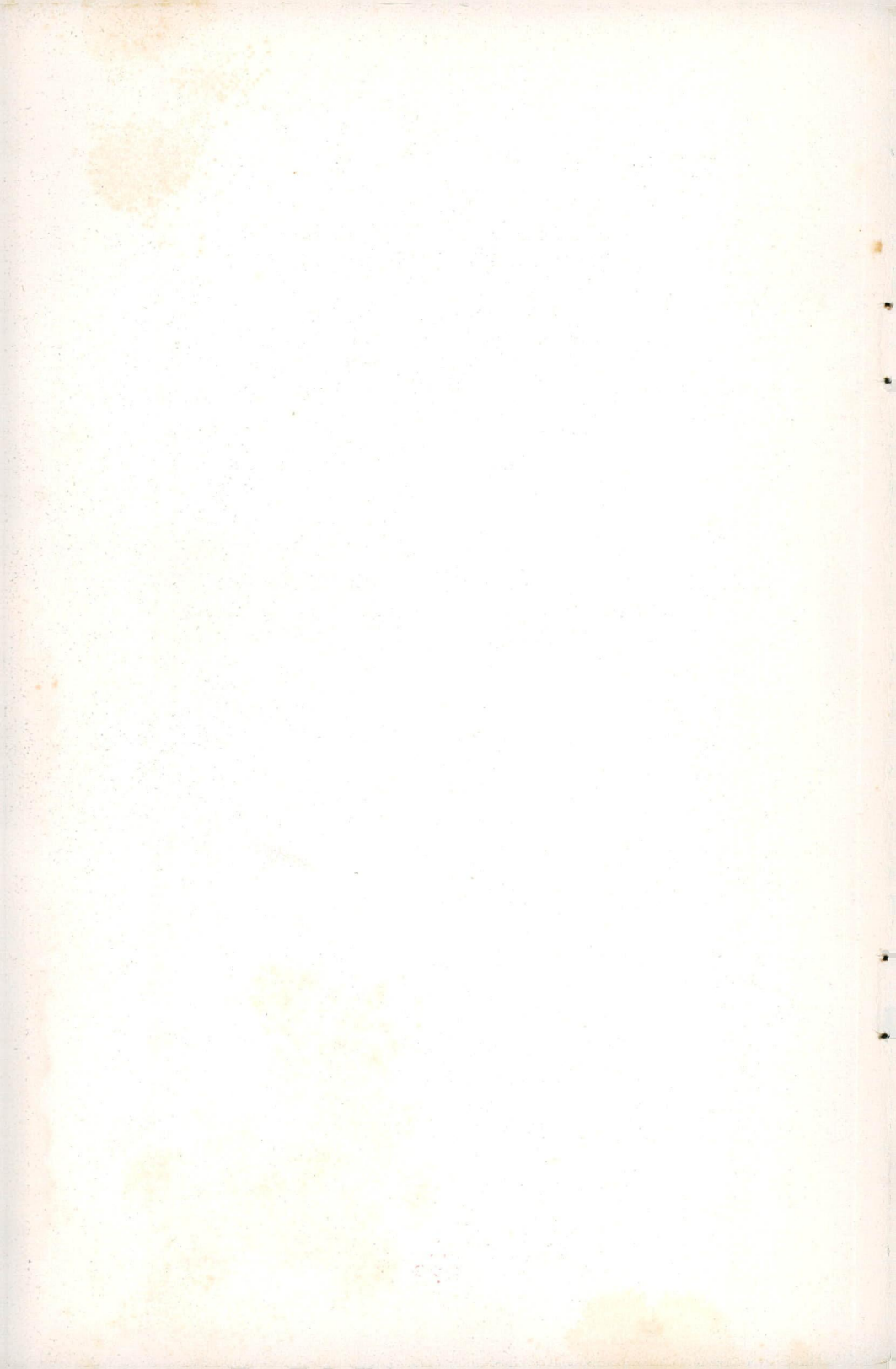


**eighth
international
congress of
speleology**

**guidebook to
karst of the
Central
Appalachians**



Eberhard Werner



GUIDEBOOK TO THE KARST OF
THE CENTRAL APPALACHIANS

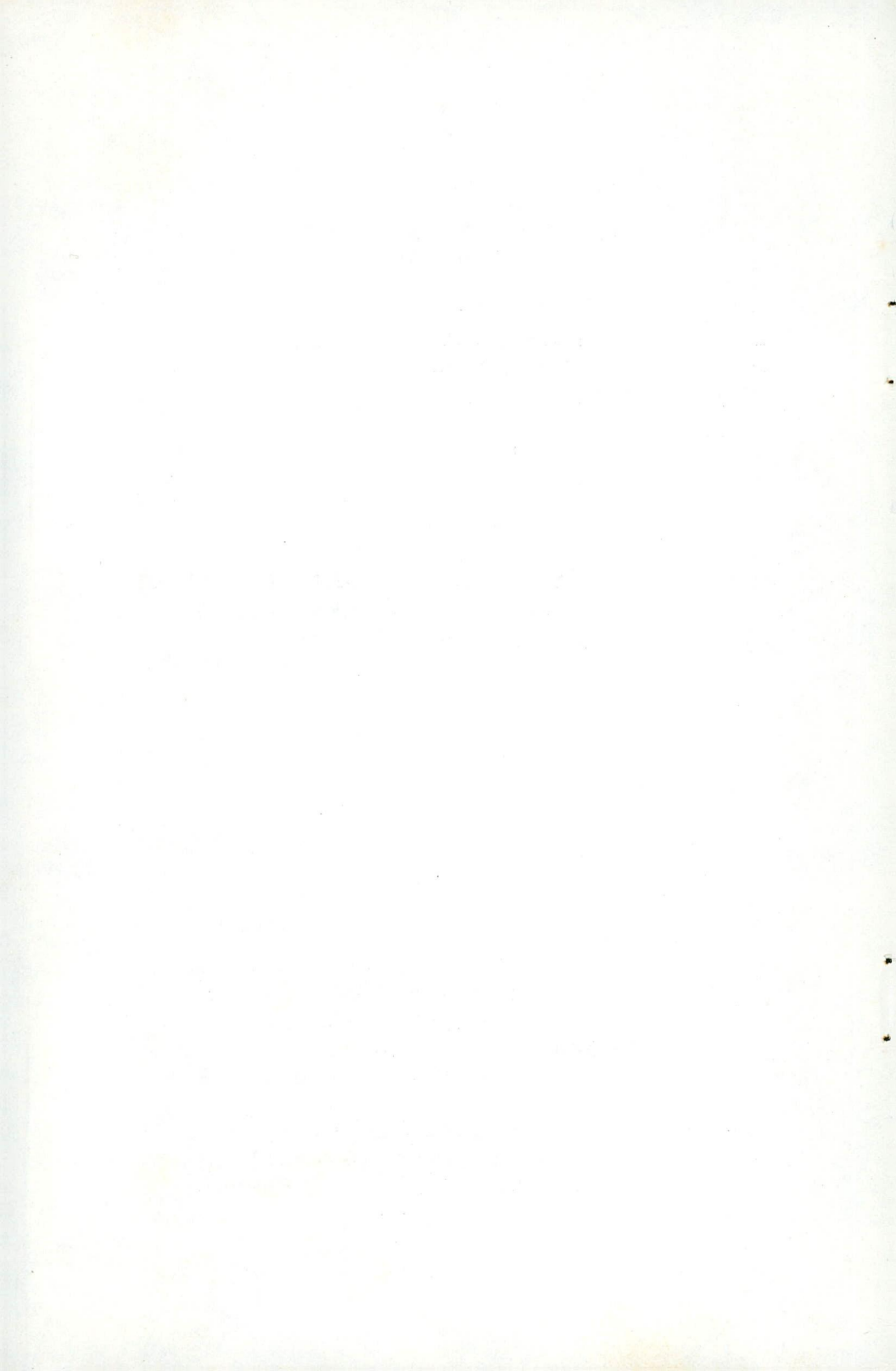
Eberhard Werner
Department of Geology
Waynesburg College
Waynesburg, Pennsylvania, 15370, U.S.A.

Prepared for the
EIGHTH INTERNATIONAL CONGRESS OF SPELEOLOGY
Bowling Green, Kentucky, U.S.A.
July 18 to 24, 1981

edited by
Barry F. Beck
Geology Department
Georgia Southwestern College
Americus, Georgia, 31709, U.S.A.

translated by
Astrid Lipp (German)
Carolyn G. Williams (French)

PROPERTY OF THE
WINDY CITY GROTTTO
LIBRARY



The Central Appalachians - General Considerations

The Central Appalachians extend from within the state of Pennsylvania in a southwesterly direction to southern Virginia and eastern Kentucky (figure 1). Within this area are several strips of karstified rocks which are essentially parallel to each other and to the general geologic and topographic grain of the area. This excursion will sample each of these terrains with special emphasis on the karst development of the Mississippian (Lower Carboniferous) rocks of eastern West Virginia.

The first section of this guidebook will be a summary of the physiography and geology of the route to be traversed by the excursion and the nearby areas. It should be understood that the areas under discussion, especially the various physiographic provinces, extend considerably beyond the boundaries of the portions described herein; the descriptions found below are semi-specific.

The second section of the guidebook will include detailed descriptions of geology and hydrology of specific sites or areas to be visited.

Physiography

Most of this excursion will be within the Appalachian Highlands geographic division of Fenneman (1938), which is composed of four physiographic provinces (figure 2). The descriptions below apply to the general area traversed on this excursion. A more complete and more general description of the whole of the physiographic provinces may be found in Davies (1968) or Fenneman (1938).

The easternmost, the *Piedmont*, is an upland of rolling hills with gentle slopes and relief generally less than 150 ft (50 m). The major valleys, however, may be quite steep-sided and are cut to depths of several times the average relief. The rocks of the Piedmont are primarily igneous and metamorphic which are usually deeply weathered. Because of this, there has been little or no karst development, although a few small caves and some sinkholes are known from the Piedmont in Virginia (Douglas, 1964).

