

O CARSTE EM GREDA

Joël RODET ¹

recebido em novembro 1993/versão final aceita em agosto 1994

Abstract : The chalk karst

Chalk is a carbonate rock liable to karstification, although not every chalk area contains underground drainage. The study of karst on chalk by scientists and planners dates back to the mid 1800's. Chalk is a somewhat porous, marly and resistant rock. These characteristics are responsible for the wide spectrum of circulation patterns present, from an intergranular aquifer to a well defined conduit flow system. All other possible varieties may occur, depending on physical-hydrological parameters.

key words: *Chalk, karst, Quaternary evolution, mixed aquifer, Paris basin, Côte d'Albâtre, Lower Seine, Champagne, Montagne de Reims, Pays d'Othe, Australia, Nullarbor Plain, Guadalupe*

Resumo

A greda é uma rocha carbonatada que pode sofrer carstificação. Isto foi demonstrado por trabalhos desenvolvidos por cientistas e planejadores há um século e meio. Entretanto, nem todas as gredas dão lugar a drenagens cársticas. A greda é uma rocha carbonatada relativamente porosa, margosa e resistente à erosão. Estas características são responsáveis pela diversidade de aquíferos que a greda pode apresentar; variando de um extremo (aquiífero intergranular) a outro (drenagem em condutos), incluindo todas as variantes permitidas pela conjugação dos parâmetros físico-hidrológicos.

palavras-chave: *Greda, carste, evolução quaternária, aquífero misto, Bacia de Paris, Côte d'Albâtre, Baixo Sena, Champagne, Montagne de Reims, Pays d'Othe, Austrália, Nullarbor Plain, Guadalupe*

¹CNEK, BP 131, 76501 Elbeuf Cedex, França e

URA D1694, Laboratório de Geomorfologia do CNRS, 24 rue des Tilleuls, 14000 Caen França.

1. Introdução

As pesquisas sobre o carste em greda ocorrem já há bastante tempo devido à exploração de recursos hídricos na bacia de Paris. Os estudos foram motivados pelos conflitos de uso entre as necessidades industriais e urbanas. Assim, no início do século XX, o essencial das leis reguladoras do aquífero gredoso já havia sido enunciado antes que cessasse o interesse pelo assunto. Foi preciso esperar os anos cinquenta para que uma abordagem mais racional renovasse os dados. Por uma espécie de "efeito de pêndulo", se antes o carste em greda não era levado em conta, agora os especialistas o vêem por toda parte. Somente nos anos 80 é que as interpretações se tornaram mais abalizadas, sendo o carste na greda integrado em seu contexto morfodinâmico. A figura 1 mostra as principais áreas de ocorrência de greda no mundo.

2. Características gerais do carste em greda segundo o exemplo normando

O estudo dos fenômenos cársticos na Alta Normandia (noroeste da França) revela que mais de um quarto do território é carstificado. Na verdade, provavelmente esta proporção deva ser ainda maior, podendo-se supor que todos os planaltos gredosos da região tenham sofrido processos cársticos durante o Quaternário. Isto está comprovado por conexões hídricas efetuadas por meio de traçadores, que atravessam áreas onde não se observam fenômenos cársticos superficiais. Deve-se considerar que, em razão das características da matriz carbonatada e da evolução quaternária, o carste em greda é um mero-carste que se manifesta na paisagem através apenas de dolinas (que não devem ser confundidas com depressões de origem antrópica) e surgências.

2.1. Influência da porosidade e da permeabilidade

O longo debate sobre a suscetibilidade cárstica da greda vem de sua alta porosidade total (30 a 40%). Esta porosidade foi por vezes interpretada como permeabilidade, esta última responsável pelo trânsito de água na rocha. A permeabilidade é de 0,5 a 1%, o que é mais próximo dos valores necessários para tornar possível a circulação concentrada (QUINIF, 1983). Considerando o fraturamento da rocha e o desnível criado pelos vales, temos todas as condições para a existência de uma drenagem cárstica. A especificidade da greda é relacionada a sua permeabilidade, que permite a coexistência de uma camada aquífera intersticial e de uma dinâmica cárstica, cujas interações determinam a complexidade do aquífero. A mistura das águas de ambas as origens é responsável pela relativa estabilidade físico-química e pela relevante mineralização das águas que transitam no carste. Em vários casos, como na bacia do Rio Rançon (departamento de Seine Maritime), o vetor bacteriológico, presente somente em águas cársticas, é o único elemento que torna possível a identificação destas, visto que as águas cársticas podem representar menos de 1% do total de certos mananciais (figura 2). Em outros locais, e mais especificamente nas *cuestas* e nos *causses*, a influência cárstica é muito mais clara, devido a uma rede cárstica mais evoluida e às infiltrações mais concentradas. Observa-se que as velocidades de fluxo das águas cársticas não tem ligação com a porcentagem representada por elas no aquífero. As redes hidrológicas cársticas revelam portanto um indicador qualitativo, mas não quantitativo da dinâmica do aquífero.

