

Trópusi karsztok Dél-Ázsiában

Bizonyára sokan vannak, akik szerint egy Európában fekvő ország számára a trópusi mészkőterületek kutatása nem sok tanulsággal jár és sokallják még azt a nagyon kevés támogatást is, amit a kutatók valahogy kiharcolnak maguknak. A trópusi karsztok vizsgálatának azonban nagyobb jelentősége van, mint ahogy azt a témában kevésbé járatos olvasó gondolná. A magyarországi nagy kiterjedésű mészkőterületek ugyanis a jelenlegitől eltérő klíma alatt fejlődtek az elmúlt földtörténeti időkben. E felszínen levő, vagy eltemetett trópusi tönkfelszínek sajátos formakincse még trópusi éghajlat alatt képződött, a kréta időszakban.

Gazdasági szempontból különösen fontosak a bauxittal, mangánnal és más fiatalabb üledékekkel eltakart magyarországi trópusi karsztok. A bauxittartalmú üledékek felhalmozódása, a karsztvíz járatainak a kialakulása sok millió évvel ezelőtt ment végbe, trópusi éghajlaton, de a formákat létrehozó folyamatokat ma már csak részleteiben ismerhetjük meg pl. a Dunántúli-középhegység területén. Nem lehet közömbös azonban, hogy a fenti éghajlati feltételek alatt milyen folyamatok játszódnak le a trópusi mészkőfelszíneken és milyen formákat hoznak létre, mivel ezek a formák meghatározzák az ásványvagyon és a karsztvíz térbeli elhelyezkedését, kiterjedését, a kitermelhető készletek nagyságát és a művelés módját.

A trópusi karsztok felszínalakítási vizsgálatával hazánkban csupán néhány kutató foglalkozik. Elsősorban dr. Balázs Dénes geográfus és dr. Jakucs László egyetemi tanár úttörő munkásságát kell kiemelni, akik a határainkon túl is elismerést szereztek ezen a területen. Az ő nyomukban indultunk el magunk is, hogy további kiegészítő megfigyeléseket végezzünk Dél- és

Délkelet-Ázsia térségében. A karsztvidékek tanulmányozására különösen Sri Lanka északi része, a Jaffna-félsziget és a környező szigetvilág, valamint Nyugat-Malaysia volt alkalmas. Összehasonlíthattuk a különböző földtani felépítésű helyek felszínfejlődését az egyes éghajlati övekben, megfigyelhettük a karsztvidékek formakincsét és a karsztban lejátszódó folyamatokat.

A trópusi karsztosodás

A mészkőterületek a Föld különböző klímazonáiban más-más arculatot mutatnak, ami elsősorban a korróziós és a denudációs folyamatok eltérő mértékének tulajdonítható. Ahol karsztosodásra alkalmas kőzet van és az éghajlati tényezők is kedvezőek, létre is jönnek a jellegzetes karsztos formák. A karsztosodás szempontjából az éghajlat a legfontosabb, ettől függ a felszín alakulása. Az éghajlati tényezők közül a csapadéknak, a hőmérsékletnek és a párolgásnak van meghatározó szerepe.

Víz közreműködésével történik a karsztosodó kőzet lepusztulása, vagyis a karsztos korrózió és az erózió. A hőmérséklet közvetlenül és közvetve (a növényzetten keresztül) határozza meg a karsztoskorrózió mértékét. Minél alacsonyabb ugyanis a víz hőmérséklete, annál több CO_2 -t képes feloldani és ezáltal több CaCO_3 -t oldatba vinni. Ezzel szemben meleg, trópusi területeken (ahol a csapadékviszonyok is kedvezőbbek) sokkal dúsabb növényzet fejlődik ki, több lesz a bomló szerves anyag, több CO_2 halmozódik fel a talajlevegőben. A talajba szivárgó vizek magasabb hőmérséklet miatt ugyan kevesebb CO_2 -t oldanak fel, de sokkal több a talajban raktározódó CO_2 és a humuszsav, mint a hideg éghajlati övben. Általában nagyobb a vízutánpótlás

is, ezért a nedves trópusi mészkőterületek lepusztulása a leggyorsabb a Földön. A hőmérséklettől függ a párolgás is. A csapadék minél nagyobb hányada párolog el, annál kevesebb szivárog be a talajba és vesz részt a mészkőoldásban.

