il medesimo meccanismo, essendo l'aria del harmattan secca per la sua origine a una maggiore latitudine, e l'aria del monsone relativamente umida per i percorsi compiuti sull'oceano o sulle foreste equatoriali.

Il vento, la cui direzione e velocità sono principalmente determinate dai regimi del harmattan e del monsone, registra variazioni di velocità su base regionale, specie a N della ZCIT, che influenzano il grado di evaporazione. Queste variazioni sembrano dovute alle posizioni medie delle cellule anticicloniche. Degli aspetti climatici sinottici quali la posizione delle cellule anticicloniche possono anche creare differenze regionali nel grado di nebulosità che a sua volta influisce sulla temperatura e l'evaporazione. Questi aspetti saranno meglio esaminati nell'analisi agroclimatica (cap. V).

5. Meteorologia sinottica

I dati riportati sono derivati da 16 stazioni meteorologiche saheliane rappresentative in funzione della loro posizione geografica e della qualità delle rilevazioni disponibili ⁶.

- Per il Senegal: St. Louis, Matam
- Per la Mauritania: Kiffa, Nema
- Per il Mali: Mopti, Tombuctù, Gao
- Per il Burkina Fasso: Dori
- Per il Niger: Niamey, Tahoua, Zinder, Ngouigmi
- Per il Ciad: Abéché
- Per il Sudan: El Fasher, Ed Dueim, Kassala

5.1. Dati climatologici annuali

5.1.1. PRECIPITAZIONI

Medie (mm):

250-500 mm — St. Louis, Kiffa, Nema, Tombuctù,
Gao, Tahoua, Ngouigmi, El Fasher,
Ed Dueim, Kassala

500-600 mm — Matam, Mopti, Dori, Niamey, Zinder, Abéché

Giorni di pioggia:

St. Louis	25	Niamey	42
Matam	28	Tahoua	35
Kiffa	18	Zinder	35
Nema	25	Ngouigmi	10
Mopti	40	Abéché	51
Tombuctù	17	El Fasher	34
Gao	22	Ed Dueim	23
Dori	40	Kassala	35

⁶ Per l'Africa Occidentale: «Atlas de l'Ouest Africain», 1968, a cura dell'IFAN; parte meteorologica a cura di Charles Toupet. Per il Ciad e il Sudan: *Le climat de l'Afrique tropicale - Atlas*, 1983, di MARCEL LEROUX dell'Università di Dakar.

Distribuzione stagionale (mesi):

- maggio-ottobre: Abéché, El Fasher, Ed Dueim
- aprile-novembre: Kassala
- giugno-settembre: Niamey
- luglio-settembre: Matam, Kiffa, Mopti, Dori, Tahoua, Zinder
- luglio-agosto: Tombuctù, Gao, Ngouigmi
- agosto: Nema

5.1.2. TEMPERATURE

Media (°C):

- superiore a 22,5 — El Fasher
- superiore a 25 — St. Louis, Ngouigmi
- superiore a 27,5 — Matam, Kiffa, Mopti, Tombuctù, Gao, Dori, Niamey, Tahoua, Zinder, Abéché, Ed Dueim, Kassala
- superiori a 30 — Nema

Medie del mese più caldo e più freddo (°C):

St. Louis	28,6 — 21,5	Niamey	33,5 — 24,0
Matam	34,6 — 23,8	Tahoua	34,0 — 24,0
Kiffa	34,8 — 22,6	Zinder	33,0 — 23,0
Nema	35,5 — 23,4	Ngouigmi	32,0 — 21,0
Mopti	33,0 — 22,6	Abéché	32,8 — 25,4
Tombuctù	34,5 — 23,8	El Fasher	29,5 — 18,7
Gao	35,0 — 23,9	Ed Dueim	32,7 — 24,6
Dori	33,5 — 24,0	Kassala	32,4 — 24,4

5.1.3. TENSIONE DI VAPORE (parte di vapor d'acqua nella pressione atmosferica al suolo)

Medie (mb):

- più di 8 — El Fasher
- più di 12 — Kiffa, Nema, Tombuctù, Gao, Tahoua, Zinder, Abéché
- più di 16 — Matam, Mopti, Dori, Niamey, Ngouigmi, Ed Dueim, Kassala
- più di 20 — St. Louis

Medie del mese di tensione massima (umido) e minima (secco) (mb):

St. Louis	29 — 12	Niamey	27 — 6
Matam	28 — 11	Tahoua	25 — 4
Kiffa	25,5 — 6	Zinder	26 — 7
Nema	25 — 6	Ngouigmi	26 — 8
Mopti	26 — 8,5	Abéché	26,5 — 7,3
Tombuctù	26 — 7,5	El Fasher	19,8 — 5,8
Gao	24 — 5	Ed Dueim	23,9 — 8,9
Dori	27 — 7,5	Kassala	23,9 — 12,5

5.2. Dati climatologici mensili

- 12 stazioni: Matam (Senegal); Kiffa e Nema (Mauritania); Mopti e Gao (Mali); Niamey, Zinder e Ngouigmi (Niger); Abéché (Ciad); El Fasher, Ed Dueim e Kassala (Sudan).

5.2.1. PRECIPITAZIONI (mm)

Medie (per zone di < 10, 10-25, 25-50, 50-100, 100-200, 200-300 mm di pioggia mensile).

	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
Matam	—	—	—	—	< 10	< 10	100-200	200-300	100-200	25-50	< 10	—
Kiffa	—	—	—	—	< 10	< 10	50-100	100-200	50-100	10-25	< 10	—
Nema	—	—	—	< 10	10-25	25-50	50-100	100-200	50-100	10-25	—	—
Mopti	—	—	—	< 10	10-25	50-100	100-200	200-300	100-200	10-25	—	—
Gao	—	—	—	—	< 10	25-50	50-100	100-200	25-50	< 10	—	—
Niamey	—	—	—	—	25-50	50-100	100-200	100-200	100-200	10-25	—	—
Zinder	—	—	—	—	25-50	50-100	100-200	100-200	50-100	< 10	—	—
Ngouigmi	—	—	—	—	10-25	25-50	50-100	100-200	25-50	< 10	—	—
Abéché	—	—	—	—	10-25	25-50	100-200	100-200	50-100	10-25	—	—
El Fasher	—	—	—	—	10-25	10-25	50-100	100-200	25-50	< 10	—	—
Ed Ducim	—	—	—	< 10	< 10	10-25	50-100	100-200	25-50	< 10	—	—
Kassala	—	< 10	—	< 10	10-25	25-50	100-200	100-200	50-100	< 10	< 10	—