A dinâmica da dissolução de condutos se dá de forma concentrada. O contexto estrutural, em planaltos de altitude moderada, obriga a um regime relativamente vagaroso com preenchimento concomitante, responsável por uma espeleogênese *per ascensum* (paragênese) às vezes em um desnível de várias dezenas de metros. Esta evolução determina a seleção de coletores a partir de um entrelaçamento inicial de drenos em sua maior parte abandonados. A evolução cárstica dos sistemas na greda passa de um estágio inicial pouco hierarquizado mas muito difuso, talvez influenciado pela porosidade do aquífero, a uma concentração em alguns eixos que demonstra a predominância do fluxo em condutos. Isto foi observado por MEGNIEN (1960) no Pays d'Othe (sudeste da bacia de Paris) onde o carste tem, segundo as oscilações sazonais da superfície do aquífero, o papel de coletor da camada aquífera ou de escoadouro das águas recentes.

2.2. O funcionamento cripto-cárstico

A greda, facilmente atacada por agentes químicos e mecânicos, está frequentemente revestida por um manto de alteração que raramente deixa aflorar a rocha. Nos raros afloramentos ocorre uma discreta morfologia de dissolução (cripto-carste) com *kamenitzas* muito pequenas. Quase sempre desenvolvem-se drenos sub-verticais sob o manto de alteração. Estes drenos absorvem os produtos da dissolução e os depósitos terciários. A base do manto de alteração entalha "picos" de greda na superfície rochosa, que exumados sob as vertentes dão origem aos famosos "homens de greda" da Côte d'Albâtre (Seine Maritime).

2.3. O carste subterrâneo

No meio subterrâneo encontra-se a melhor expressão do mero-carste da greda. O contexto pouco tectonizado das bacias sedimentares e sobretudo a baixa altitude (do nível do mar até 300 metros) privilegia a drenagem por condutos subhorizontais. As formas verticais também se fazem presentes. Elas ocorrem na zona de infiltração, mas são frequentemente mascaradas sob o manto de alteração. Estas formas relacionam-se por vezes a uma mudança significativa do nível de base relacionada a modificações na topografia local. Trata-se de sumidouros escavados *per descensum*. No entanto a heterogeneidade da dinâmica cárstica pode ocasionar o alagamento de galerias, causando o surgimento de cavernamento *per ascensum*. Este é o caso das *châminés* de equilíbrio que recortam a superfície, conhecidas como *bîmes* no Pays d'Othe. Estas formas têm uma significação particularmente importante nas regiões sob influência litorânea durante o Quaternário.

Os drenos subterrâneos da greda apresentam dimensões modestas, se comparados aos de calcários compactos. As maiores dimensões de galerias reconhecidas na Europa são de cinco a oito vezes menores do que os condutos em calcário maciço, variando entre 0.5 e 5 metros de diâmetro. Os desenvolvimentos explorados são também reduzidos (alguns quilômetros para os mais significativos). Entretanto, quase todos os elementos de organização espacial estão presentes, o que demonstra uma grande maturidade das redes subterrâneas. O endocarste pode ser sintetizado em três componentes:

- o carste da zona de infiltração, que abrange todos os mecanismos e formas ligados à penetração da água na greda;

- abaixo ocorre um carste de restituição (descarga), que nem sempre assegura uma continuidade dinâmica com as infiltrações. Esta restituição manifesta-se sob a forma de mananciais, a partir dos quais se organiza a drenagem subterrânea. A heterogeneidade do aquífero confere às restituições uma dimensão proporcionalmente mais importante do que nos carstes clássicos;
- a conexão entre as feições de infiltração e restituição define um sistema hidrocarístico, fenômeno clássico nos calcários porém menos frequente na greda em razão da possível descontinuidade cárstica devida ao aquífero poroso.