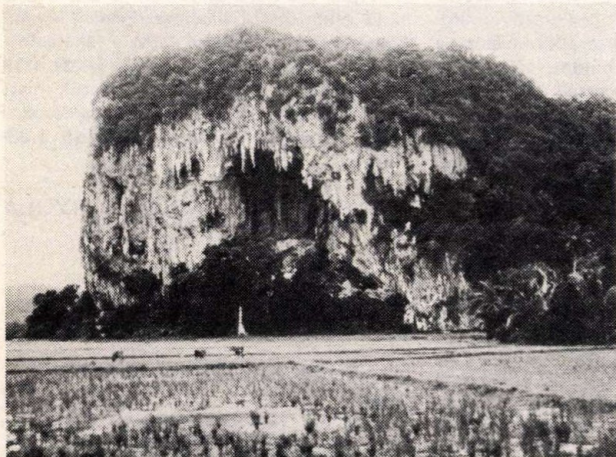
A karsztosodás a nedves trópusokon a legintenzívebb, de ott is változatos formakincs jelenhet meg. Trópusi karszt alatt általában olyan klimatikus morfológiai tájtípust értünk, amihez legalább $17-18^\circ\text{C}$ -t meghaladó évi középhőmérséklet és kb. 1000–1200 mm csapadék szükséges. A trópusi karsztosodás folyamatáról csak akkor beszélhetünk, ha mindkét feltétel teljesül (Jakucs L.). Az alsó határon kívül célszerű egy felső határt is meghúzni, mivel a 4–5000 mm-es csapadék már olyan gyorsan lemosa a talajtakarót, hogy az a folyamatot lelassítja és a mészkőfelszínnek elkopárosodását okozza.

A Jaffna-félsziget karsztja

Ceylon (Sri Lanka) északi nyúlványa a Jaffna-félsziget mintegy 70 km hosszan húzódik K–Ny-i irányban. A félszigetet sekély, mangrovés lagúna választja el a sziget többi részétől, Indiától pedig a Palk-szoros. A jaffnai mészkő (miocén) 70–100 m vastagságban halmozódott fel a terület megsüllyedésével keletkezett tengervályúban kb. 20 millió évvel ezelőtt. Rétegei ma is csaknem vízszintesen húzódnak, gyűrődés nem érte. A mészkőtábla kb. 12 m-rel emelkedik ki a környező tengerek szintjéből. A gyenge tektonikai mozgások kissé összetörték és megbillentették. A korábban egységes mészkőtábla feldarabolódott és ma sekély tenger választja el az egyes részeit egymástól.

A félsziget a trópusi övben van és az

A toronyhegyek barlangjainak bejáratát gyakran tufafüggönyök szegélyezik



Toronyhegy Malaysiában (A szerző felvételei)