Giorni di pioggia:

	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
Matam	—	—	—	—	1	5	8	10	9	2	1	—
Kiffa	—	—	—	—	1	3	5	8	5	2	1	—
Nema	—	—	—	1	1	4	7	9	6	2	—	—
Mopti	—	—	—	1	3	6	10	13	10	4	—	—
Gao	—	—	—	—	1	4	9	6	1	1	—	—
Niamey	—	—	—	—	5	7	11	15	9	2	—	—
Zinder	—	—	—	—	4	5	11	14	8	1	—	—
Ngouigmi	—	—	—	—	1	1	6	10	3	—	—	—
Abéché	—	—	—	—	5	5	15	16	9	1	—	—
El Fasher	—	—	—	—	2	3	10	13	5	—	—	—
Ed Ducim	—	—	—	—	1	3	6	8	4	1	—	—
Kassala	—	1	—	1	2	3	9	11	6	—	1	—

5.2.2. TEMPERATURE

Medie (per zone più di 17,5 - 20 - 22,5 - 25 - 27,5 - 30 - 32,5) (°C):

	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
Matam	22,5	25	27,5	30	32,5	32,5	27,5	27,5	27,5	27,5	25	22,5
Kiffa	22,5	25	27,5	30	32,5	32,5	30	27,5	30	30	30	22,5
Nema	22,5	25	27,5	32,5	32,5	32,5	30	27,5	30	30	25	22,5
Mopti	22,5	25	27,5	30	32,5	30	27,5	25	27,5	27,5	22,5	22,5
Gao	22,5	25	27,5	32,5	32,5	32,5	30	27,5	30	30	25	22,5
Niamey	22,5	25	30	32,5	32,5	30	27,5	25	27,5	30	25	22,5
Zinder	22,5	25	27,5	32,5	32,5	30	27,5	25	27,5	27,5	22,5	22,5
Ngouigmi	20	22,5	27,5	27,5	30	30	25	27,5	27,5	27,5	22,5	20
Abéché	22,5	27,5	30	32,5	32,5	30	27,5	25	25	27,5	27,5	25
El Fasher	17,5	20	22,5	25	27,5	27,5	25	25	25	25	20	17,5
Ed Ducim	22,5	25	27,5	30	32,5	30	27,5	27,5	27,5	30	27,5	25
Kassala	22,5	22,5	27,5	30	30	30	27,5	25	27,5	27,5	27,5	25

Minime e massime mensili (°C):

	G	F	M	A	M	G
Matam	13-23	16-35	18-40	23-44	26-45	26-42
Kiffa	14-32	16-35	18-40	22-43	26-45	26-43
Nema	15-30	18-33	22-38	28-42	30-43	28-43
Mopti	14-30	16-36	20-40	24-42	25-40	24-39
Gao	14-30	16-34	20-38	24-43	26-43	26-43
Niamey	16-33	18-36	22-42	26-43	27-40	24-33
Zinder	15-30	17-38	22-40	26-42	26-41	24-38

Ngouigmi	12-30	15-32	18-36	22-41	24-40	24-39
Abéché	16-36	18-37	22-40	23-41	24-40	24-38
El Fasher	9-30	10-32	15-35	18-37	21-38	34-38
Ed Dueim	16-32	17-33	19-37	21-40	24-41	24-39
Kassala	16-34	16-35	19-38	22-40	24-41	25-39
	L	A	S	O	N	D
Matam	24-36	24-35	24-34	22-38	20-36	15-33
Kiffa	26-38	24-36	24-37	22-41	17-36	13-30
Nema	26-40	24-36	25-37	26-41	21-35	17-30
Mopti	22-34	23-32	23-32	23-34	18-33	14-30
Gao	26-38	23-36	24-28	24-40	20-36	14-30
Niaméy	23-33	21-31	23-33	23-38	18-37	16-33
Zinder	23-34	21-31	22-34	22-37	19-34	16-25
Ngouigmi	24-36	23-33	23-35	20-36	16-32	16-29
Abéché	22-34	21-31	20-34	20-37	19-37	16-35
El Fasher	22-34	21-32	20-34	18-36	13-33	13-33
Ed Dueim	22-34	22-34	22-35	23-37	20-35	17-32
Kassala	23-35	22-33	23-36	23-28	20-37	20-37

5.2.3. TENSIONE DI VAPORE (parte di vapor d'acqua nella pressione atmosferica al suolo)

Medie (per zone: < 8, 8-12, 12-16, 16-20, 20-24, 24-28, > di 28) (mb):

	G	F	M	A	M	G
Matam	< 8	8-12	8-12	8-12	12-16	20-24
Kiffa	< 8	< 8	< 8	< 8	8-12	16-20
Nema	< 8	< 8	< 8	< 8	8-12	16-20
Mopti	8-12	8-12	8-12	8-12	16-20	20-24
Gao	< 8	< 8	< 8	< 8	12-16	16-20
Niaméy	< 8	< 8	< 8	12-16	20-24	20-24
Zinder	< 8	< 8	8-12	8-12	16-20	20-24
Ngouigmi	< 8	< 8	8-12	12-16	16-20	20-24
Abéché	8-12	< 8	8-12	12-16	16-20	16-20
El Fasher	< 8	< 8	< 8	< 8	8-12	12-16
Ed Dueim	8-12	8-12	8-12	8-12	12-16	16-20
Kassala	12-16	12-16	12-16	12-16	12-16	16-20
	L	A	S	O	N	D
Matam	24-28	> 28	> 28	24-28	16-20	8-12
Kiffa	20-24	24-28	24-28	16-20	8-12	8-12
Nema	20-24	24-28	20-24	12-16	8-12	< 8
Mopti	24-28	24-28	24-28	24-28	16-20	8-12
Gao	20-24	24-28	20-24	12-16	8-12	< 8
Niaméy	24-28	24-28	24-28	20-24	8-12	< 8
Zinder	24-28	24-28	24-28	12-16	8-12	8-12
Ngouigmi	20-24	24-28	24-28	16-20	8-12	8-12
Abéché	20-24	24-28	20-24	12-16	8-12	8-12
El Fasher	16-20	12-16	16-20	12-16	8-12	< 8
Ed Dueim	20-24	20-24	20-24	16-20	12-16	8-12
Kassala	20-24	20-24	20-24	16-20	12-16	12-16