3. O papel do clima e do nível do mar

3.1. O zoneamento climático

Alguns fatores permitem a definição da tipologia do carste de acordo com sua situação zonal. Na zona temperada ocorrem sistemas cársticos particularmente afetados pela ação do gelo. Este é responsável pela raridade das formas epígeas. No leste da bacia de Paris não existem cavernas acessíveis a partir de uma entrada natural. Na zona sub-tropical árida, o carste de Nullarbor (Austrália) conserva vários megacondutos fósseis parcialmente submersos. Sua seção transversal (de 20 a 30 metros) e seu desenvolvimento (mais de 10 km em Mullamullang Cave) demonstram que sob certas condições a greda pode conter várias redes cársticas muito extensas. A exploração é dificultada frequentemente pelas zonas desmoronadas ou galerias muito estreitas. Na zona tropical úmida, as Pequenas Antilhas apresentam uma evolução cárstica epígea muito avançada que tornou-se um modelo didático. O endocarste, pouco visível mas presente, contém várias feições de absorção espetaculares (Grand Trou à Diable, Ilha de Marie Galante, Guadalupe), mas a localização insular aparenta limitar as feições de descarga, atenuadas pelo aquífero em contato com o mar.

A bacia de Paris, sob clima temperado, nos mostra um contraste entre as regiões continentais e as regiões sob influência litorânea durante o Quaternário. Em regiões continentais, três fatores determinam evoluções diferentes e às vezes complementares. A influência da topografia permite, através da orientação das drenagens, o desenvolvimento de cavidades subterrâneas com uma circulação dinâmica. Estando ausente tal influência, as cavernas apresentam várias morfologias freáticas relevantes. O mergulho das camadas implica dois sistemas cársticos que se opõem nas cuestas (figura 3); o do reverso, estabelecido segundo a direção do mergulho e o da frente, contrário ao mergulho e com uma dinâmica mais forte em razão dos declives. Finalmente, quando uma drenagem superficial instala-se a montante, a infiltração concentrada das águas determina uma região cárstica conhecida como *cause*, limitada abaixo por poderosos mananciais. Estes últimos sistemas são mal conhecidos, mas já foram registradas conexões hidrogeológicas que podem superar 27 km em linha reta do sumidouro até a surgência, com velocidades médias da água superiores a 200 m/h. Estes sistemas são particularmente vulneráveis em razão da grande quantidade de água infiltrada.

3.2. As variações do nível do mar

A influência litorânea no Quaternário se estende às áreas continentais. A primeira consequência das variações glacio-eustáticas é a compartimentação altimétrica das drenagens cársticas, algumas delas ficando suspensas, outras submersas. Estas variações podem tornar mais intensas as zonas de descarga podendo chegar a uma organização em delta cárstico. Podem também permitir várias capturas cársticas de bacias hidrográficas. Finalmente, as cavernas podem conservar os testemunhos destas variações sob forma de sedimentos, entalhes basais erosivos ou fases de fossilização. O estudo dos preenchimentos, da altimetria dos condutos e datações de espeleotemas podem trazer contribuição importante para a compreensão da evolução destas fases (RODET, 1991a).

Concluindo, há uma grande diversidade de sistemas cársticos. Isto faz necessário um estudo na escala da bacia de drenagem, de forma a se adaptar as medidas de proteção aos recursos hídricos. Esta proteção torna-se cada vez mais necessária em função da forte pressão antrópica. Em relação às três maiores causas de impacto, a urbanização, a industrialização e a agricultura, é importante introduzir a dimensão da drenagem cárstica quando do planejamento, pois qualquer alteração ecológica reflete-se sobre os recursos de água potável.

4. O carste de greda da bacia de Paris

Três regiões na bacia de Paris apresentam conjuntos cársticos significativos. Elas são representativas dos grandes tipos de carste de greda.

4.1. O litoral da Côte d'Albâtre

Este apresenta, entre a foz do rio Sena e a do rio Somme, 130 km de falésias vivas, onde 1.400 feições cársticas subterrâneas foram recenseadas. A descrição desta falésia permite colocar as feições em seu contexto estrutural e hidromorfológico e remete às relações entre o carste e os recortes do litoral (figura 4). As relações com o Quaternário são indicadas pelas variações glacio-eustáticas do nível de base e levam ao exame dos elementos que ocorrem na linha da falésia (preenchimento das janelas, testemunhos de paleomorfologias). Um ensaio de reconstituição do litoral entre Elétot e Antifer permite formular a hipótese de uma evolução quaternária do litoral ligada à dinâmica gerada pela ruptura do istmo do Estreito de Calais.

4.2. O baixo vale do rio Sena

Este é o local de inúmeras e importantes redes cársticas, a maioria das quais fossilizada. Estes conjuntos foram segmentados pela erosão e mostram vários níveis denotando uma hierarquização da drenagem e uma organização elaborada. Sua altitude, às vezes muito alta na vertente, e as morfologias de adaptação (declives, inversão da direção na drenagem) são elementos que demonstram as grandes modificações na topografia do vale. O carste é, portanto, um indicador de paleoorganizações, comprovadas pelos sedimentos do declive ou pela ausência de bacia de alimentação. Ele permite também entender a evolução dos vales ou as capturas das bacias superficiais.