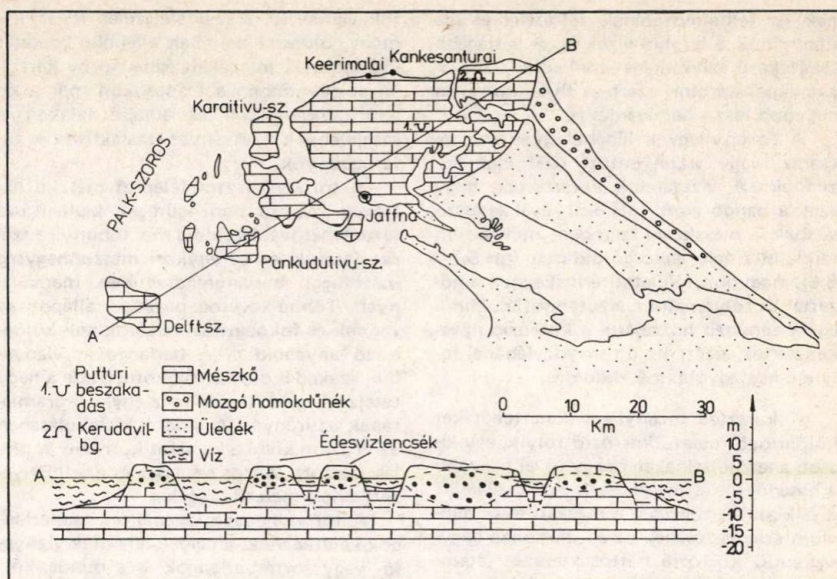


ÉK-i monszun hatását élvezi. Az októbertől januárig tartó csapadékos időszakot 3–5 száraz hónap követi. Az éves csapadék-átlag Jaffnában 1196 mm. A hőmérséklet ($27-27,5^{\circ}\text{C}$) miatt a potenciális párolgás az évi csapadék kétszeresét is elérheti (2265 mm, Jaffna). A trópusi övben szokatlanul alacsony csapadéérték gyors beszivárgással és párolgással társulva a víz-háztartás deficitjét okozza. Ez tükröződik a félsziget növényzetében. A jaffnai klíma főleg szárazságtűrő (szukkulens) növények fennmaradását tette lehetővé, dúsabb növényzettel csak a lagúnák mellett lehet találkozni, főleg palmirapálma ligetekkel. A kevés csapadék, a felszíni vízfolyások hiánya, és a viszonylag gyér vegetáció nem kedvez a karsztkorrózióknak. Balázs Dénes vízkémiai vizsgálatai szerint a karsztos korrózió mértéke 14–21 mm/ézer év, ami olyan alacsony érték, hogy még a mérsékelt éghajlati öv karsztjaiban is gyorsabb a lepusztulás.

A beszivárgó vizek édesvízlelencsét alakítanak ki a mészkőtábla belsejében. Az édesvízlelence elhelyezkedését és mélységét a mesterséges és természetes kutak, vagy beszakadások alapján lehet tanulmányozni. A Putturi beszakadás harangszerűen táguló üregében a csehszlovákiai Sasvári Tibor által vezetett könnyűbúvár-expedíció még 65 m mélyen sem ért feneket. Merülések során ismerték fel a víz réteges elhelyezkedését. A kút felső 11 méterében édesvizet találtak, alatta mintegy 5 méter vastag rétegben brakvíz, majd sósvíz következik. A sósvíz a környező tengerekből származik, de kloridiontartalma nagyobb a környező tengerekénél. A sósvíz is szerepet játszik a mészkőkorrózióban.

A relief tagolatlansága, a viszonylag kevés csapadék és a kismértékű karsztos korrózió következtében a felszíni karsztjelenségek a mérsékelt éghajlati övre jellemző formákat mutatnak. A mészkőtábla felszínén gyakran láthatók 1–2 m mélységet elérő nagy kiterjedésű mélyedések. Ezek helyi, tamil neve kulum. A kulamban a víz fokozatosan zsugorodó felszínnel hónapokon keresztül megmarad, mert az alján vízzáró réteg akadályozza meg a víz beszivárgását, ezért a veszteség főleg a párolgásnak tulajdonítható. A vízzáró réteg gátolja a mészkőoldást, a korrózió főleg oldalirányban hat, ami planációhoz, „tányérosodáshoz” vezet. Ezért alakulnak ki ilyen sekély nagy kiterjedésű depressziók. A legnagyobb kulamot Delft szigeten láttuk, némelyik átmérője az 1 km-t is elérte. A kulamok embrionális formájának tekinthetők a sekély, összeolvadó dolinákra emlékeztető mélyedések. Ezek hasonlítanak leginkább a mérsékelt éghajlati öv formáira.

A Jaffna-félszigeten, de főleg Delft-szigeten hatalmas, kopár kőmezők húzódnak. Hiányzik a talajtakaró, vagy csak foltokban van meg. Ahol a hasadékok meggyengítették a kőzetet és az oldás kitágította őket, néhány cm átmérőjű lyukak keletkeztek. Az ilyen képződményeket gyökérraknak nevezük. Kialakulásukban a növényeknek van fontos szerepük, mivel a gyökérük körzetében több szén-sav és szerves sav keletkezik, mint máshol és a korrózió ott nagyobb lesz. A törésvonalak men-



A Jaffna-félsziget karsztja

tén a mélybe szivárgó vizek sok helyen meggyöngyítették a kőzetet, míg az végül beroskadt. Mérédek, 1,5–2 m-es falakkal határolt szakadékdolinák jöttek létre a mészkőtáblában.

Toronykarsztvidékek Malaysiában

A malaysiai mészkőhegyek – túlnyomórészt toronykarsztok – tájképileg az ország legszebb vidékei. Toronykarsztok főleg ott keletkeztek, ahol a mészkő kémiai- és fizikai tisztasága, kevés szennyeződést tartalmaz. A szennyezettebb mészkőekben összefüggő fennsíkok és hegyvonulatok jöttek létre, hiányoznak a mérédek, sziklás falak és letörések, tájképileg inkább a szilikátos kőzetekből felépülő területekre emlékeztetnek.