Umidità relativa (%):

	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
Matam	42	41	36	32	36	46	64	75	74	65	56	49
Kiffa	26	25	23	22	25	42	55	66	63	45	33	30
Nema	23	22	20	18	24	36	50	64	60	35	21	22
Mopti	27	34	33	24	42	56	66	77	75	64	49	45
Gao	25	21	26	25	25	20	53	63	55	38	28	26
Niaméy	23	21	23	24	45	57	70	90	73	52	22	27

Zinder	21	24	22	26	41	53	68	77	69	42	27	33
Ngouigmi	35	28	24	35	46	53	60	68	62	44	21	35
Abéché	23	19	18	21	32	43	62	76	66	38	26	25
El Fasher	33	25	23	21	28	35	55	68	54	35	30	33
Ed Dueim	31	27	23	21	26	38	51	60	54	42	31	32
Kassala	46	43	35	29	31	39	57	67	59	42	40	40

5.2.4. VENTI AL SUOLO (le medesime stazioni ad eccezione di Kiffa)

Diamo per ogni mese le direzioni prevalenti dei venti, con la direzione prevalente *sottolineata*.

La menzione 'Q' = quadrante indica una variabilità estrema con venti praticamente da tutte le direzioni (sono le fasi di transizione fra harmattan e monsoni).

Le cifre stanno a indicare la percentuale (%) del tempo di calme (assenza di vento).

	G	F	M	A	M	G
Matam	<u>NE-E</u>	<u>N-NE-E-NW</u>	<u>N-NE-NW</u>	<u>NW</u>	<u>N-E-W-NW</u>	<u>SW-W-NW</u>
	72	52	55	60	50	36
Nema	<u>NE-E</u>	<u>NNE-NE-E</u>	<u>E-NE</u>	<u>NE-NEE</u>	<u>NE</u>	<u>Q-SW</u>
	12	7	10	20	12	30
Mopti	<u>N-NE</u>	<u>N-NE-E</u>	<u>N-NE-E</u>	<u>N-NE</u>	<u>N-NE-SW</u>	<u>S-SW</u>
	35	35	35	35	35	35
Gao	<u>N-NE</u>	<u>N-NE-E</u>	<u>NE-NNW</u>	<u>N-NE-NNW</u>	<u>Q-N</u>	<u>S-SW-W</u>
	26	20	20	13 4	13	14
Niamey	<u>N-NE-NEE-E</u>	<u>N-NNE-NE-NEE</u>	<u>N-NE-NEE-E</u>	<u>Q-NNE-NEE</u>	<u>S-SSW-SW</u>	<u>S-SSW-SW-WSW</u>
	12	12	22	20	8	12
Zinder	<u>NE-E</u>	<u>NE-E</u>	<u>N-NE-E</u>	<u>NE-E</u>	<u>S-SW-W-NW</u>	<u>S-SW-W-NW</u>
	15	20	20	12	15	20
Ngouigmi	<u>N-NE</u>	<u>N-NE-E</u>	<u>N-NE-E</u>	<u>N-NE-E</u>	<u>S-W</u>	<u>SE-S-SW-W</u>
	22	23	23	30	20	13
Abéché	<u>N-NE-E</u>	<u>N-NE-E</u>	<u>N-NE-E</u>	<u>N-NE-E-SW</u>	<u>Q-NE</u>	<u>Q-W</u>
	4	3	5	6	6	8
El Fasher	<u>N-NE-E</u>	<u>N-NE-E</u>	<u>N-NE-E</u>	<u>N-NE-E</u>	<u>N-NE-E-SW</u>	<u>Q-S</u>
	21	15	14	12	18	19
Ed Dueim	<u>NE-SE</u>	<u>S-SW</u>	<u>S-SW</u>	<u>S-SW</u>	<u>SE-S-SW-W-NW</u>	<u>S-SW-W</u>
	1	1	2	5	6	2
Kassala	<u>N-NE</u>	<u>N-NE-NW</u>	<u>N-NE-NW</u>	<u>N-NE-E-SW-W</u>	<u>N-NE-E-S</u>	<u>S</u>
	6	6	6	7	9	8

	L	A	S	O	N	D
Matam	<u>SW-W-</u> <u>NW</u> 35	<u>SW-W-</u> <u>NW</u> 40	<u>W-NW</u> 45	<u>W-NW</u> 55	<u>Q</u> <u>NE</u> 62	<u>NE-E-SE-</u> <u>NW</u> 64
Nema	<u>S-SW-</u> <u>WSW-W</u> 26	<u>S-SW-W</u> 30	<u>Q</u> <u>S</u> 40	<u>NE-NEE-</u> <u>E</u> 30	<u>NE-NEE-</u> <u>E</u> 12	<u>NE-E</u> 7
Mopti	<u>S-SW-</u> <u>W</u> 40	<u>SW-WSW-</u> <u>W</u> 45	<u>S-SW-W</u> 60	<u>Q</u> <u>W</u> 60	<u>N-NE-E</u> 52	<u>N-NE</u> 38
Gao	<u>S-SW-</u> <u>W</u> 11	<u>S-SW-</u> <u>WSW-W</u> 7	<u>Q</u> <u>SW</u> 20	<u>N-NE-E</u> 26	<u>N-NE-</u> <u>NEE-E</u> 27	<u>NE-E</u> 12
Niamey	<u>S-SSW-</u> <u>SW</u> 7	<u>SSW-SW-</u> <u>WSW</u> 14	<u>Q</u> <u>SW</u> 15	<u>Q</u> <u>S</u> 20	<u>NE-NEE-</u> <u>E</u> 12	<u>N-NEE-</u> <u>E</u> 13
Zinder	<u>S-SW-</u> <u>W-NW</u> 20	<u>SW-W</u> 30	<u>S-W-NW</u> 45	<u>NE-E</u> 55	<u>NE-E</u> 28	<u>NE-E</u> 24
Ngouigmi	<u>S-SW-</u> <u>W</u> 6	<u>S-SW-W</u> 11	<u>S-SW-W</u> 15	<u>N-E-SE-</u> <u>S</u> 30	<u>N-NE-E</u> 22	<u>N-NE</u> 24
Abéché	<u>S-S-</u> <u>W-NW</u> 7	<u>S-SW-</u> <u>W-NW</u> 12	<u>Q</u> <u>W</u> 17	<u>Q</u> <u>NE-E</u> 9	<u>N-NE-</u> <u>E</u> 3	<u>N-NE-E</u> 2
El Fasher	<u>SE-S-W-</u> <u>NW</u> 19	<u>SE-S-W-</u> <u>NW</u> 34	<u>Q</u> 38	<u>N-NE-E</u> 27	<u>N-NE-E</u> 23	<u>N-NE-E</u> 29
Ed Ducim	<u>S-SW-</u> <u>W</u> 2	<u>S-SW-W</u> 3	<u>S-SW-W-</u> <u>NW</u> 3	<u>Q</u> <u>S</u> 9	<u>N-NW</u> 2	<u>N-NW</u> zero
Kassala	<u>S-SW</u> 3	<u>S-W</u> 5	<u>S-W</u> 8	<u>NE-E-S-</u> <u>SW</u> 12	<u>N-NE</u> 9	<u>N-NE</u> 7