No carste de Caumont (departamento de Eure), foram exploradas aproximadamente 8 km de galerias. O funcionamento hidrológico permite a observação de um esquema de organização em defluência. Estabelecidos sobre mais de 50 m de desnível, estes condutos fornecem elementos morfológicos que permitem elaborar uma cronologia (embasada por várias datações isotópicas) que pode ser também situada no contexto Quaternário. Este grande conjunto é um delta cárstico (figura 5) que conheceu pelo menos duas fases importantes, a primeira quando o rio Sena possuía uma localização mais setentrional e em seguida uma segunda fase associada à presença do vale em seu local atual.

Associado aos outros conjuntos cársticos, o sítio de Caumont permite sublinhar alguns elementos da evolução do baixo Sena. Parece provável que o vale do rio Sena tenha conhecido duas grandes fases representadas pelos vestígios paleocársticos que o acompanham. Bem acima na vertente encontram-se vários vestígios associados a esta primeira fase. Mais abaixo, ao pé do escarpamento, desenvolve-se um segundo conjunto, associado ao rio Sena instalado em seus meandros atuais, que recorta parcialmente os elementos da primeira fase.

Poder-se-ia associar este modelo ao ocorrido no litoral da Côte d'Albâtre e talvez relacioná-los a uma evolução sincrônica. O ponto de ruptura poderia ser, aqui também, a abertura do Estreito de Calais, cuja nova dinâmica acarretou o recuo rápido da linha da costa e a introdução do vale no contexto litorâneo. Isto é o que a cronologia de submersões das cavernas baixas na vertente do vale do Baixo Sena parece indicar.

4.3. O Pays d'Othe e a Montagne de Reims

As estruturas das cuevas formam um conjunto merecedor de um exame específico. Consideraremos portanto duas localidades próximas; o Pays d'Othe e a Montagne de Reims. No Pays d'Othe distingue-se as drenagens acima e abaixo do reverso de cuesta e as drenagens acima e abaixo da frente, ambas apresentando dinâmica semelhante. Entretanto, apenas o reverso apresenta os *bîmes*, chaminés de equilíbrio funcional que traduzem a instabilidade dos drenos e a incapacidade das redes de evacuar as grandes cheias associadas a anomalias climáticas. A observação indica que isto pode ser atribuído à busca do perfil de equilíbrio que localmente engendra o aprofundamento das drenagens em proveito de condutos mais recentes de pequenas dimensões, que regulam as cheias. Estas chaminés de equilíbrio, reservatórios naturais durante cheias, desenvolvem-se sistematicamente a montante da drenagem. Estes mecanismos explicam o fato de que, apesar da inclinação geral mais forte do que no carste dos planaltos normandos, as velocidades de escoamento são da mesma ordem. Na frente pode-se observar a mesma dinâmica, talvez um pouco mais rápida (faltam dados), mas sobretudo fazem-se presentes os mecanismos de captura dos paleodrenos do reverso ou da frente, incorporados ao sistema atual.

Na Montagne de Reims, esta dinâmica está particularmente desenvolvida nos rios subterrâneos mais evoluídos (maduros). As surgências mostram uma certa estabilidade que evidencia uma evolução quaternária bastante modesta da frente da cuesta. Esta constatação deve ser exprimida espacialmente. Com efeito, parece que, se a parte setentrional da Montagne de Reims não mudou, ou mudou muito pouco, a frente da cuesta do Pays d'Othe vivenciou localmente vários retoques relacionados às capturas dos

paleodrenos. Sobretudo, parece que os vales cataclinais foram os setores onde houve maior evolução. Assim, o rio Yonne permitiu a inversão da direção do escoamento da drenagem no carste de Beudemont. O rio Sena fez a captura fluvial da parte de montante da drenagem da bacia do rio Marsanne. O rio Marne parece ter favorecido a incisão da parte meridional da Montagne de Reims. Neste local não existe sistema cárstico conhecido e a drenagem epígea escoava acima do maciço por vales que atingem quase a cornija.

Entretanto a ausência de carstificação profunda nesta parte da cuesta não pode ser explicada inteiramente pela evolução quaternária da mesma. Está evidente que é preciso levar em conta a ação antrópica. Nas regiões de cuesta as drenagens cársticas foram recortadas por escavações artificiais (relacionadas à exploração de recursos hídricos). Estas escavações são muito discretas nas proximidades do vale do rio Marne, ao contrário do Pays d'Othe ou da frente nordeste da Montagne de Reims.

5. Conclusão

A carstificação em greda é um fenômeno importante, vastamente distribuído em áreas com esta litologia, independentemente da zona climática. As influências estruturais e as especificidades locais mostram que as bacias cársticas são a escala apropriada na qual deve-se procurar desenvolver uma política coerente de manejo e proteção do meio ambiente. Todos os exemplos que temos estudado o demonstram.