The *Blue Ridge* province contains the easternmost mountain range of the Appalachian Highlands. The mountains of the Blue Ridge rise abruptly from the Piedmont on the east and terminate with equal abruptness in the Great Valley to the west. The Virginia portion of the Blue Ridge consists of a main high broad ridge with low peaks flanked by a broad band of spurs and foothills. Altitudes of the ridge crest range from 3000 to slightly more than 5000 ft (900-1200 m); the spurs and foothills are 1000-2000 ft (300-600 m) lower. Slopes on the flanks of the ridge and on the spurs are 30°-45°, and rocky cliffs as high as 400 ft (120 m) are common. The rocks in the Blue Ridge are dominantly metamorphic. There is no karst development within the province.

The major karst development in the state of Virginia is in the *Valley and Ridge* province. Along the eastern part of the province is the Great Valley, known as the Shenandoah Valley in Virginia and by other names elsewhere, which is a rolling lowland formed on highly folded limestone, dolomite, and shale of lower Paleozoic age. It is about 20 mi (32 km) wide and is about 500-800 ft (150-250 m) above sea level. Slopes are gentle and relief is about 50-100 ft (15-30 m). Karst development is extensive. Sinkholes, some as much as 300 ft (100 m) in diameter and 10-30 ft (3-10 m) deep, are a common part of the landscape. Subsoil karren development is extensive, and in many areas the highest ribs show through the soil. Underground drainage is the rule and only major trunk streams have water in them the year round.

To the west of the Great Valley is a mountainous area of alternate long narrow even-crested ridges and narrow valleys. As a general rule, the major ridges are formed by quartzitic sandstones at several horizons within the Paleozoic sedimentary sequence. The valleys and lower flanks of the major ridges are underlain by shale and limestone. The major ridges are 1300-4500 ft (400-1400 m) in altitude with relief up to 2500 ft (750 m). The subordinate ridges are 1000-1500 ft (300-450 m) lower in altitude and correspondingly lower in relief. The flanks on one side or the other of the major ridges are typically dip slopes ranging from 15° to 45°. Cliffs are usually

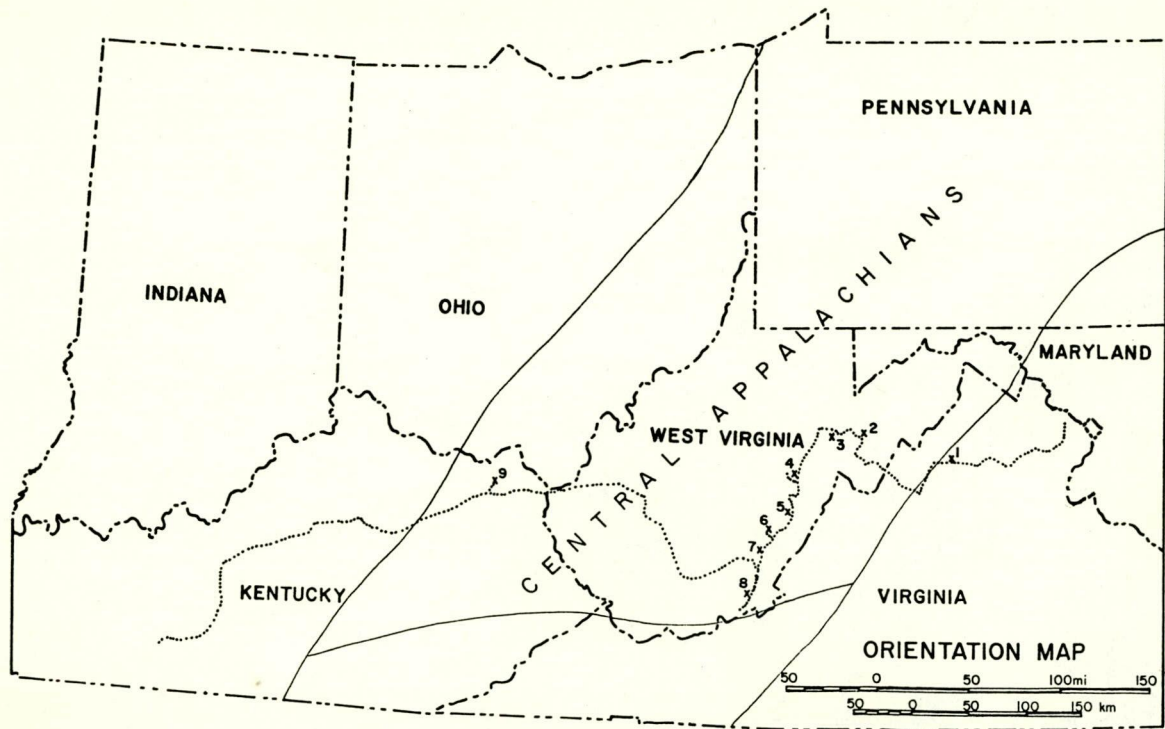


Figure 1. Index map showing location of the Central Appalachians and the excursion route. Locations of the areas to be visited are shown: 1-Luray Caverns, 2-Germany Valley, 3-Bowden Fish Hatchery, 4-Elk River Basin, 5-Edray Hatchery, 6-Friars Hole Cave System, 7-Greenbrier County karst, 8-Monroe County karst, 9-Carter Caves State Park.

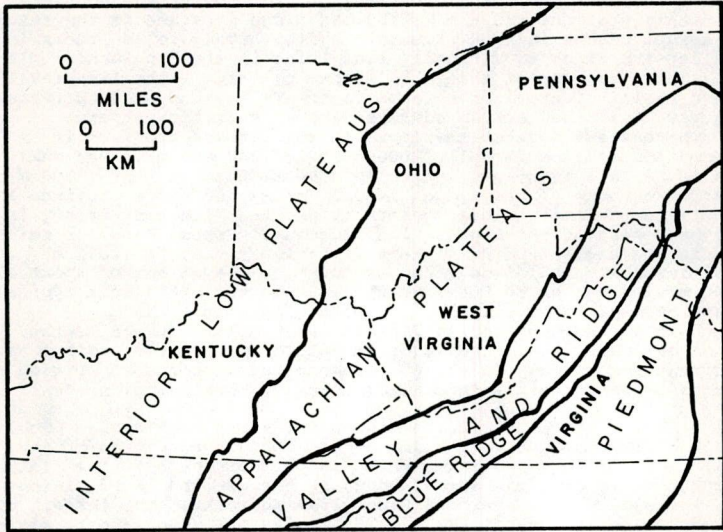


Figure 2. Map of the Central Appalachian area delineating the physiographic provinces (after Davies, 1968).

developed on the other flank to heights of 30-150 ft (10-45 m). Where hard sandstone beds are vertical, spines and ribs of rock rise 50-700 ft (15-20 m) above the ridges.

Karst development among the ridges is not always immediately obvious, but many caves are present. In spite of the relatively small portion of limestone exposure, much of the surface water is diverted underground for some portion of its flow.

The westernmost of the Appalachian Highlands physiographic provinces is the *Appalachian Plateaus* province. This is a high upland dissected by many streams. The contrast in landforms at the boundary between this province and the Valley and Ridge province is the result of an abrupt change in rock structure - from highly folded rocks in the Valley and Ridge to virtually flat-lying in the Appalachian Plateaus. There is a major change in stream patterns; the linear valleys and trellis pattern of streams in the Valley and Ridge province giving way to incised stream courses with a dendritic pattern.

The eastern edge of the Appalachian Plateaus province is an escarpment that rises abruptly 1000-3000 ft (300-900 m). Maximum altitudes of this front are generally several hundred feet (~100 m) greater than those of the ridges in the Valley and Ridge province immediately to the east. This eastern ridge, the Allegheny Front, is the highest part of the Appalachian Plateaus. Spruce Knob, on this ridge, is the highest point in West Virginia at 4861 ft (1482 m). Both altitude and relief decrease westward to elevations of about 2500 ft (750 m) and relief of 500-1500 ft (150-450 m). This area typically consists of small steep-sided hills with slopes up to 45°.

Most of the Appalachian Plateau is underlain by sedimentary rocks of various types. The major structure is a gentle basin. Karst development occurs only in the easternmost and westernmost portion of the province where fairly thick limestones of Mississippian age crop out.

Although no stops will be made outside the Appalachian Highlands geographic division, the excursion passes through a portion of the *Interior Low Plateaus* province, which is part of the Interior Plains geographic division. The actual boundary between the two divisions is a low, westward-facing scarp of Pennsylvanian rocks. The terrain consists of low-relief terrain (about 200 ft [60 m]) underlain by flat-lying sedimentary rocks of various types. Typical altitudes are 1100-1300 ft (335-400 m) except near major, through-going rivers. Except near the boundaries, the province consists of broad valleys with isolated conical hills scattered about. Karst development is varied, ranging from hillside caves extending under the scarp at the province boundary to sinkhole plains with or without caves in many of the broad valleys near the center of the province.

Geology

The Appalachian Mountains are a classic geologic region, and have been the site of some of the earliest geologic investigations in the western hemisphere. Thousands of publications exist on the subject of the geology of the Central Appalachians. Some of these are referenced in Miller, Hadley, and Cox (1968). General publications on the geology of the areas to be traversed on this excursion are Butts (1940), Cardwell (1975), Cardwell and others (1968), McFarlan (1943). Publications on the caves and karst of these same areas are Douglas (1964), Davies (1958), McGill (1933), Holsinger (1975). Specific publications on particular aspects or particular areas will be noted at the appropriate points in the detailed discussions in the second part of this guidebook.