6. Stato della ricerca scientifica

Mentre i fenomeni meteorologici della circolazione atmosferica delle regioni polari non differiscono radicalmente da quelli delle regioni temperate e le tecniche sinottiche delle medie latitudini nel complesso funzionano nell'Artico e nell'Antartico, le regioni tropicali hanno una meteorologia e una climatologia affatto distinte.

Se l'analisi della circolazione atmosferica alle medie e alte latitudini ha potuto progredire grazie alla rete delle stazioni di osservazione sinottica e dell'evoluzione di tecniche sinottiche fondate sull'applicazione dei concetti idrodinamici alle strutture isobariche, nei tropici queste ultime sono purtroppo molto mal definite. La variazione diurne di pressione è in genere molto più grande della variazione dovuta al passaggio di perturbazioni. La relazione geostatica fra i venti come noi la cono-

sciamo non è valida alle latitudini tropicali per la diminuita forza di Coriolis; non vi è una relazione prontamente utilizzabile fra pressione e vento così che i venti non possono essere interpolati in base alla distribuzione delle pressioni. Anche se nei tropici e all'equatore le differenze orizzontali nelle proprietà dell'atmosfera sono evidenti (per es. il contrasto fra il secco harmattan dell'Africa occidentale e l'aria umida del golfo di Guinea), non esistono fronti e masse d'aria nel senso conosciuto alle medie latitudini. La distribuzione delle nubi e delle precipitazioni, o la loro assenza, devono spiegarsi più che altro in termini, rispettivamente, di convergenza e divergenza idrodinamica. Nei tropici sono particolarmente marcate le influenze orografiche, come lo sono i ritmi diurni di convezione (trasferimenti verticali di calore nell'atmosfera) e di altri processi, per cui il tempo locale può spesso dipendere più da questi ultimi che dalla circolazione atmosferica.

I fenomeni del tempo non possono essere spiegati con le tecniche meteorologiche usate alle maggiori latitudini. Per esempio, non solo vi sono estesi sistemi di nubi ('cirrus spissatus', altocumuli lenticolari iridescenti, altocumuli translucidi) non associati a convezione, ma una pioggia continua di 10 mm o maggiore può verificarsi anche senza convezione; se i processi di convezione sono probabilmente all'origine della maggioranza delle precipitazioni, i più alti livelli pluviometrici non sono in genere conseguenze di essi, perché la gran parte delle piogge dovute a convezione è sotto forma di acquazzoni dipendenti da fenomeni sinottici sconosciuti nelle regioni extratropicali. Nei tropici i temporali differiscono dai nostri nel senso che producono precipitazioni molto minori ma sviluppano in cambio un'attività elettrica assai più intensa, specie per i fulmini. Le perturbazioni al suolo si spostano da E a W a velocità a volte completamente diverse da quelle dei venti a qualsiasi livello nell'atmosfera sovrastante. Certe circolazioni elicoidali non sembrano avere riscontro nell'atmosfera extratropicale. Anche se le regioni tropicali ricevono una gran parte del volume totale delle radiazioni solari, in molte zone l'equilibrio elietermico è controllato più dal contenuto di polvere dell'atmosfera che dalle radiazioni nette ricevute.

In sostanza, non solo i fenomeni particolari ora citati, ma anche i tre principali descritti più sopra — alisei di NE, ZCIT e monsone — differiscono talmente dai caratteri della circolazione atmosferica delle medie e alte latitudini e possono essere messi in relazione con questa solo in base a modelli del tutto diversi.

In realtà se di queste regioni si sa poco è perché esse sono state assai poco studiate. Gli ambienti scientifici giustificano questa carenza col fatto che la rete delle stazioni meteorologiche è molto ridotta nelle zone tropicali a paragone di quelle temperate; che le ricerche sulla base dei pochi dati disponibili sarebbero ulteriormente complicate dalla grande influenza delle variazioni diurne di pressione e di temperatura; che le perturbazioni al suolo della circolazione atmosferica sarebbero in gran parte controllate da fenomeni a grande altitudine l'osservazione dei quali è molto discontinua...