A legváltozatosabb toronykarsztvidékek az ország északi részén alakultak ki. Perlis államban a perm időszakos mészkő egy É–D-irányú süllyedékben bukkan felszínre. A kőzet vastagpados, világosszürke, finomkristályos. A formáció mindössze 600 m vastag, mégis szembetűnő, torony-szerű hegyekként jelenik meg.

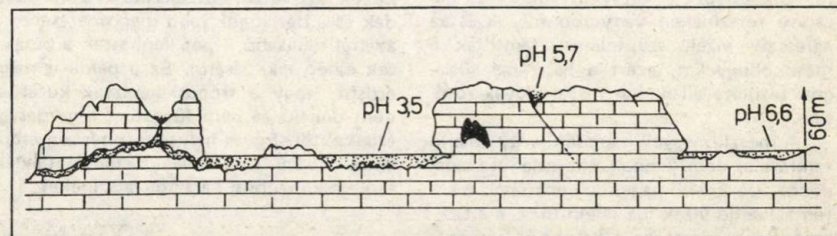
Malaysia ÉNy-i területén egyenlítői monszunklíma uralkodik. Az éves csapadék 1960 mm és nem egyenletesen oszlik el az év során. Decembertől februárig szárazabb az idő. Az évi középhőmérséklet

$27,5^{\circ}\text{C}$, egyenletesen magas. A szárazabb időszakban a talajban a mikrobiológiai tevékenység alacsonyabb szintű, kevesebb CO_2 termelődik és ez kihat a karsztkorrózió menetére is.

A trópusi karszterületek élesen elkülönülnek a nem karbonátos kőzetekből felépülő térszínektől. A felszínformákban megnyilvánuló különbségek a mészkő és a többi kőzet között a CaCO_3 nagy oldhatóságának tulajdoníthatók. A szilikátos kőzetek felszínén állandóan mállott, oldhatatlan kőzetmaradék és talajtakaró van. A mállás mindenhol egyenletes, többé-kevésbé lekerekített formákat hoz létre. A malaysiai mészkővek aránylag tiszták, ezért oldás útján hidrokarbonátos formájában eltávozik, a CaCO_3 csak kevés alumínium- és szilíciumtartalmú málladék marad vissza. Ez magyarázza az összefüggő talajtakaró hiányát.

A vékony és foltoszerű talaj csak szegényes vegetációt képes eltartani a tetőfelszíneken, ezért ott az esővíz korróziója gyenge. A kevés oldott CaCO_3 is gyorsan kicsapódik a meleg kőzetben, tufafüggőnyt, vagy sztalaktitokat képezve. Sokkal nagyobb mértékű, lefelé irányuló korrózió folyik a hasadékok mélyén, ahova összegyűlt a magasabb térszínekről a talaj és sok növényi maradvány. A mélyedésekben kedvezőbbek a biogén CO_2 termelésé-

Malaysiai toronykarsztvidék vázlata



nek és felhalmozásának feltételei és ide irányulnak a lefolyó vizek is. A vastagabb talajtakaró szivacsként viselkedik, több vizet képes tárolni, ezért az ilyen helyeken nagyobb lesz a beszívargás is.

A toronyhegyek lábánál gyakran mocsarak, vagy vízzel öntött rizsföldek húzódnak. A vizsgálatok kimutatták, hogy ezek a pangó vizek (pH 3,5) jóval agresszívvabbak a mészkővel szemben, mint a tető sziklafelületén lecsorgó oldatok (pH 5,7–6,6), nagyobb felülettel érintkeznek a kőzettel és folyamatos a vízutánpótlás. Mind egyik tényező hozzájárul a korrózió növekedéséhez, ezért itt a tornyok lábánál folyik a legnagyobb mészkőoldás.

A karsztos toronyhegyeken tehát két különböző méretű korrózió folyik, egy kisebb a tetőfelszíneken és egy jóval nagyobb a hasadékok és mélyedések alján, valamint a sziklafalak tövében, a mészkő és az alluvium érintkezésénél. Ez a különböző nagyságrendű korrózió fontos szerepet játszik a karsztos toronyhegyek kialakításában és a formák fennmaradásában. A hasadékok, a lefelé irányuló erős korrózió miatt gyorsan mélyülnek, szakadékká tágulnak. A barlangjáratokban levő vízfolyások korróziója és eróziója gyorsan mélyíti a meder alját mindaddig, amíg el nem éri az erózióbázis szintjét. A továbbiakban a folyók oldalazó eróziója kitágítja a járatokat, a barlangmennyezet beszakadozik, meredek falú szurdokok tagolják a mészkőhegységet. A hegyközi síkságon kanyargó folyók folyamatosan támadják a mészkőhegy lábát. Idővel toronyszerű maradványok keletkeznek az egykor összefüggő mészkőhegységből.