The general bedrock geology of the area to be covered by this excursion is shown in figure 3. A comparison with figure 2 will show that certain characteristics of geology are specific to particular physiographic provinces; most of these have been noted under the discussion of physiographic provinces. The geological provinces within the Central Appalachians very closely coincide with the physiographic provinces, and, for the purposes of this guidebook, may be considered identical. Several generalizations may be made about the geology of the area. If we begin at the Blue Ridge province and look westward, we see that the deformation of the Blue Ridge rocks is the most intense and becomes less the further west we go until we reach the center of the Appalachian Structural basin (see figure 4). The rocks of

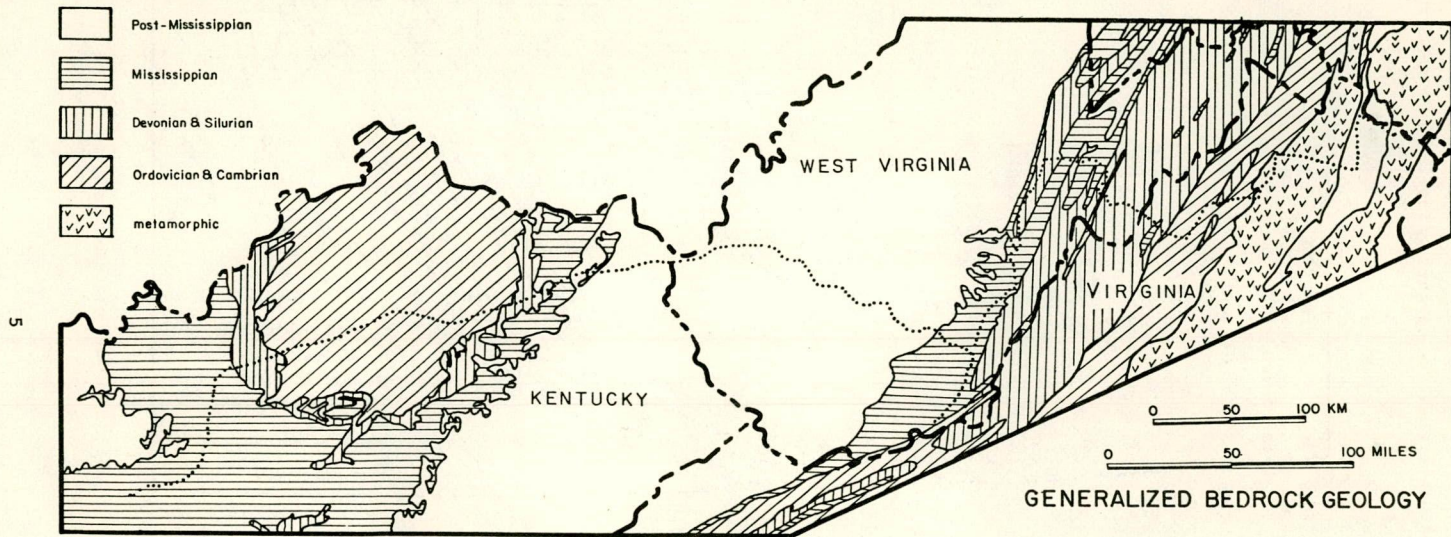


Figure 3. Generalized Bedrock geology map. Excursion route is shown as the dotted line.



Figure 4. Structural features map (after Rodgers, 1970).

the Blue Ridge are typically metamorphic rocks of various grades. Beyond this are sedimentary rocks; however, they are highly contorted in the Great Valley and strongly folded in the ridges west of the Great Valley, but only slightly folded or flat-lying in the Appalachian Plateaus. Similarly, faulting decreases westward to the center of the Appalachian Basin. The major faulting is along thrusts of considerable displacement which have moved major plates westward. Within the Central Appalachians these faults do not usually reach the surface except at the eastern edge; however, smaller faults associated with the major thrusts or movement of the thrust plates are present. At a scale such as for the map in figure 4, very few of these secondary faults are large enough to be shown. As a result, only the major thrusts that come to the surface in the Blue Ridge province and the Great Valley are shown. However, it will be readily apparent to anyone in the field that a great deal of minor faulting appears throughout the Valley and Ridge and into the Appalachian Plateaus province. Although the displacement along most of these faults is less than 10 ft (3 m) and often as little as 2 in. (5 cm), these faults are so numerous that they can have a significant thickening or thinning effect on beds in the sediment sequence; sometimes the effect can be as much as 50% thickening or thinning (Eddy and Williamson, 1968).

The situation is somewhat different to the west of the central part of the Appalachian Basin. In the Kentucky portion of the Appalachian Plateaus, and to the west, are fairly extensive vertical faults which are a part of the Kentucky River and Lexington fault zones. These are of considerable displacement, and have intense fracturing associated with them.

A considerable portion of the cause of the differences in intensity of structural deformation is due to nearness to the most recent major center of geological activity. Most of the forces were generated by the plate collision occurring at approximately the present site of the Piedmont province towards the end of Paleozoic time.

There is a second reason for the decreasing deformation westward. The surface rocks of the various regions are of different ages. Thus the younger rocks are expected to be less deformed because they have existed for a shorter time and through fewer tectonic events. This cause is at work in the Central Appalachians; the rocks become progressively younger as we progress through the physiographic provinces in a westerly direction to the center of the Appalachian Basin. It is perhaps significant to this statement that the rocks to the west of the Appalachians - those of the Continental Interior - are also more deformed the older they are. This relationship becomes clearer on comparison of figure 4 with figure 3.

Karst Development in the Central Appalachians

It is difficult to present any definitive general statement about karst development in the various physiographic or geologic provinces. Specific developments are a product of the geology and physiography - that is, the karst features are controlled by hydrologic conditions, which are controlled by lithology, geologic structure, and topographic relief. For example, closed depressions of various types develop wherever soluble rocks underlie the terrain, but the particular type will vary from situation to situation. On carbonate terrains, where hydraulic gradient is high enough and sufficient volume of concentrated water flow is available, the subterranean conduits are flushed of insoluble materials and caves have developed.

This excursion is intended to show an overview of the various types of karst features of the various geological provinces between Washington, DC, and Bowling Green, Kentucky. The karst development of the area straddling the boundary between the Valley and Ridge and Appalachian Plateaus provinces will be examined in detail. The remainder of this guidebook will be used to present more specific descriptions of the areas to be traversed. Because of uncertainties in access and conditions of streams and some roads, no specific localities will be given here. It will not be possible to assemble this specific information or the accompanying road log until shortly before the actual excursion. This information will be provided as a supplemental guidebook to the participants at the time of the excursion.

Although early scientific study of the U.S. karst was concentrated in Kentucky and Indiana, the Virginia and West Virginia areas played a significant part in the development of recreational caving and in sci-

entific study by amateurs. This was also the area in which the National Speleological Society originated and developed. A number of stops being made will be at sites visited by the fledgling National Speleological Society in the early 1940's.

The Great Valley

The Great Valley in Virginia is underlain mostly by limestones of Upper Cambrian and Lower Ordovician age. Karst features of various kinds are prevalent throughout the area. Large karren forms can be seen in many fields and pastures, and there are many sinking streams and karst springs. There is undoubtedly considerable underground solution; however, because of a large amount of residuum and alluvium from the Blue Ridge on the east and the clastic rocks to the west, and the relatively low hydraulic relief associated with the terrain, cavern development is not as prevalent as might be otherwise expected. There are areas where the hydraulic gradient is great enough to have flushed the clastic materials out of the solution channels, particularly along the eastern and western margins of the Great Valley. Many of the caverns on the eastern side, on the flank of the Blue Ridge, have been commercially developed as show caves; Luray Caverns is one of these. None of these caves is very large, but nearly all are very decorated with speleothems.

Luray Caverns - a representative Great Valley cave.

The following is condensed from the description of McGill (1933). Luray Caverns is located in Page County, Virginia, on the east slope of Cave Hill, midway between the Blue Ridge to the east and Massanutten Mountain to the west (figure 5). The cave has been open to the public since 1878, and has often been described as the prettiest of the Virginia caverns.

Luray Caverns is in the Nittany Dolomite of the Lower Ordovician Beekmantown Group. Cavern development is a fairly complex network of rooms which shows a pattern, although not the rigid parallelism associated with joint control of passages (figure 6). As with most of the Great Valley caves, development of Luray Caverns is controlled by a complex combination of factors with subsurface hydraulic gradient, stratigraphy, geologic structure, and the paleogeomorphology all contributing, but no single cause predominating. At present, there is little or no enlargement by solution occurring; in Luray Caverns, as in most of the caves along the Blue Ridge side of the Great Valley, most activity is in deposition of various forms of drip- and flowstone.

The Ridges

West of the Great Valley are a series of long, parallel ridges. In Pendleton County, West Virginia, where this excursion will pass through this portion of the Valley and Ridge province, the ridges are underlain mostly by rocks of Silurian and Devonian age, except for the small area of Germany Valley, discussed separately below, which exposes rocks as old as Middle Ordovician (figure 7). Most of the Silurian and Devonian rocks are clastics; however, there are two limestone sequences within the ridges that are significant for their potential for karst features. These are the Upper Silurian Tonoloway Limestone and the Lower Devonian Helderberg Group. Numerous caves are developed within both of these carbonate units, with the majority of the known caves in the New Scotland Limestone of the Helderberg Group.

Data on caves in this geographical area are somewhat sparse. This is largely because of a lack of exploration for cave entrances. Much of the terrain tends to be more difficult, and has largely been bypassed for the more accessible and more productive terrain of the Appalachian Plateaus. Also, because of the abundant supply of clastic materials available in this terrain, those cave channels that have been developed are often partially or totally filled. The caves which have been discovered and mapped usually are limited in one dimension by stratigraphy - that is, the thickness of the particular limestone in which they are found. Passage development is generally at intersections of joints and bedding planes, and the pattern produced is controlled by structural position. Because this terrain is quite tightly folded, most caves are in steeply dipping rocks and developed as unitary, relatively horizontal passage roughly parallel to the valley walls - thus the passages are strike-oriented (figure 8). In a few instances, cave patterns in horizontal portions of the rock - where hydraulic conditions at time of formation were favorable - are of the joint-controlled maze type (figure 8).