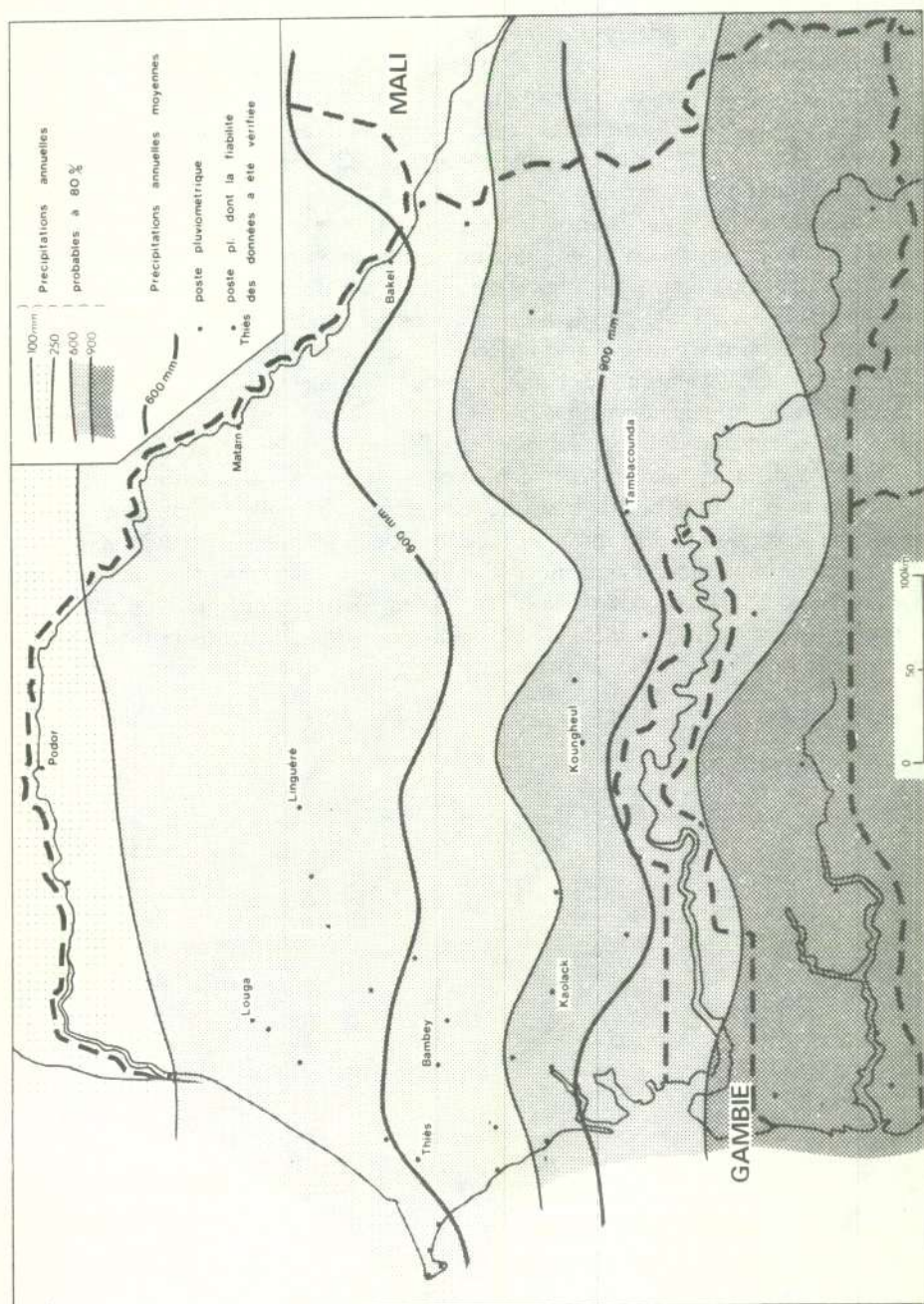
Questi argomenti, anche se fondati su circostanze di fatto, non possono non creare giustificate perplessità, specie se queste carenze della ricerca sono messe in relazione con le grandi realizzazioni scientifiche dell'epoca dello spazio, civili e militari, con le spese in armamenti e con l'entità dei danni provocati dalle siccità su

intere popolazioni. Molti specialisti in meteorologia tropicale hanno l'impressione che queste carenze non siano dovute a difetto di mezzi finanziari, ma piuttosto a due circostanze particolari: in primo luogo il burocratismo che informa le istituzioni meteorologiche pubbliche, nazionali e internazionali; in secondo luogo l'assenza totale di collaborazione da parte delle stazioni meteorologiche dell'aviazione civile e militare le quali, preoccupate unicamente della sicurezza del traffico aereo corrente, non conservano, collezionano e trasmettono la massa di rilevazioni che sono continuamente in grado di compiere.

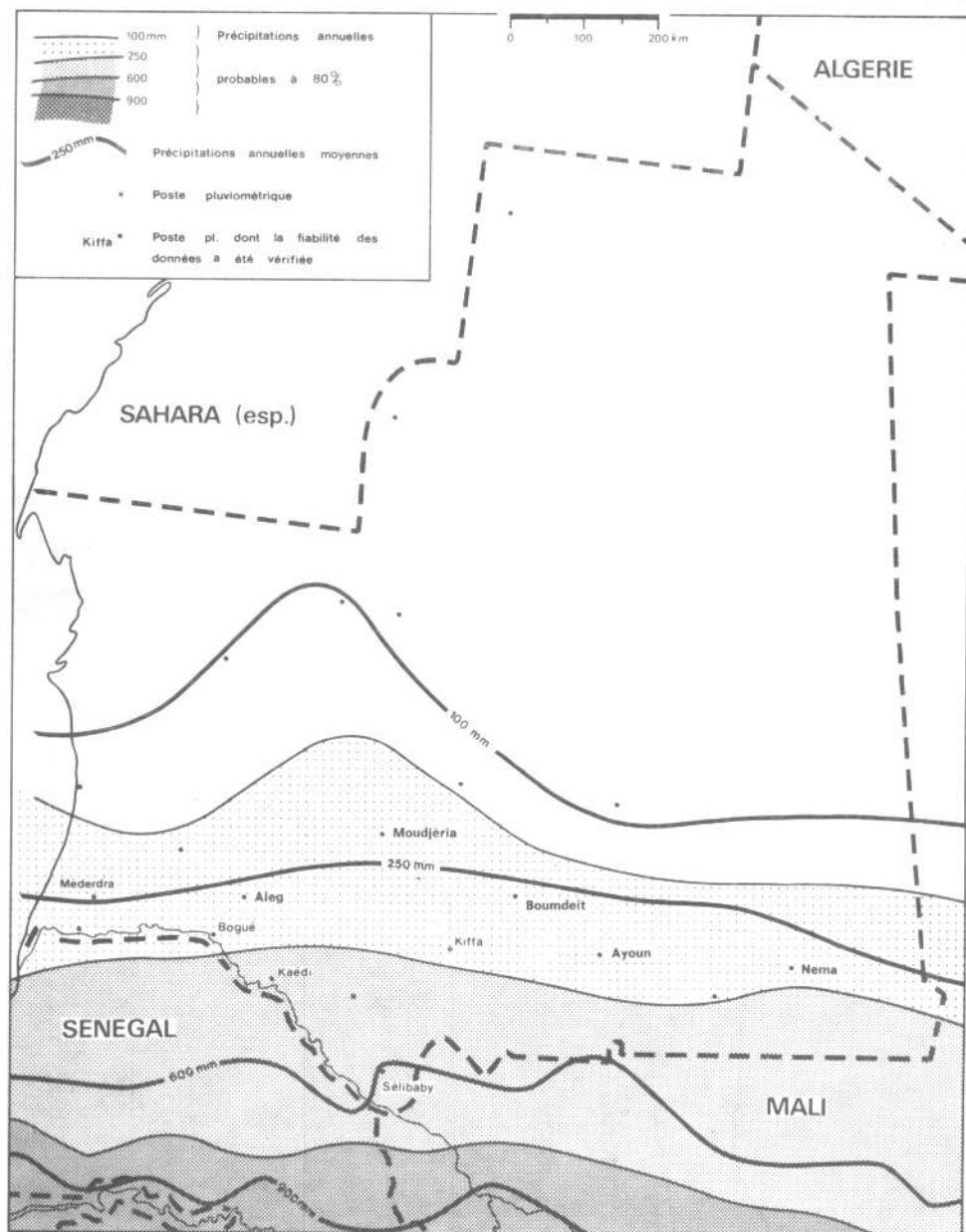
Resta il fatto che la persistenza di tanti 'misteri' per quanto riguarda la meteorologia tropicale africana non è più consentita a un'epoca in cui si consuma dovizia di mezzi e di tempo dietro alle atmosfere di Giove e di Saturno. Allorché intervengono le grandi siccità del Sahel, gli aiuti pubblici internazionali di emergenza — finanziati dai contribuenti dei paesi ricchi — devono pagare lo scotto delle deficienze della ricerca scientifica. È come si vede un problema politico.