A greda encerra um aquífero significativo ao mesmo tempo produtivo e vulnerável devido a sua estrutura cárstica. Sua integridade tem sido ameaçada pela forte pressão antrópica sob forma de uma urbanização rápida, por uma industrialização consumidora de água e poluidora e finalmente por uma agricultura que se modificou radicalmente nos últimos anos, sem que se tenha procedido a uma avaliação do impacto desta modificação no meio natural. O reservatório em greda, em razão de toda esta demanda, tornou-se frágil. A educação das populações e talvez uma política específica deveriam anteceder cada projeto de desenvolvimento, contemplando assim o bem estar das populações locais.

Agradecimentos

Agradeço a Augusto Auler pela tradução do texto.

Referências bibliográficas

- MEGNIEN, C. 1960. *Observations hydrogéologiques sur le sud-est du bassin de Paris. Les circulations aquifères dans le Jurassique et le Crétacé de l'Yonne*. Tese de 3º ciclo. Faculdade de Ciências de Paris. Mémoires-du-BGRM. 25. 288p.
- QUINIF, Y. 1983. *Éléments d'une approche énergétique du karst. Application à quelques exemples réels de karsts*. *Karstologia*, n. 1 p. 47-54.

RODET, J. 1991a. *Les karsts de la craie, étude comparative*. Tese de doutorado de Estado. Universidade de Paris - Sorbonne. Paris. 562 p.

RODET, J. 1991b. La craie, roche carbonatée poreuse, et son karst. *Karstologia*, n. 18 p. 13-18.



Figura 1 - Principais regiões de greda no mundo. 1-Kansas (EUA), 2-Planície costeira do Golfo do México, 3-Grandes Antilhas, 4-Regiões sedimentares das Pequenas Antilhas, 5-Périgord (França), 6-Bacia Anglo-Parisiense, 7-Planície Norte-Européia, 8-Europa Oriental, 9-Deserto da Líbia, 10-Planície de Nullarbor (Austrália).