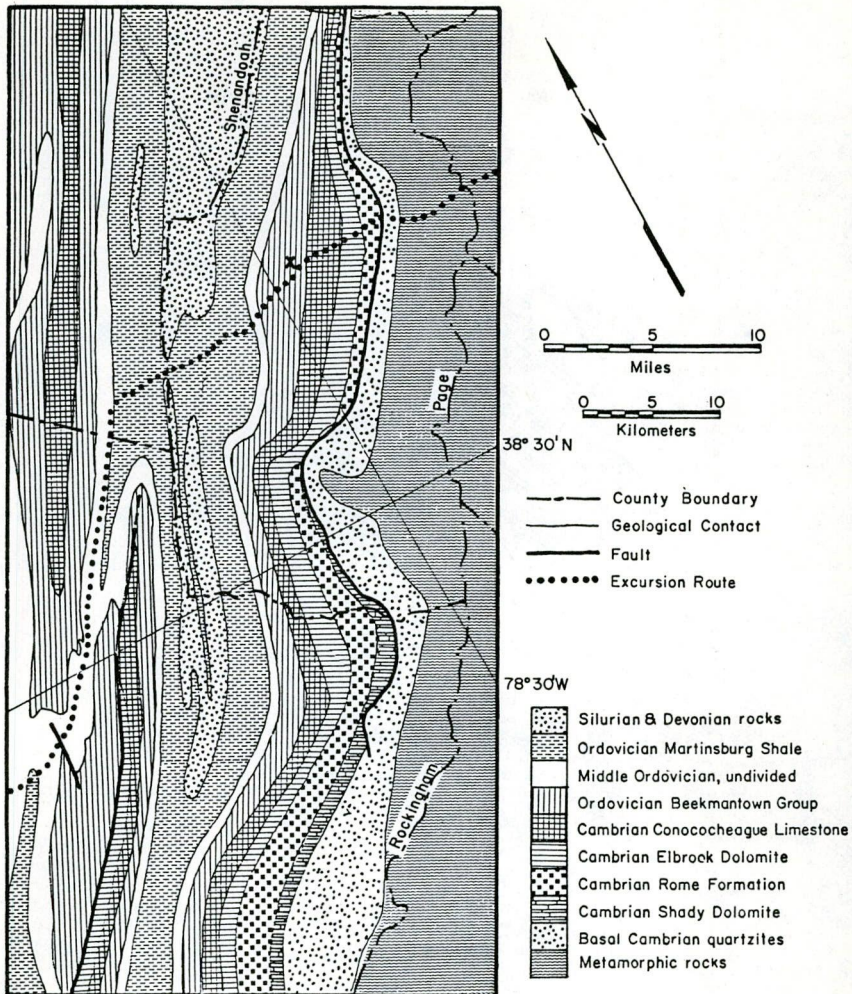


Figure 5. Geological map of the Great Valley near Luray, Virginia (after Butts, 1933).

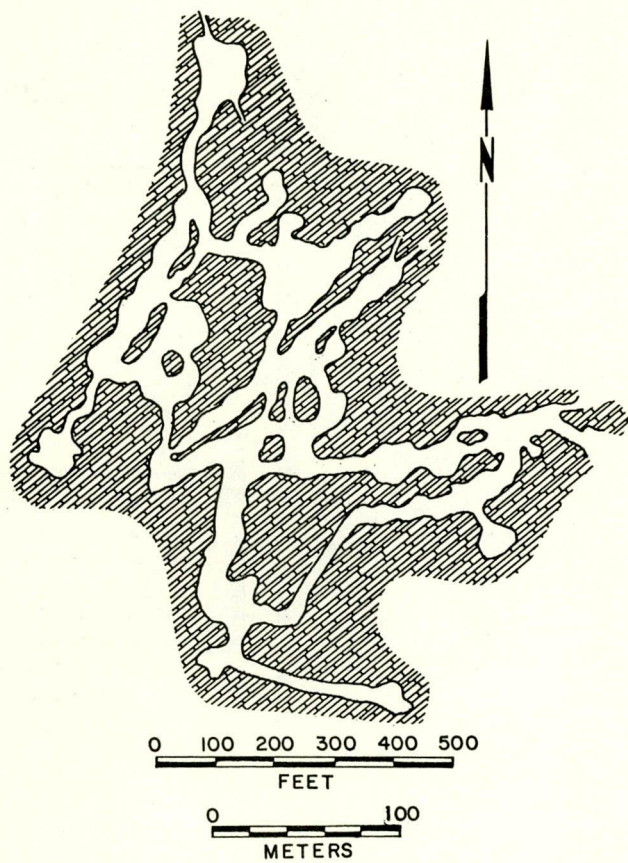


Figure 6. Map of passages in Luray Caverns (after McGill, 1933).






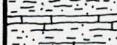
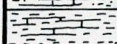
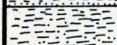
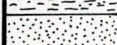

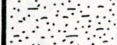
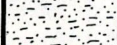

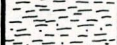

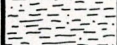
	Ridgeley (Oriskany) Sandstone	Lower	SILURIAN	DEV.	
	upper Helderberg Group				
	Keyser Formation	Upper			
	Tonoloway Limestone				
	Wills Creek & Williamsport Formations				
	McKenzie Formation, Rochester Shale, & Keefer Sandstone	Middle			
	Rose Hill Formation				
	Tuscarora Sandstone	L.			
	Juniata Formation	Upper			ORDOVICIAN
	Oswego Sandstone				
	Reedsville Shale				
	upper Trenton Group				
	Nealmont Limestone	Middle			
	Black River Group				
	New Market Limestone				
					

Figure 7. Geologic column in the ridges of the Valley and Ridge province of West Virginia (after Cardwell and others, 1968).

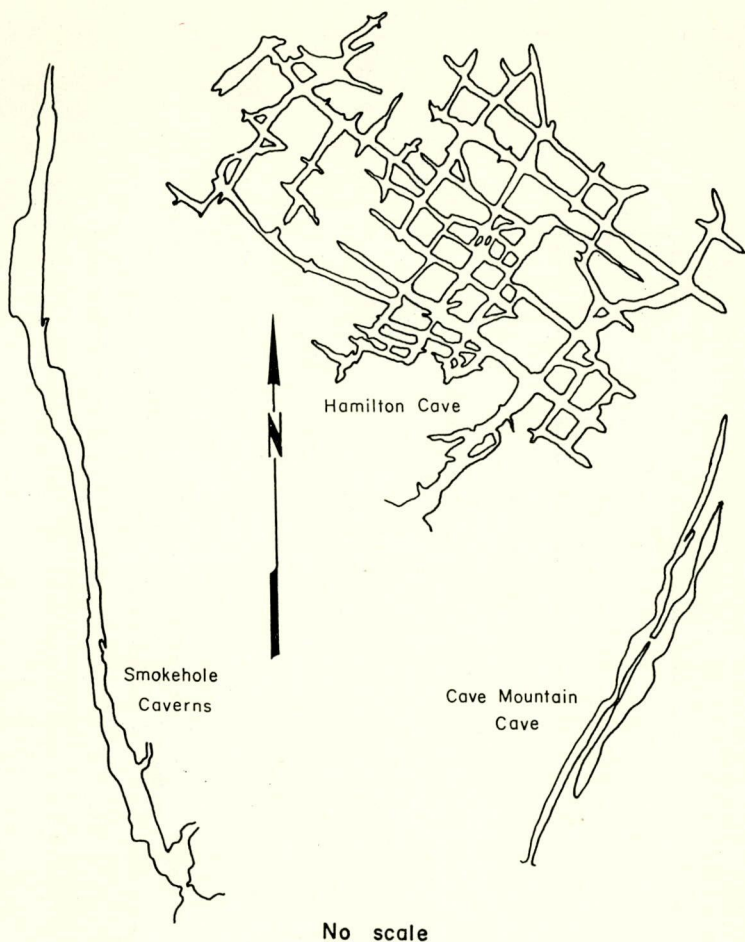


Figure 8. Representative cave maps of caves developed in the Helderberg Group limestones in the West Virginia ridges (after Davies, 1958). Smokehole Caverns and Cave Mountain Cave are located in steeply dipping rocks; Hamilton Cave is in nearly horizontal rocks.

Germany Valley

A small area in the western portion of Pendleton County is in marked contrast to the rest of the area. Germany Valley is an anticlinal valley developed on the top of the Wills Mountain anticline, the highest fold in this part of West Virginia, with about 13,000 ft (3960 m) of structural relief. This eroded structure has brought to the surface the Middle Ordovician carbonate rocks (figure 9). A number of well-known caves, including Hellhole and Schoolhouse Cave are developed in these rocks. Cave patterns tend to be three-dimensional networks, with vertical development common.

Germany Valley has been instrumental in the development of cave investigations in West Virginia. A fieldhouse has been operated by cavers for many years and this has served as a gathering place and base of operation for cave investigations in northeast West Virginia. As a result, this relatively small area has a considerable number of caves known.

The Greenbrier limestone karst

Before beginning discussion of this area, a note on designations for certain areas is in order. Confusion in identifying certain areas may be caused by the name Greenbrier, which is used for a group of formations, a county in West Virginia, and the major river draining the area. In this discussion, whenever "Greenbrier karst" is used, it refers to the karst development on or in the Greenbrier Group of rocks. The karst of the county will be labelled "Greenbrier County karst", and when the river valley is meant, it will be called the "Greenbrier Valley karst."

Nearly all the karst development in the Appalachian Plateaus province of West Virginia is within the limestones of the Greenbrier Group. The longest caves in West Virginia, including the third-longest cave in the United States, are found within Greenbrier rocks.

The Greenbrier Group is not typical of the limestone sequences which are known for large or long caves. Most of the areas known for caves consist of terrains underlain by very thick sequences of relatively uniform limestones. In contrast to this, the Greenbrier Group consists of a sequence 200-1800 ft (60-550 m) thick and having more than 20 distinct units of limestone, sandstone, mudstone and shale organized into approximately 8 formations (figure 10). Cavern development, and karst development in general, is significantly controlled by stratigraphic and structural factors. Naturally, the hydraulic factors contribute to the development; however, the geologic factors are very important (Medville and Medville, 1971; Werner, 1973). This is particularly true in the northern part of the exposure area. The various factors of karst development vary to some extent over the area where the Greenbrier Group is exposed (figure 11); this will be further discussed for each of the subareas.

Another atypical feature of the Greenbrier karst is that, although the limestone has overwhelming control of the area hydrology, a relatively small portion of the surface exposure (as little as 5-10% in some of the northern basins) is carbonate rock. This tends to make the karst development rather unobvious in many parts of the terrain.

The Greenbrier Group rocks are exposed in portions of eastern West Virginia. The outcrop distribution is largely controlled by several large, open folds of low to moderate relief. Although the area spans a considerable distance and the thickness of the sequence varies from 200 ft (60 m) at the north end to 1500 ft (550 m) at the south end, most of the formations can be identified throughout the outcrop area.