Il Sahel è la principale vittima di questa situazione, perché le regioni sudanesi sottostanti si trovano nel complesso in condizioni meno sfavorevoli, se non altro per un fatto di latitudine, mentre le quasi disabitate regioni sahariane soprastanti dipendono in ogni caso più dalle acque sotterranee che dalle insignificanti precipitazioni che ricevono (25-100 mm). In occasione della grande siccità degli anni 1972-73 il monsone non sfiorò nemmeno il Sahel con le conseguenze che vedremo (cap. IX). Il quadro climatico che abbiamo dato dovrà essere tenuto presente soprattutto quando tratteremo della politica idrica e idrogeologica, mediante la quale è senza dubbio possibile ovviare per la parte essenziale agli infortuni meteorologici⁷.

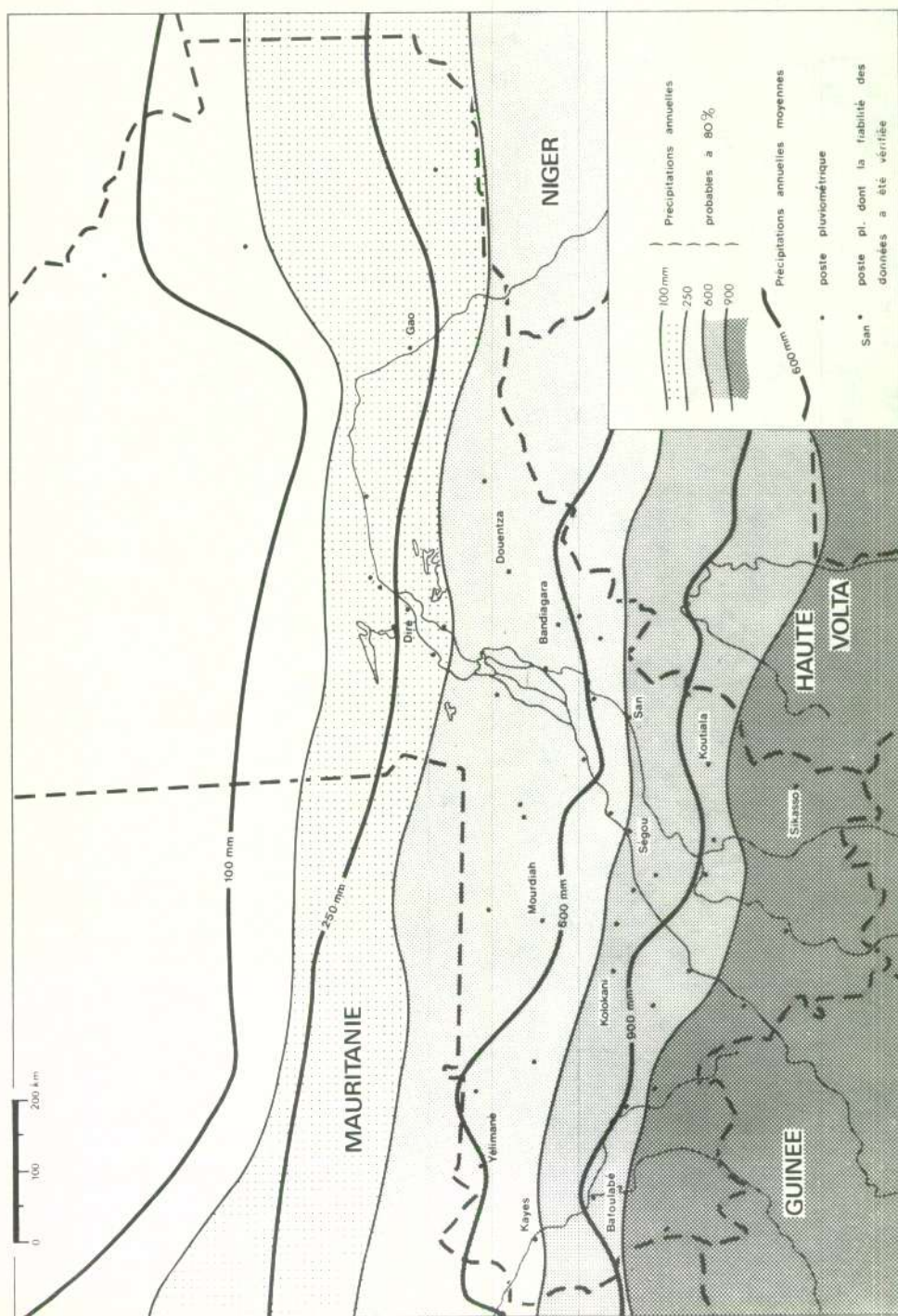
⁷ Per fortuna ora finalmente qualcosa si muove: come si è detto, il prof. Marcel Leroux, autore dell'atlante meteorologico africano per conto dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM) — *Le climat de l'Afrique tropicale* — è stato incaricato di uno studio approfondito di tutta la fascia tropicale del globo.