A folyamat magyarázatot ad arra is, hogy miért maradnak meg a függőleges falak és toronyszerű formák hosszú időn keresztül. Mivel különböző mértékű erózió ill. korrózió folyik a mészkőfelszíneken és mivel a legnagyobb mértékű a lepusztulás a mélyebb térszíneken, a hegyek lábánál mindig függőleges vagy meredek sziklafalak keletkeznek és nem lankásodhatnak el később sem.

Ezt a folyamatot támogathatják a kőomlások, a tengerparti területeken pedig a tenger hullámvérése, az abrázió.

A mészkőhegyeket sík területek választják el egymástól. Alig emelkednek ki a tenger szintjéből, gyakran rossz lefolyásúak, ahol az összegyűlemlő vizek elmosásíthatják a felszínt. A hegyközi síkságok alatt legtöbbször a karsztos toronyhegyeket alkotó mészkő folytatódik, vastagon elfedve alluviummal. Az üledékes réteg vastagsága elérheti a 10–20 m-t is. Feltárásokban jól megfigyelhető az eltemetett mészkő korrodált felszíne. A korábban egységes kőzet néhány méter magas kúpokra és tornyokra szakadozott az alluvium alatt. Az alacsony térszíneken kanyargó folyók és az agresszív vizek szüntelenül támadják a mészkőhegyeket, ezért a hegyközi síkságok területe állandóan nő a hegyek rovására.

A mészkőhegyek meredek, vagy áthajló sziklafalai nem kapnak közvetlenül csapadékot, de kisebb-nagyobb repedések mentén szivárgó vizek ide is eljutnak, s a CO₂ elpárolgása miatt az oldatokból karboná-

tok válnak ki. A sziklafelületén fehér, kemény, oldással szemben ellenálló bevonat jön létre. A mérsékelt éghajlati öv karsztjaival ellentétben a trópusokon már a kiálló párkányokon és áthajló falakon is megjelennek a látványos sztalaktitok és tufaüreggyökök.

A toronykarsztot felépítő mészkő hatalmas méretű barlangüregek kialakítását tette lehetővé. Ezek ma már többnyire száraz járatok és az egykori mészkőhegység összefüggő barlangrendszerének maradványai. Többé-kevésbé pusztuló állapotban vannak és fokozatosan feltöltődnek különböző anyagokkal. A barlangokat víznyelők, szakadékok, kürtők kötik össze a hegy tetejével, ezek jelzik a víz egykori áramlásának az irányát. A járatok kialakulásában az erózió kívül a karsztos korrózió és omlás játszott fontos szerepet és eredményezett óriási méretű üregeket.

A toronyhegyek lábánál ún. lábbarlangok keletkeznek, amelyek lehetnek víznyelő- vagy forrásbarlangok és a mindenkori erózióbázis szintjéhez igazodnak. Vannak átmenő barlangok is, ahol a nem karsztos területekről érkező folyócska áttörte a mészkőhegységet, és a saját maga által létrehozott csatornában teszi meg föld alatti útját. A lábbarlangok szorosan kapcsolódnak a mészkőtorony belsejében húzódó barlangrendszerhez.

A maláj karsztok barlangi üledékei

A malaysiai barlangokban különféle üledékekkel lehet találkozni, amelyek vagy a karsztfeljördés szempontjából lehetnek érdekesek, vagy gazdasági hasznuk miatt. Legelterjedtebbek a karbonátos üledékek. A karbonáttartalom kalcitként és aragonitként válhat ki, sztalaktitokat, sztalagmitokat és tufaüreggyököket képezve. A sztalaktitok bizzar csomókban függenek a karsztos toronyhegyek sziklafalain, gyakran a barlangnyílásokat szegélyezik. A keskeny repedésekben kalcit- vagy aragonitkristályok jelenhetnek meg. Barlangi gyöngy ott keletkezik, ahol a karbonátgazdag víz állandó mozgásban van és folyamatosan görgeti a koncentrikusan növekvő konkréciót.