The Greenbrier Group is the result of deposition of marine rocks during Meramecian and Chesterian time of the Upper Mississippian. Deposition occurred contemporaneously with the downwarping of the Appalachian Basin and particularly the Pocahontas Basin of southern West Virginia and southward. Deposition began in a moderately deep to shallow sea during Hillsdale and Sinks Grove time, rapidly becoming intertidal and just subtidal during Patton time, and then progressing to super-tidal during Alderson time. The thickness of the group is largely controlled by subsidence as deposition was essentially all at or near the then sea level. Thus the greater thickness of the sequence to the south indicates greater and more rapid subsidence. The dividing line between the rapidly subsiding basin and the more stable platform falls somewhere in central Pocahontas County.

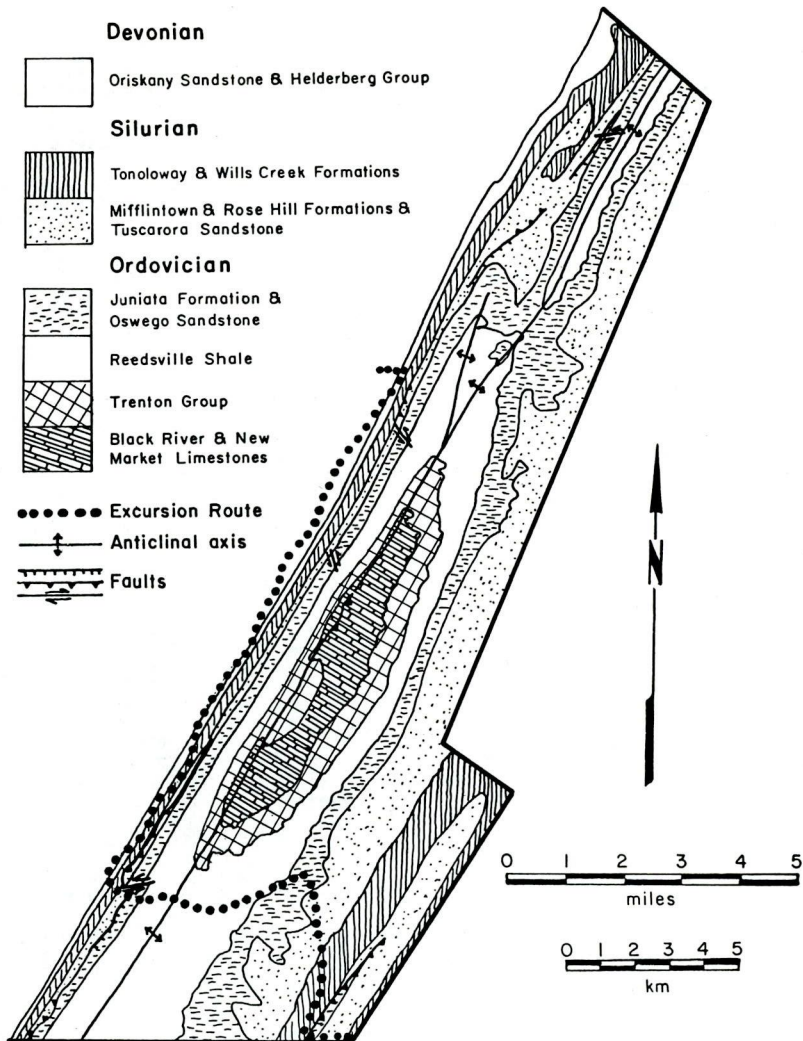


Figure 9. Geologic map of Germany Valley and vicinity (after Perry, 1975). Germany Valley is the area underlain by the Trenton Group and older carbonates on the axis of the Wills Mountain anticline.

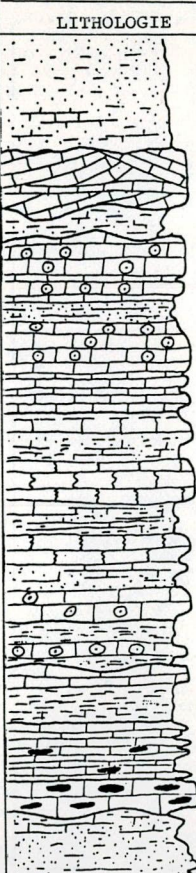
Figure 10. Stratigraphic column of the Greenbrier Group in central Pocahontas County.

LITHOLOGY	FORMATION	DESCRIPTION	THICKNESS
	Mauch Chunk Group	Gray or red, sandy, calcareous shales and mudstones overlying the Greenbrier Group, with several thin limestone beds in the lower 200 feet	
	Alderson	Limestone, dark gray, weathering yellow, usually cross-bedded, hard, and somewhat sandy, with a few crystalline streaks	12-25 m (40-75 ft)
	Greenville	Sandy shale, brown to green, lenticular, calcareous in places	12m (40 ft)
	(Gasper Age)	Limestone, gray, dark-gray or dove colored, weathering white, pure and generally oolitic, hard with crystalline streaks; contains marine fossils	12-20 m (40-60 ft)
	(=Bethel)	Sandstone, red, shaly or calcareous, lenticular	6m (20ft)
	(Fredonia Age)	Limestone, gray, dark-gray or dove-colored, weathering white, hard, siliceous, often cross-bedded, oolitic, with occasional beds of red shale or shaly sandstone, usually pure, with crystalline streaks, contains fragmentary marine fossils	15-25 m (50-75 ft)
	Pickaway	Limestone, dark-gray to dark-brown, hard and siliceous, characteristically with stylolites (?) filled with fine siliceous matter, has several beds of red and brown, calcareous shale and sandstone sparingly fossiliferous	50 m (175 ft)
	Taggard	Shale and limestone, red calcareous shales at top and bottom, gray or red oolitic limestone between shales.	10 m (30 ft)
	Patton	Limestone at top, dark-gray to red, hard, siliceous, shaly; shale at bottom, red, calcareous, sandy	15 m (50 ft)
	Sinks Grove	Limestone, dark, weathering yellow, hard, cherty, slightly oolitic, thin-bedded; contains marine fossils	15 m (50 ft)
	Hillsdale	Limestone, like Sinks Grove except usually very thick-bedded.	
	Maccrady and Pocono Groups	Shales and sandstones, highly calcareous and sometimes gypsiferous at top, deltaic sequence of redbeds in Pocono Group	

LITHOLOGIE	FORMATION	BESCHREIBUNG	DICKE	
	Mauch Chunk Group	Graude oder rote, sandige, kalkhaltige Schiefer und Schluffsteine, welche die Greenbrier Group überlagern, mit mehreren dunnen Kalksteinschichten in den unteren 60 m		
	Alderson	Kalkstein, dunkelgrau, das Verwitterte gebl, gewöhnlich kreuzgeschichtet, hart, etwas sandig, mit einigen kristallinischen Schlieren	12-25 m	
	Greenville	Sandiger Schiefer, braun bis grün, linsenförmig, an manchen Stellen kalkhaltig	~12 m	
	Union	(Gasper Zeitalter)	Kalkstein, grau, dunkelgrau oder taubengrau, das Verwitterte weib, rein und im allgemeinen oolithisch, hart, mit kristallinischen Schlieren; enthält Marinfossilien	12-20 m
		(=Bethel)	Sandstein, rot, schieferig oder kalkhaltig, linsenförmig	~6 m
		(Fredonia Zeitalter)	Kalkstein, grau, dunkelgrau oder taubengrau, das Verwitterte weib, hart, siliziumhaltig, oft kreuzgeschichtet, oolithisch, mit zufälligen Schichten roten Schiefers oder schieferigen Sandsteins, gewöhnlich rein, mit kristallinischen Schlieren, enthält Marinfossilien-Fragmente	15-25 m
	Pickaway	Kalkstein, dunkelgrau bis dunkelbraun, hart und siliziumhaltig, gewöhnlich mit Stylithen (?), die mit feinem siliziumhaltigem Stoff ausgefüllt sind, hat mehrere Schichten roten und braunen kalkhaltigen Schiefers und Sandsteins; spärlich fossilführend	~50 m	
	Taggard	Schiefer und Kalkstein, rote kalkhaltige Schiefer oben und unten, grauer oder roter oolithischer Kalkstein zwischen Schiefere	~10 m	
	Patton	Kalkstein oben, dunkelgrau bis rot, hart siliziumhaltig, schieferig; Schiefer unten, rot, kalkhaltig, sandig	~15 m	
	Sinks Grove	Kalkstein, dunkel, das Verwitterte gelb, hart, hornsteinhaltig, leicht oolithisch dünn geschichtet; enthält Marinfossilien	~15 m	
Hillsdale	Kalkstein, wie Sinks Grove, aber gewöhnlich sehr dick geschichtet	~10 m		
Maccrady und Pocono Gruppen	Schiefer und Sandsteine, hoch kalkhaltig und manchmal oben gipshaltig, deltaformige Folge von Btschichten in der Pocono Group			

Figure 10.
Greenbrier Group

Figure 10.
Greenbrier Group

LITHOLOGIE	FORMATION	DESCRIPTION	EPAISSEUR	
	Groupe Mache Chunk	Schistes et pierres argileuses calcaires, sableux, gris ou rouges qui recouvrent le Groupe Greenbrier en ayant plusieurs couches calcaires minces dans les 200 pieds inférieurs		
	Alderson	Calcaire gris foncé, jaune désagrégé d'habitude en couches entrecroisées, dures, un peu sableuses avec quelques filons cristallins	12-25 m	
	Greenville	Schiste sableux, marron ou vert, lenticulaire calcaire par endroits	12m	
	Union	(Age Gasper)	Calcaire gris, gris foncé ou gris très claire, désagrégation blanche, pur, oolithique en général, filons cristallins durs présente fossiles marins.	12-20 m
		(=Bethel)	Grès rouge, schisteux ou calcaire, lenticulaire	6m
		(Age Fredonia)	Calcaire gris, gris foncé ou gris très claire, désagrégation blanche, dur, siliceux, souvent avec des couches entrecroisées, oolithique, avec parfois des couches de schiste rouge ou de grès schisteux, pur, avec des filons cristallin il présente des fossiles marins fragmentaires.	15-25 m
	Pickaway	Calcaire, gris foncé ou marron foncé, dur et siliceux, souvent avec stylolites (?), remplis d'un matériau fin et siliceux, comporte plusieurs couches rouges et marrons schiste calcaire et grès, maigrement fossilifère	50 m	
	Taggart	Schiste et calcaire, schistes rouges calcaires en haut et en bas, calcaire gris ou groupé oolithique entre les schistes.	10 m	
	Patton	Calcaire en haut gris foncé ou rouge, dur, siliceux, schisteux; schiste en bas, rouge, calcaire, sableux.	15 m	
	Sinks Grove	Calcaire foncé d'un jaune désagrégé, dur chertique, légèrement oolithique, couches minces, il présente des fossils marins	15 m	
	Hillsdale	Calcaire semblable à celui de Sinks Grove sauf qu'il se présente en couches épaisses	10 m	
Les Groupes Maccrady et Pocono	Schistes et grès, très calcaire, parfois gypsifère en haut, strate deltaïque de couches rouges dans le groupe Pocono.			