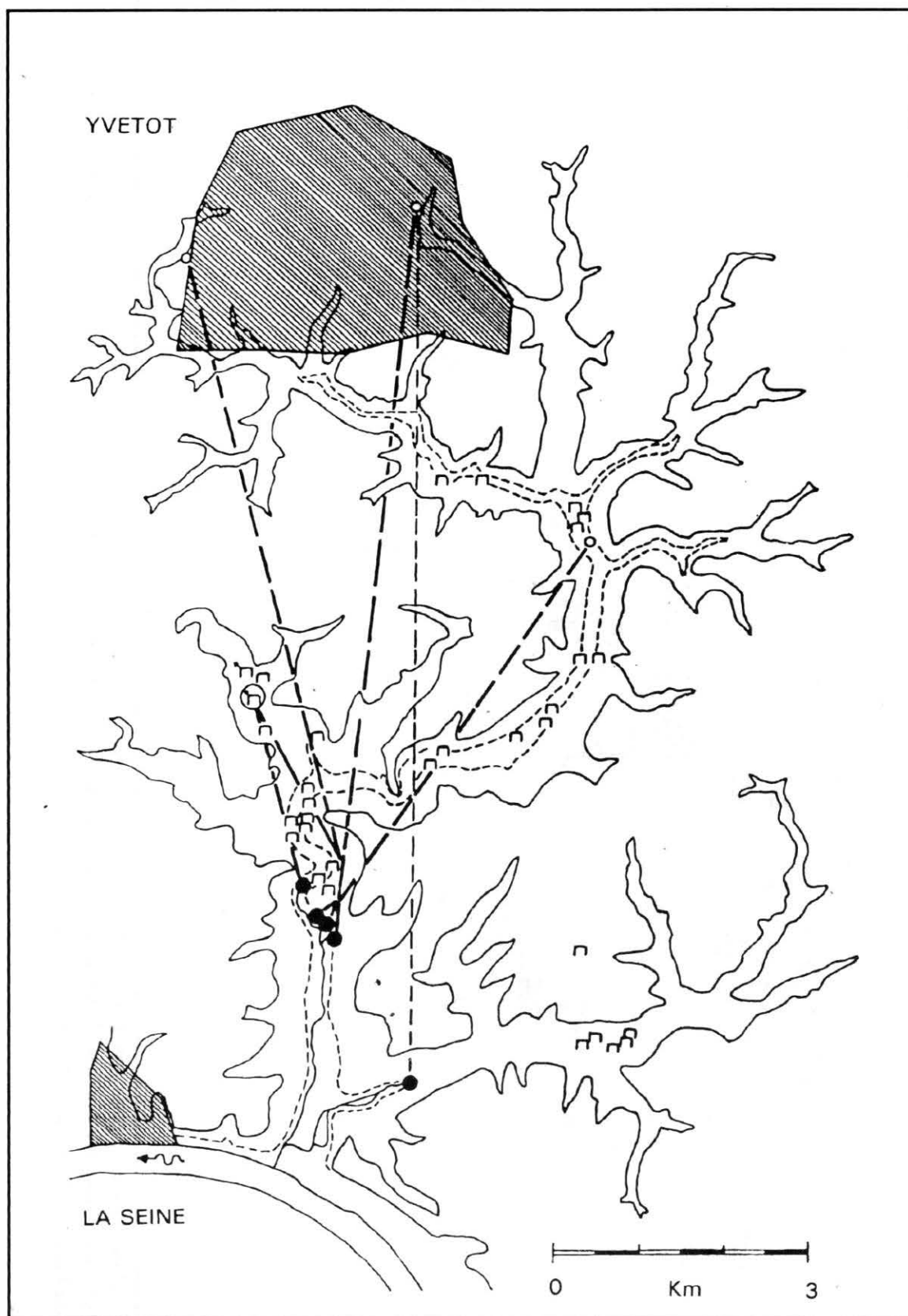


Figura 2. Conexões hidricas subterrâneas realizadas a partir de estudos com traçadores na bacia do rio Rançon, departamento de Seine Maritime, França.