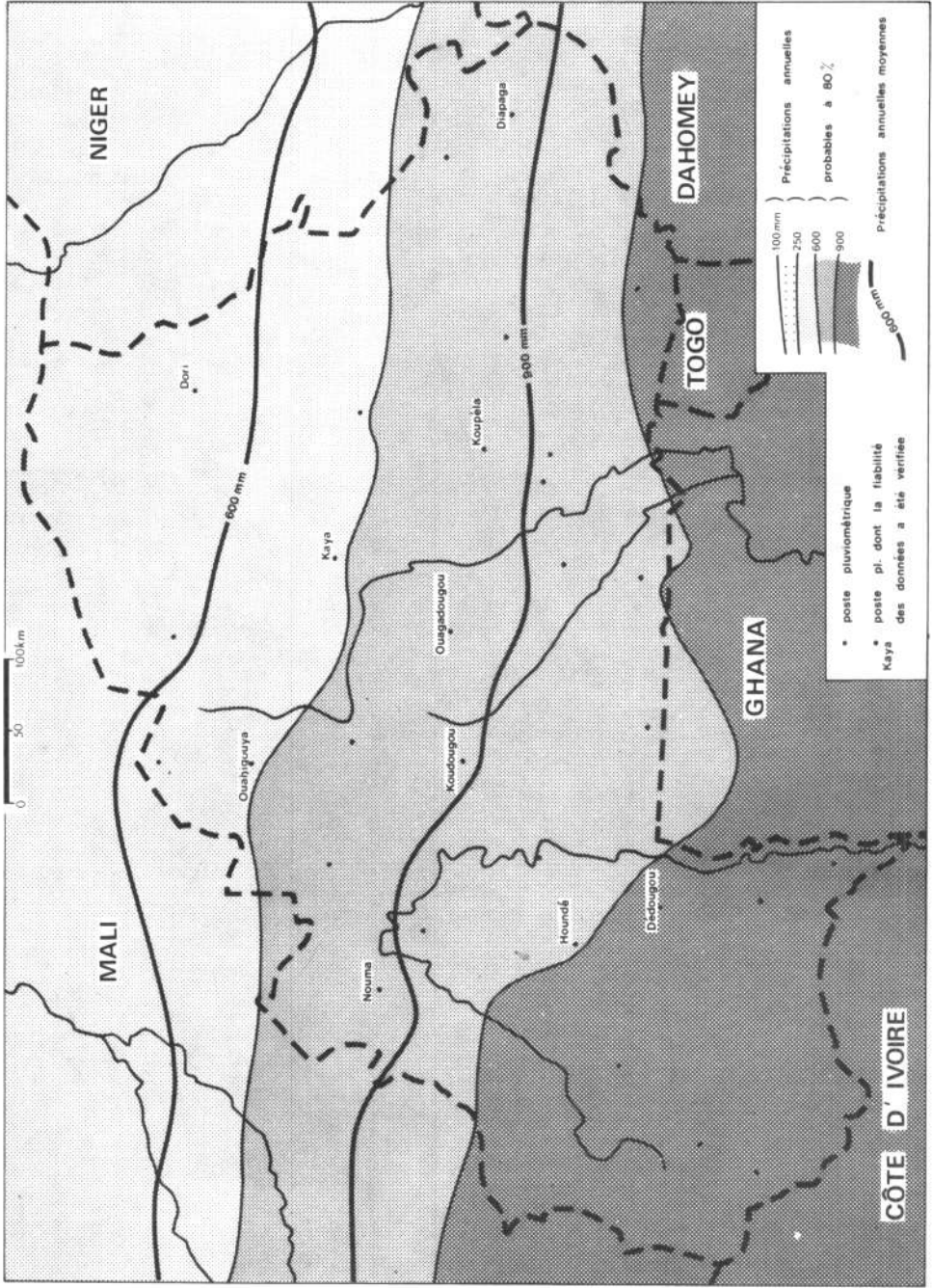
Senegal: precipitazioni annuali (secondo i prospetti dell'ORSTOM).