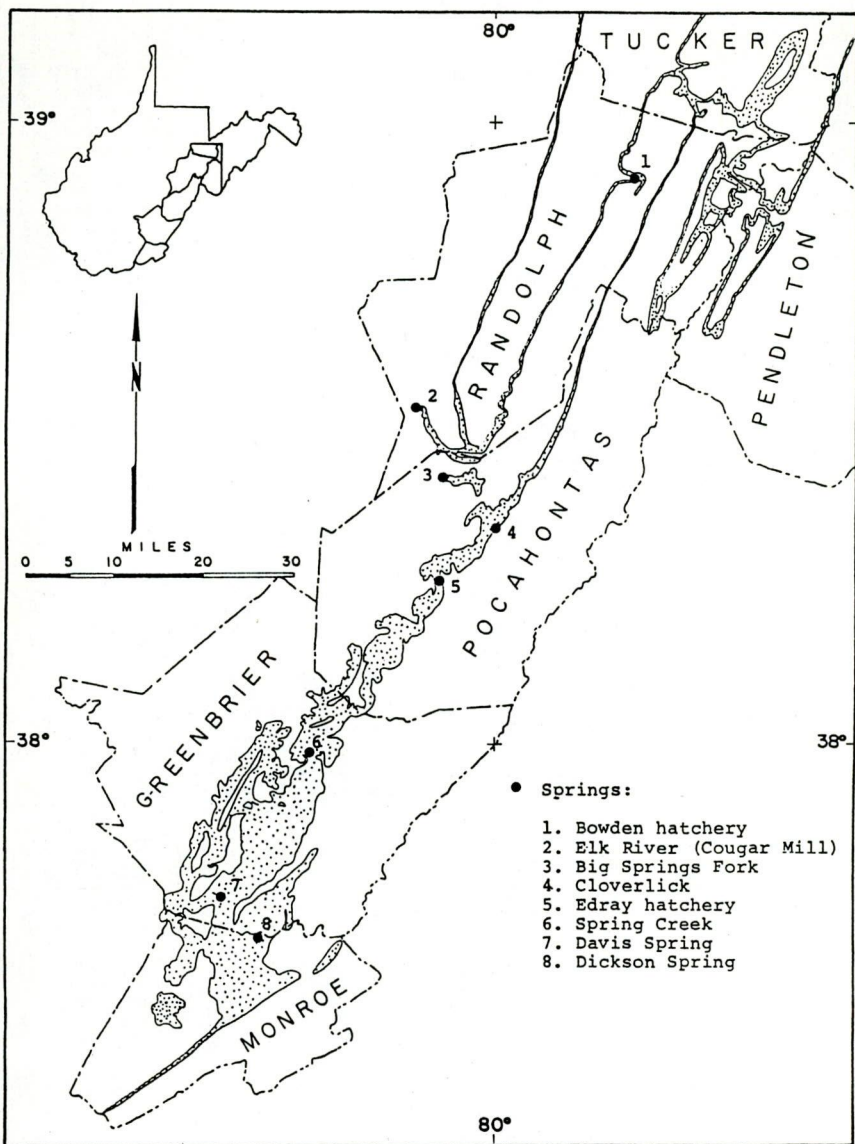


Figure 11. Map of the southeastern portion of West Virginia showing the outcrop area of the Greenbrier Group. Some of the larger karst springs are indicated.

The Bowden Fish Hatchery

The U.S. Fish and Wildlife Service operates a large trout hatchery at Bowden, West Virginia. The water source for all operations is from two large karst springs, with a combined yield of about 2,000 gallons (7,570 liters) per minute. The springs are located near the axis of the North Potomac syncline, and issue near the base of the Greenbrier Group. Most of the water flows to the springs through conduits, many of which are large enough for human passage.

During construction of a superhighway, several shafts and cave passages were unroofed. This resulted in large amounts of mud being washed into the conduits which were feeding one of the hatchery springs. In one incident, more than 150,000 trout hatchlings were killed by the muddy water. Numerous other incidents occurred during the highway construction. In addition, water flow at the spring was reduced because some surface water was directed into runoff drains rather than being allowed to soak into the ground to recharge the karst aquifer.

The Upper Elk River Basin

The hydrology of this area has been studied and reported in considerable detail by Medville (1977). The area consists of a hilly terrain with 1500-2000 ft (460-610 m) of relief. The Greenbrier limestones are generally exposed in the valleys and lower hillslopes and comprise about 15% of the surface area. Surface streams are repeatedly captured by subterranean channels in the limestones and forced to the surface once again by the less soluble units within the sequence (figure 12). Two distinct styles of water movement are seen within the basin; which form is developed depends on the relationship between topographic slope and stratigraphic dip (figure 13). Where topographic slope exceeds stratigraphic dip, subsurface flow may be characterized as an aquifer having conduit flow with capping and perching beds as noted by White (1969). These conduits often contain free-surface streams flowing to gravity-fed springs. Where the entire carbonate sequence is above hydrologic base level, the general flow pattern is as in figure 13a; vadose shafts carry water down through the upper limestones to one of the clastic beds. Flow is then essentially horizontal until the non-carbonate rock is breached, either underground or at the surface. This process is repeated to the base of the sequence, and further flow is on the surface. The second pattern of water movement occurs if the dip of the limestone exceeds the topographic gradient. Water is captured when it reaches the limestone and reappears as springs at the lowest elevation of the limestone unit within the stream bed.

Numerous springs exist in the Elk River basin; usually the smaller ones are the result of the first of the hydrologic styles discussed above, and the larger ones of the second style. The largest spring, at the lowest exposure of the Greenbrier Group, issues from the top of the sequence with a base flow of 10 cfs (0.28 m³/sec) and a high flow of about 240 cfs (6.8 m³/sec).

Cavern development is largely based, naturally, on the hydrologic patterns described above. The numerical majority of cave entrances are the vadose shaft entries to the underground systems. The area is very active hydrologically, and most of the horizontal passages are water-filled. One unusual cave in the basin is Simmons-Mingo Cave. This is an unusually straight cave, apparently developed along a fracture zone which is apparent on aerial photographs as a distinct photolineament. The straight sketch extends for about 10,000 ft (3050 m) along the lineament.

Surface karst development is relatively rare and consists of a few dolines and open vadose shafts scattered about the hillsides. The intermittently-dry bed of the Elk River contains some very fine examples of solution sculpturing where the bedrock is exposed.

The Edray Hatchery

The hatchery, operated by the state of West Virginia, is located in central Pocahontas County. All of its operating water is obtained from several springs which issue from the base of the Greenbrier Group. The source of the water is small streams which sink on both sides of Wolfpen Ridge, the topographic divide at the base of which the hatchery is located (figure 14). One of the examples of interbasin (topographic) water transfer through subterranean channels is the water sinking in the Indian Draft basin (east of Wolfpen Ridge) and flowing through a cave to the springs in the Stoney Creek basin.

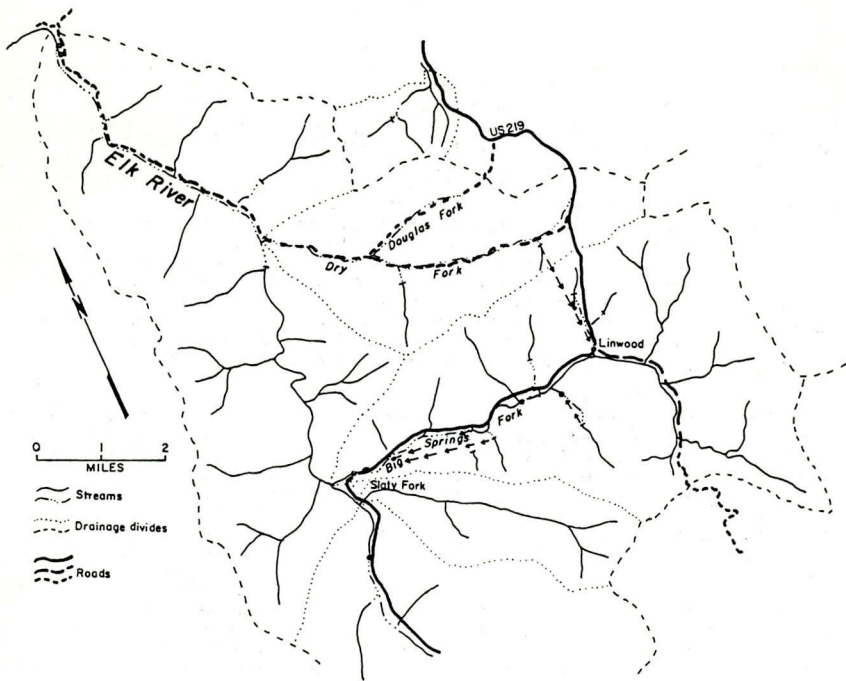


Figure 12. Map of the upper Elk River drainage basin. Arrows indicate subterranean flow paths which have been dye-traced.