Gyakori kitöltésanyag a foszfát is. A felszínen általában puha, világosbarna és porszerű, mélyebben kemény rétegzett foszfátkitöltés van. A malaysiai barlangok különleges üledéke az *öntartalmú* alluvium. Az ön az ércartalmú gránitok mállásával keletkezett és a folyók alluviális hordalékával együtt szállítottott a barlangokba, ahol *művelésre érdemes* mennyiségben fordul elő. A barlangokon kívül az alluviummal fedett hegyközi síkságok területén is lerakódott, a karsztvidékek üledéksapkaként viselkedett. Az ön után kutató vállalkozók közvetve hozzájárultak a karsztvidék és a barlangok jobb megismeréséhez s azáltal realisabb képet kaphattak a készletek elhelyezkedéséről. Ez a példa is meg erősíti, hogy a trópusi karsztok kutatása nem öncélú és nem független a gazdasági érdekektől. Egyes helyeken ónér, máshol bauxit- vagy más ásványtartalmú üledék fedte be a trópusi karsztos felszíneket.

MÓGA JÁNOS

LA RECHERCHE

(1984. jún. 156. sz.)

Földigiliszták

A giliszták a gyűrűs férgek közé tartoznak. Legismertebb képviselőjük Európában a földigiliszták (*Lumbricus terrestris*). A giliszták különféle érzéseket keltenek az emberekben. Vannak, akik undorodnak tőlük, ugyanakkor a horgászok és a kertészek becsben tartják tevékenységüket, és ha ritkán is, de a tudományos kutatók is foglalkoznak velük.

Tény, hogy a giliszta nagy szerepet játszik a talaj-vízháztartásban és -szellőztetésében. A talajon átrágják magukat; járataik mélysége a talaj minőségétől, annak szervesanyag- és nedvességtartalmától is függ.

A földigiliszták tevékenységükkel összekeverik a talaj szerves és ásványi alkotórészeit, ugyanis a belükön végighaladt talajt ürülékhalomcskák formájában a felszínen rakják le. Egy tonna földigiliszták egy hektár területen 250 tonna földet dolgoz meg.

Sajnos a korszerű mezőgazdasági technika, főként a peszticidek pusztítják a talaj állatvilágát, így a földigiliszták állományát is. A földigiliszták számos, a természetben élő állat fogyasztja, így pl. ez a fehérjében gazdag állat a háziállatoknak is kitűnő tápláléka. Mesterséges tenyésztésük szerepet vállalhatnak az állati fehérjék előállításában. Darwin nagy jelentőséget tulajdonított a gilisztáknak, de modern korunk embere ritkán választja tudományos kutatások témájául a természet e szorgalmas munkását.

Edmé Mariotte

Edmé Mariotte francia fizikus 1620-ban Dijon környékén született, és 1684-ben halt meg Párizsban. Születésének pontos helyét nem ismerik. Életének legnagyobb részét Dijonban töltötte, ahol a St. Martin-sous-Banne-i bencéskolostor főnöke volt. Az 1666-ban megalapított tudományos akadémia egyik első tagjaként tartják nyilván. Akadémiai munkásságát növény- és állatélettani kísérleti munkák fémjelzik. A gáztorvényt 1618-ban fedezte fel Boyle-lal egyidőben. Így a tudomány a törvényt Boyle–Mariotte törvény néven ismeri. A törvény azt mondja ki, hogy a gáz nyomása állandó hőmérsékleten a térfogatával fordítva arányos. Mariotte fizikai kísérleteket végzett a folyadékok mozgásával, a testek színével kapcsolatban is. Felfedezte pl. hogy a szem ideghártyája azon a helyen ahol a látóideg belép, nem tartalmaz fényérzékeny idegelemeket. „Új felfedezés a látás kapcsán” című munkája 1668-ban jelent meg. Ebben 26 oldalon fejti ki a vakfolttal kapcsolatos elméletét. Számos művét olvasva lemérhető sokoldalúsága. Condorcet francia filozófus írta róla: „Mariotte volt az első francia filozófus, aki a kísérleti fizikának kötelezte el magát.”

TOVÁBBI CIKKEK: Tudomány Európa számára? A jéghegyek elolvadása. Mesterséges enzimek. „Fa-korszag” — a neolitikor. Világügyetünk jövője. Vita: Nobel-díj és politika. Nézőpont: szelektáció az egyetemeken. Australopithecusok a fákon. Technológia a vakok szolgálatában.