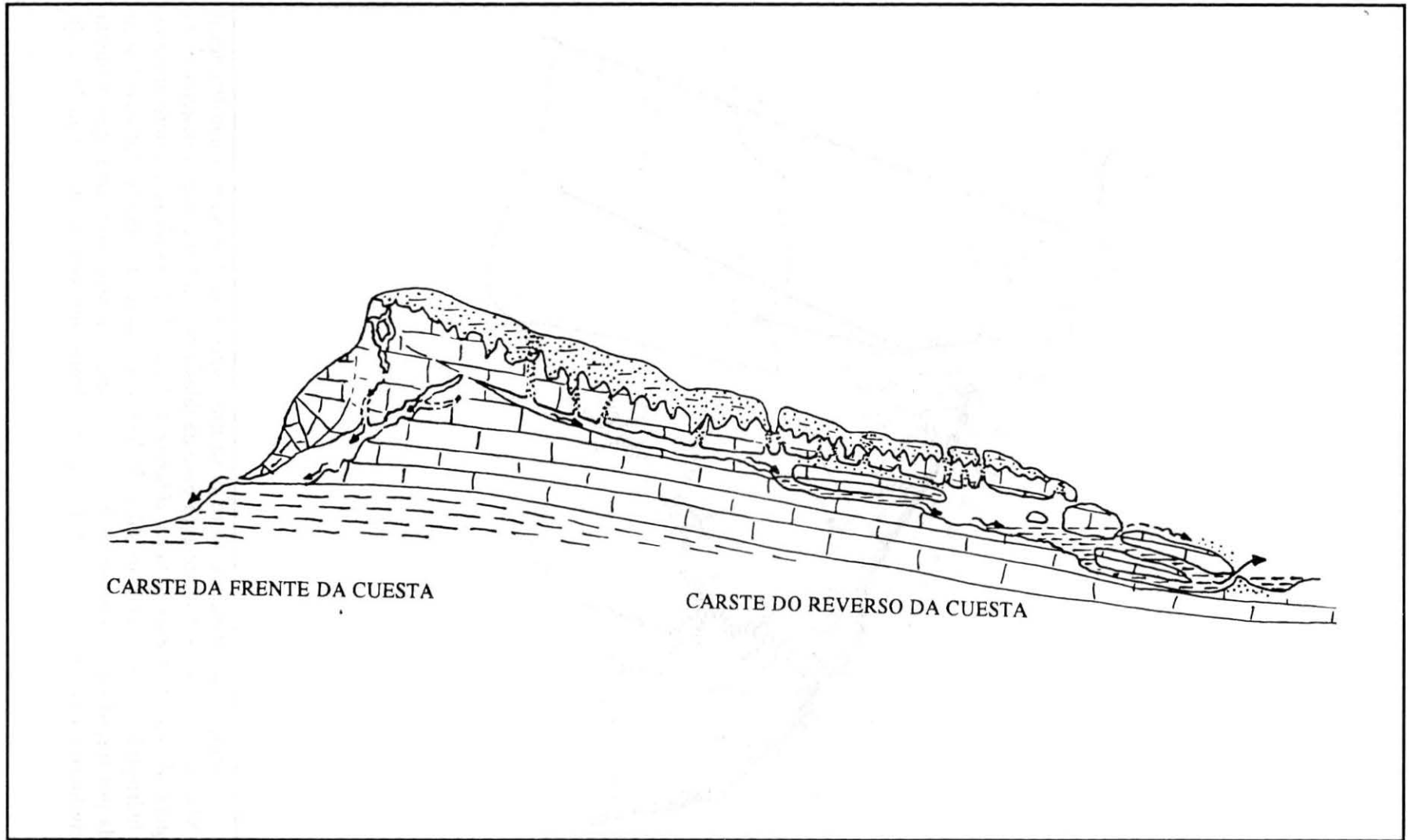


Figura 3 - Sistemas cársticos em cuesta.

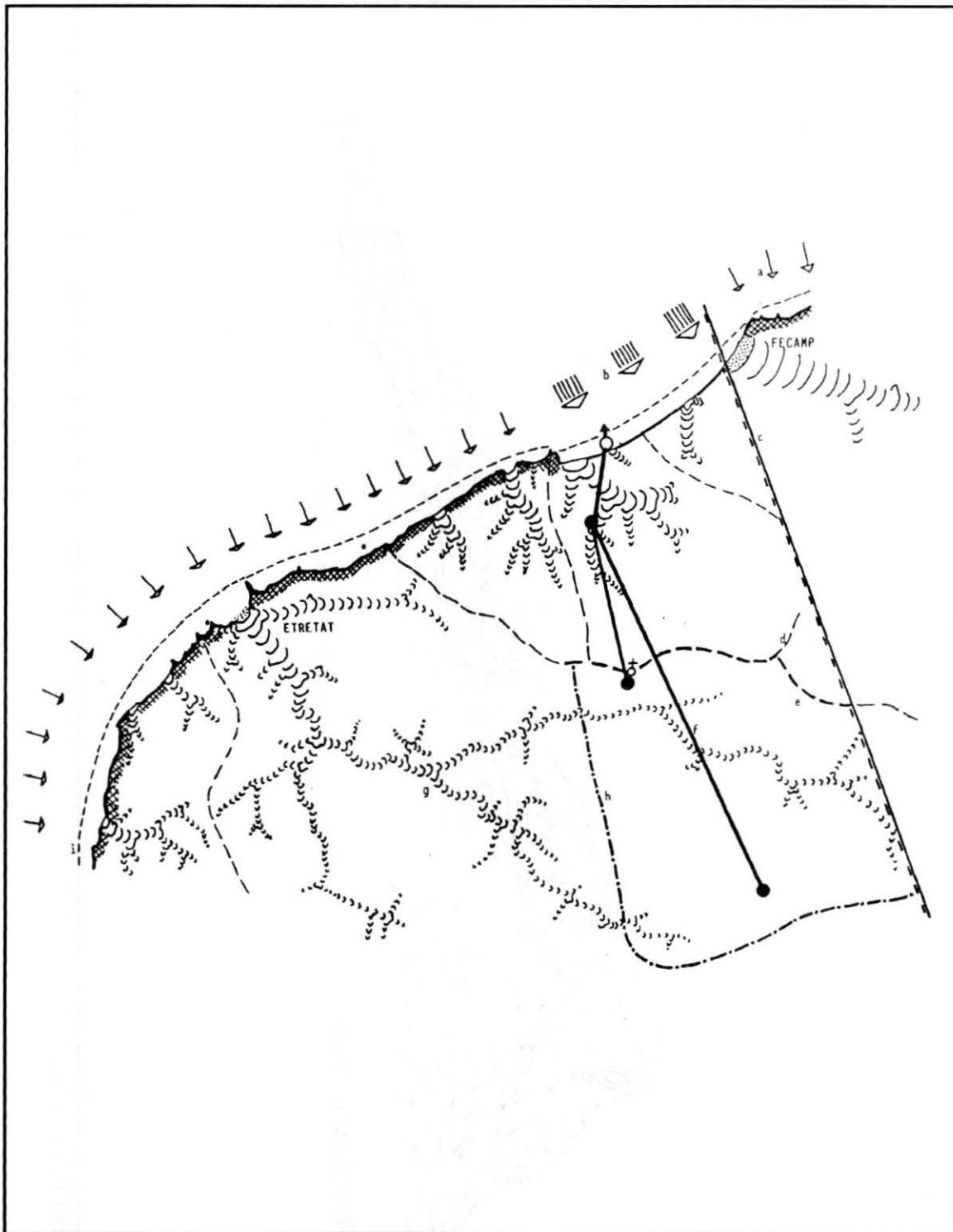


Figura 4. Evolução do litoral de Côte d'Albatre, entre Elétot e Saint Jouin-Bruneval (Seine Maritime); *a*-recuo diferencial (a base da falésia possui horizontes resistentes); *b*-recuo generalizado da falésia; *c*-falha; *d*-limite de bacias hidrográficas; *e*-limite entre as bacias hidrográficas de Etretat ao sul e de Yport ao norte; *f*-conexão hidrogeológica efetuada por traçadores; *g*-vale seco; *h*-limite do setor da bacia de Etretat que alimenta por sumidouros a bacia subterrânea de Yport; *i*-limite aproximado da antiga linha de costa.