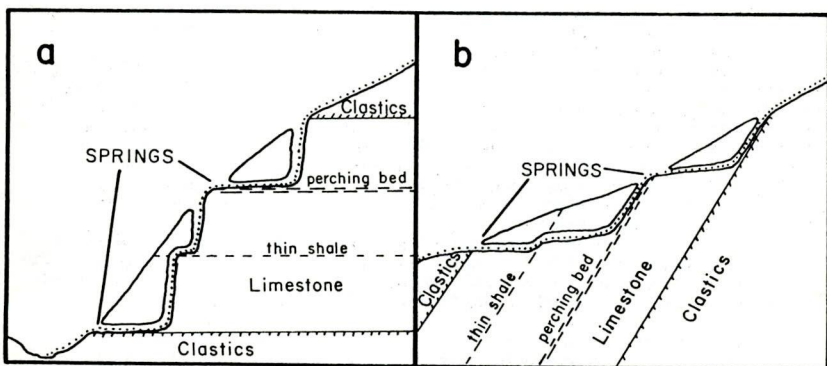
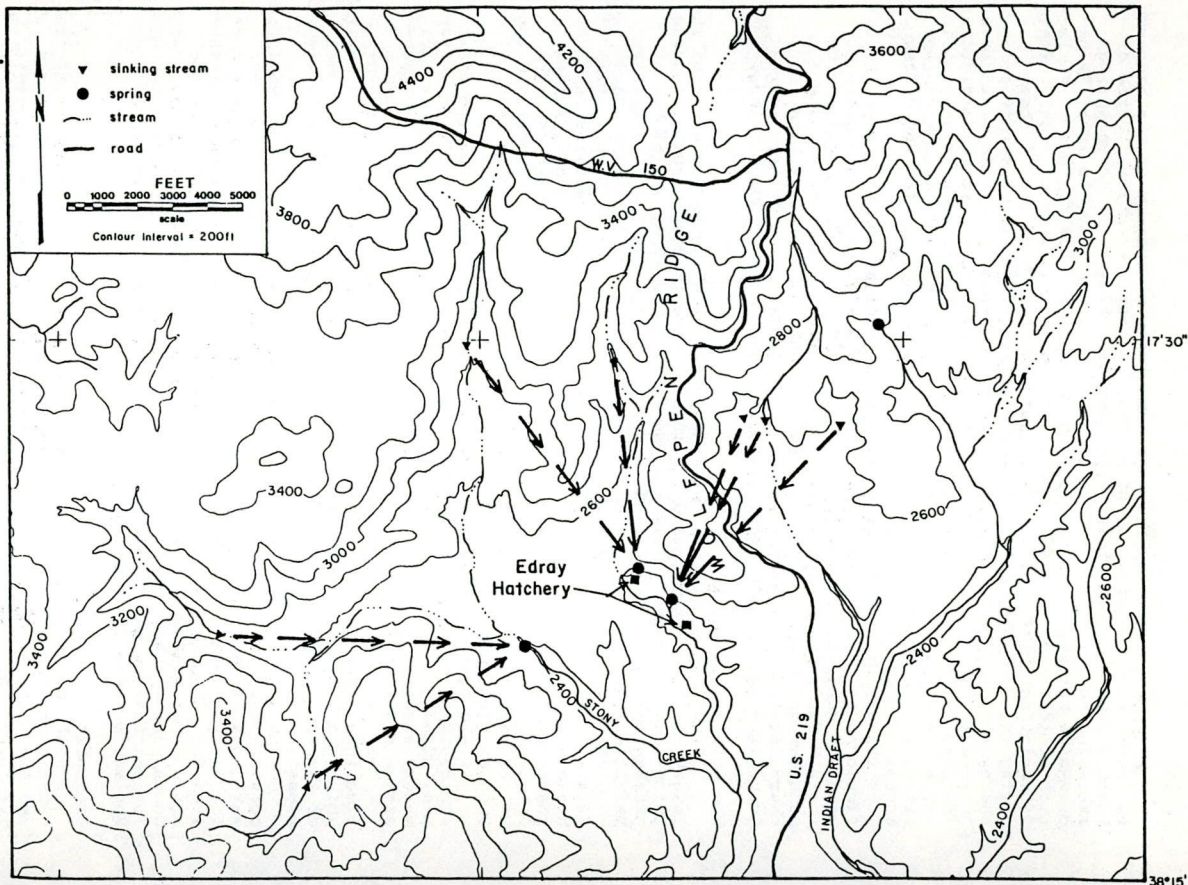


Figure 13. Schematic of flow paths (shown by dotted lines) of water passing through carbonates of the Greenbrier Group (from Medville and Werner, 1977); a - topographic slope exceeds stratigraphic dip, b - stratigraphic dip exceeds topographic slope.

Figure 14. Map of the area near the Edray Fish Hatchery. Elevations are in feet above mean sea level. Arrows illustrate dye-traced subterranean flow paths.



A point of interest regarding the group of springs at the hatchery is the distinct grouping by water quality characteristics. Three distinct groups have been identified (Werner, 1974a): 1) large springs averaging 60 ppm bicarbonate, coefficient of variation is 30%; 2) medium-size springs averaging 120 ppm bicarbonate, coefficient of variation of 18%; and 3) small springs of 195 ppm bicarbonate, coefficient of variation of 7%. Figure 15 illustrates the first two of these spring types. Other chemical characteristics are also distinct among the spring groups: saturation indices with respect to calcite increase noticeably from groups 1 to 3; chloride levels are also quite distinct (Werner, 1977). Because all springs issue from the same stratigraphic horizon and are all very near each other, it is hydrologic characteristics of the water flow systems that are responsible for the differences.

The principal hydrologic difference involves the nature of the flow conduits. The first group above has large, relatively uniform gradient conduits without pools. The second group has conduits with pools. These two groups are variations of the conduit springs of Schuster and White (1971). The third group, on the other hand, is characteristic of the diffuse spring of Schuster and White, and its "conduits" are largely small fractures and bedding plane partings.

The Friars Hole Karst

Recent exploration in the Friars Hole Cave system has extended its length to the point of being the longest cave in West Virginia and the third-longest in the United States, with nearly 40 miles (65 km) of passage surveyed. A detailed report on the geography of the cave by Medville (1981) may be found in the Proceedings of this Congress.

The cave system underlies an area approximately 1.5 by 4 miles (2.4-6.4 km) on the west side of Droop Mountain in Greenbrier and Pocahontas Counties (figure 16). The terrain consists of gently folded rocks typical of the eastern edge of the Appalachian Plateaus. The Greenbrier Group (only from the upper Union upwards) is exposed in the valley west of Droop Mountain, and the surrounding ridges consist of younger clastic rocks.

Hydrologically, the cave system consists of three separate drainage systems which were fortuitously integrated into a single cave system. Generally speaking, each of these drainage systems contains a master stream with numerous infeeders. Each stream ends at the downstream end in a sump.

The eight entrances to the cave are all near the top of the Union Limestone. Six of these entrances lead to successions of vadose shafts which end just below the lower contact of the Union Limestone. Most of the passage development occurs at or near the top of the Pickaway Limestone.

Although the majority of the cave is newly discovered and explored, portions have been known for more than a hundred years. Saltpeter earth was mined in the main passage of the Snedegars Cave portion during and after the Civil War. Dates inscribed in the saltpeter mining area and subsequently disturbed by further mining indicate that the mining continued into the early part of the 20th century. Local residents visited that section frequently, and when the National Speleological Society was founded, this cave was frequently visited on the Society's early official trips.

Greenbrier County Karst

South of the Pocahontas-Greenbrier county line, the nature of the terrain changes rapidly. The limestone valley widens significantly and the ratio of carbonate to non-carbonate rock exposed increases. The terrain becomes more similar in appearance to the typical karst terrain; unlike the terrain to the north where dolines are very small and infrequent, here we see the development of sinkhole plains. This difference has been largely effected by the gentler geologic structure as well as by the slightly lower average topographic elevation which is the result of a more downstream location along the Greenbrier River, the major stream of the area.

Interest in study of the Greenbrier County karst area has been prompted by its ease of access from elsewhere and by the fact that it is the most densely settled part of the Greenbrier karst. Many large and long caves are found here, and this has attracted cavers to the area.

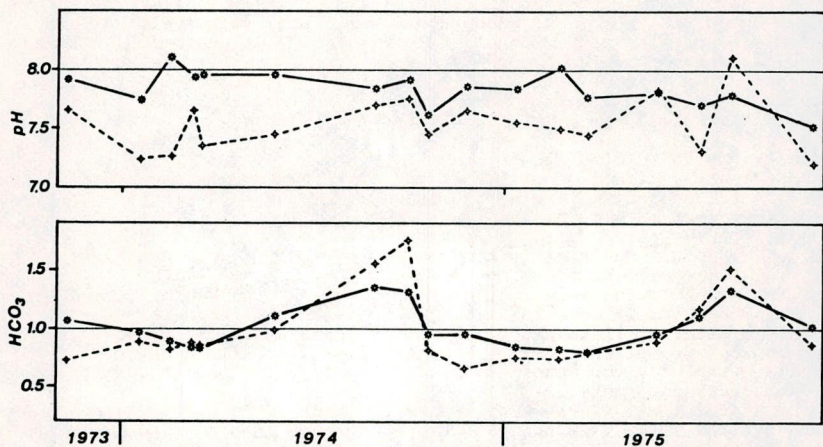


Figure 15. Water quality summary graphs for two groups of springs at the Edray Fish Hatchery. Dashed lines are for the larger, faster flowing springs; solid lines are for the smaller conduit springs. Bicarbonate values are shown in proportion to the mean value for each spring group; this is 60 ppm for the larger springs, and 120 ppm for the smaller springs.