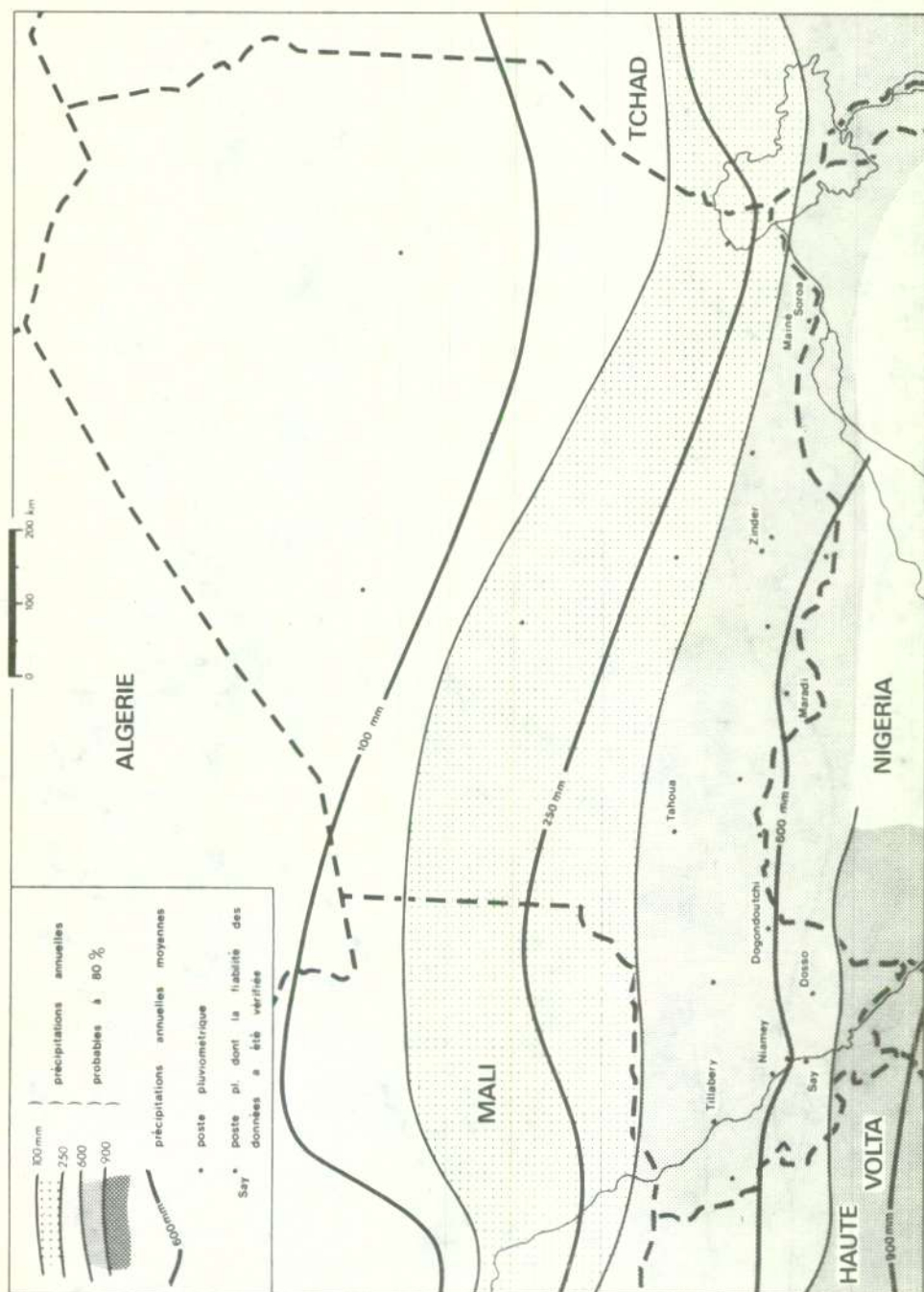
Mauritania: precipitazioni annuali (secondo i prospetti dell'ORSTOM).



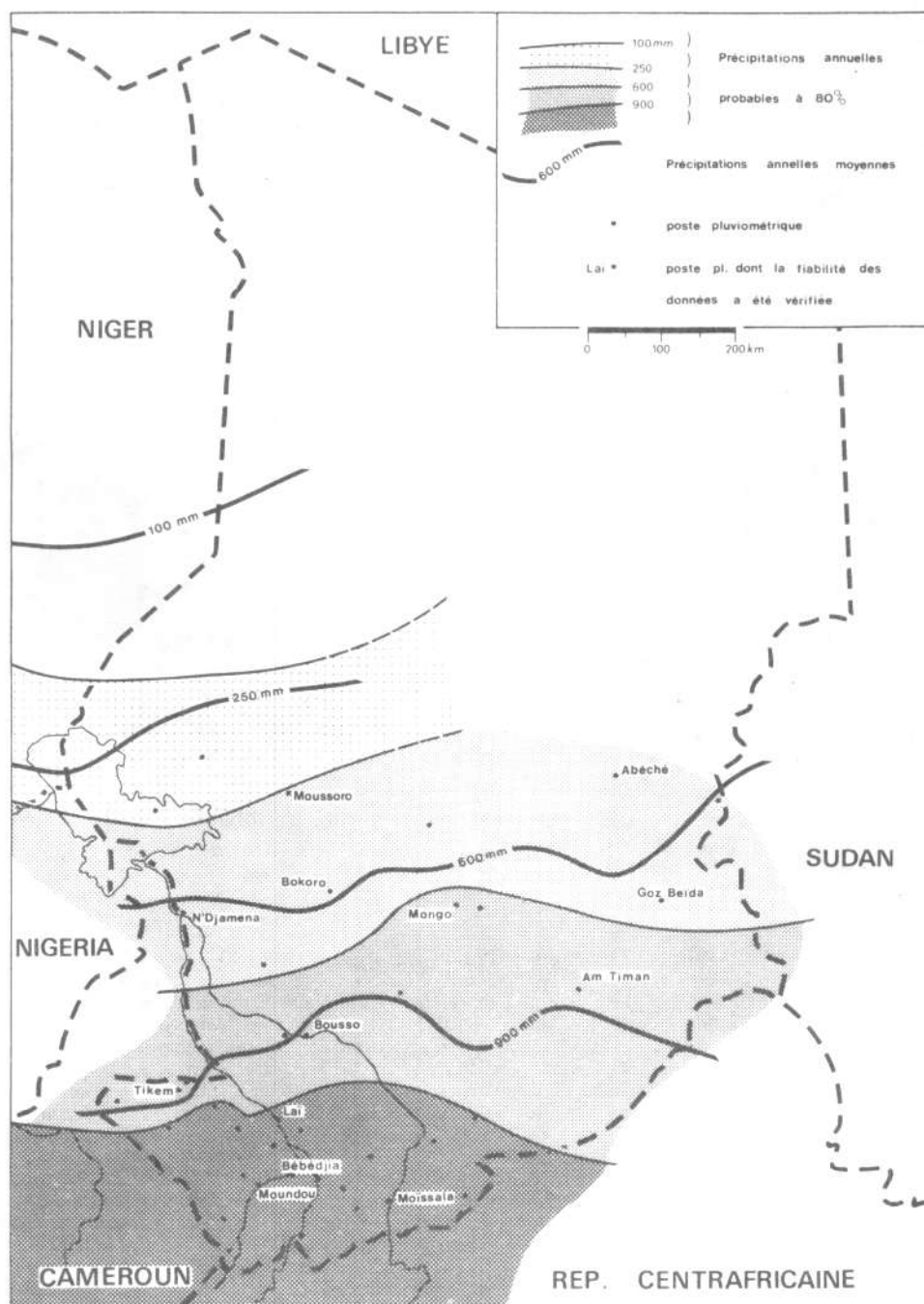
Mali: precipitazioni annuali (secondo i prospetti dell'ORSTOM).



Burkina Fasso: precipitazioni annuali (secondo i prospetti dell'ORSTOM).



Niger: précipitations annuelles (secondo i prospetti dell'ORSTOM).



Chad: precipitazioni annuali (secondo i prospetti dell'ORSTOM).