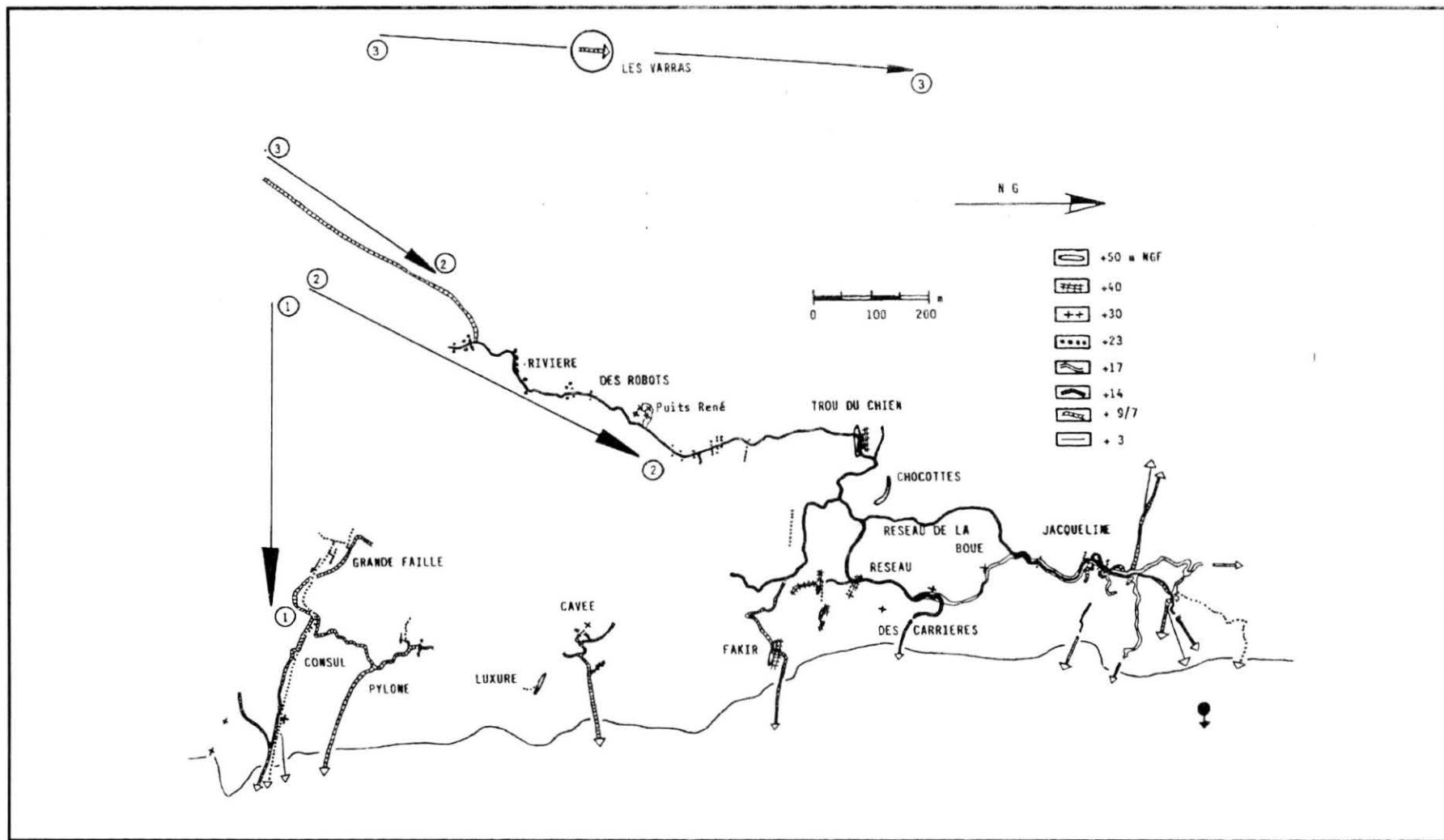


Figura 5 - O delta cárstico de Caumont. Os drenos são representados por classe altimétrica. As ressurgências prováveis são representadas por setas brancas. Os três eixos atuais de drenagem estão indicados por setas pretas.