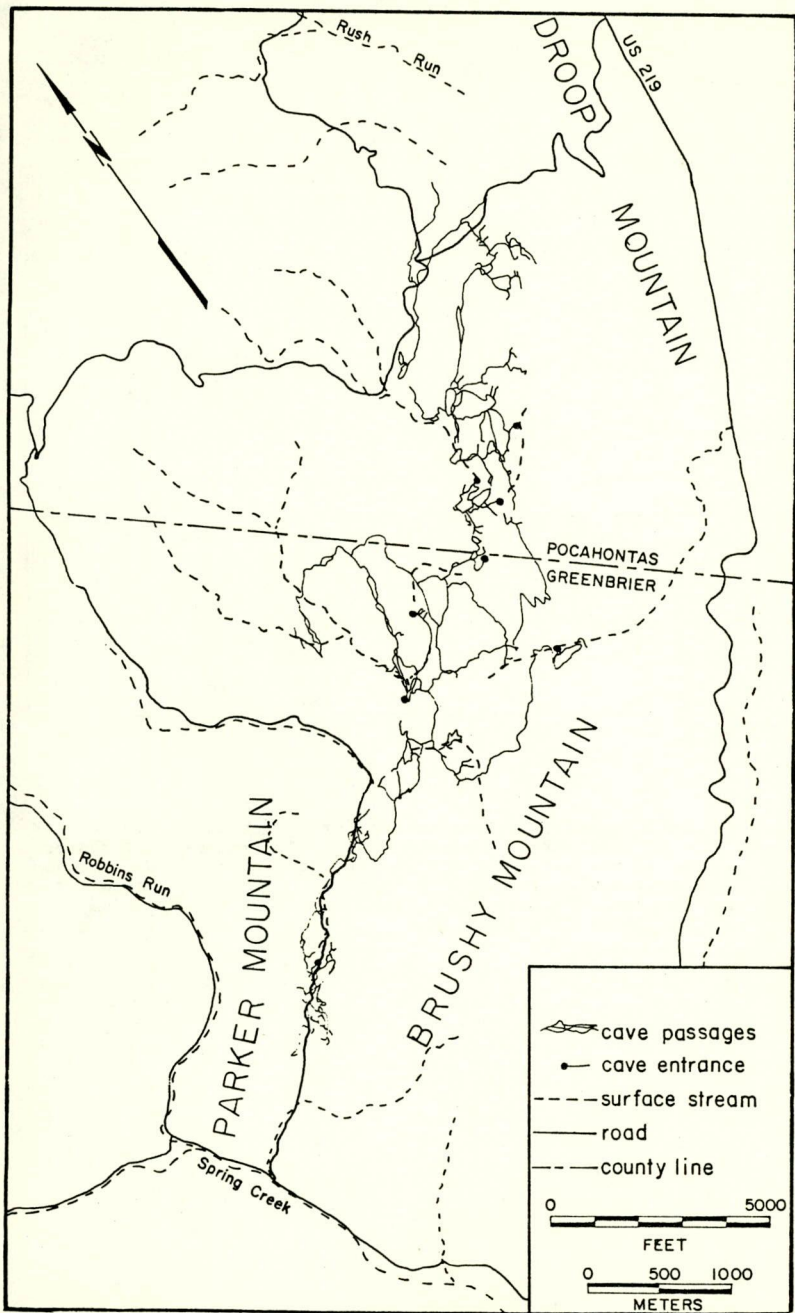


Figure 16. Summary map of the Friars Hole Cave system (from Medville, 1981).

A recent study of the geology of the area has been done by Heller (1980). She mapped the Greenbrier Group to the formation level, but was unable to differentiate between the Sinks Grove and Patton formations, combining them and designating this as the Denmar Formation of Wells (1950), and she included the Greenville Shale in the Alderson Limestone. The environment of deposition in this area of the basin apparently was more stable, thus making the differentiation of some of the formations more difficult than to the north or south.

The long caves are generally found near the margins of the limestone outcrop because this is where water reaches the limestone in concentrated streams. In particular, a series of caves is developed at the eastern margin where streams flowing northwestward on the underlying Maccrady rocks reach the base of the limestone and sink into the "contact caves", so named because they are largely developed along the contact between the Greenbrier Group and the Maccrady Group. After these streams sink, the water travels either northeast or southwest, along the strike of the rocks, to springs on Spring Creek or on the Greenbrier River (see figure 17 for locations). The hydrologic investigation of Jones (1973) showed that most of the area (73.9 mi^2 of 135.7 mi^2 [191 km^2 of 351 km^2]) drains to one spring on the Greenbrier River - Davis Spring, which is the largest spring in West Virginia. Several other basins were delineated, with drainage paths of one basin occasionally crossing over or under drainage paths of other basins without interconnecting (figure 18).

Jones (1973) was working largely with the integrated flow system which includes the surface streams and the subsurface conduits. Heller's (1980) study of the groundwater was largely concentrated on the aquifers within the limestones, which consist of bedding planes and small fractures (probably enlarged by solution), and that these occurred mostly above the less soluble zones. The water quality data and some other hydrologic data indicate that these aquifers are only slightly connected with the conduit systems, about to the extent surface streams are connected to aquifers in the typical clastic terrain.

Karst development in the Greenbrier County karst has been extensive. Nearly all of the surface of the limestone exposure shows this. Dolines cover the topographically higher areas which are typical sinkhole plains, although small in area, and there are several karst valleys, actually uvalas; some of these are quite large. Caves are common; estimates of the number discovered and explored range to 500-1000. Well over 100 mi (160 km) of cave passage has been surveyed in this area.

The Monroe County karst

Monroe County is south of Greenbrier County. The karst development here is very similar to that of Greenbrier County, but there are some important differences. These differences appear to be due to a basic difference in the geological structure. Monroe County is a structural basin of very small relief, but sufficient to cause the hydraulic gradient within the limestone sequence to be low. This has slowed karst development to some extent.

The surface exhibits doline development; however, there are few karst valleys, such as are common in Greenbrier County, and no large ones. The surface development is mature, but not as intense as Greenbrier County. The most complete surface development is on the Union Limestone. It is at the top of the Union that many vadose shafts open to the surface. Cavern development is most prevalent in the Union Limestone, and the larger caves are in this formation. Unlike Greenbrier County, which has very large caves at the bottom of the Greenbrier Group, no large caves are found in the Hillsdale Limestone in Monroe County (Hempel, 1975).

The Greenbrier Group was originally described from various locations in Monroe County (Reger, 1926). Subsequently, Ogden (1976) mapped the outcrop area to the formational level. He was able to identify eight formations corresponding to those in figure 10, but included the Greenville Shale with the Alderson Limestone on his map because the Greenville occurred only as lenses and is not continuous.

Several linear arrangements of sinkholes in Monroe County have been identified as fracture lineaments. One in particular, the Monitor Lineament (Werner, 1974b, figure 3), is the most prominent photo-lineament to be seen anywhere in the region. This lineament is composed of a linear arrangement of sinkholes (the deepest in the county)

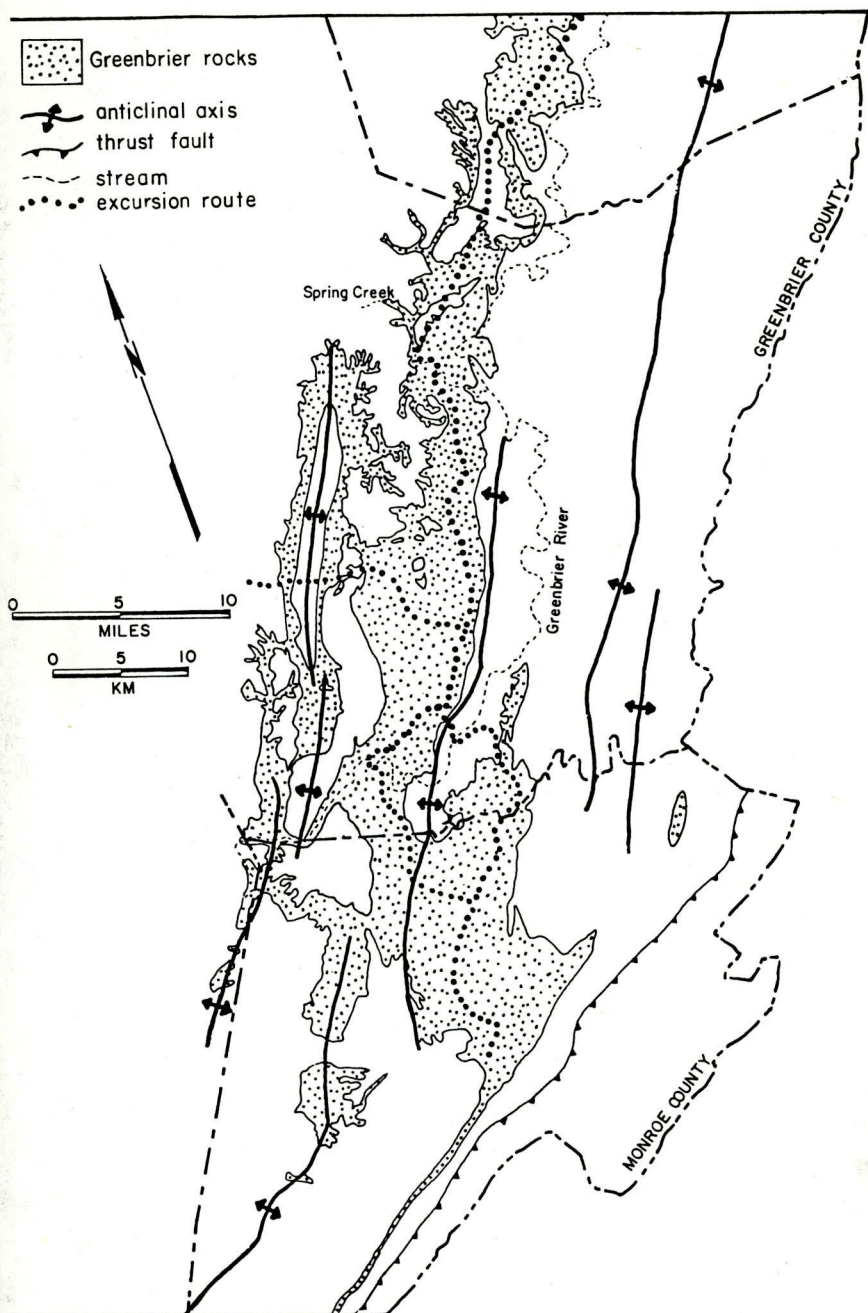


Figure 17. Geologic map of the southern portion of the Greenbrier karst (after Cardwell and others, 1968). Maccrady rocks outcrop east of the Greenbrier rocks, Mauch Chunk rocks to the west.

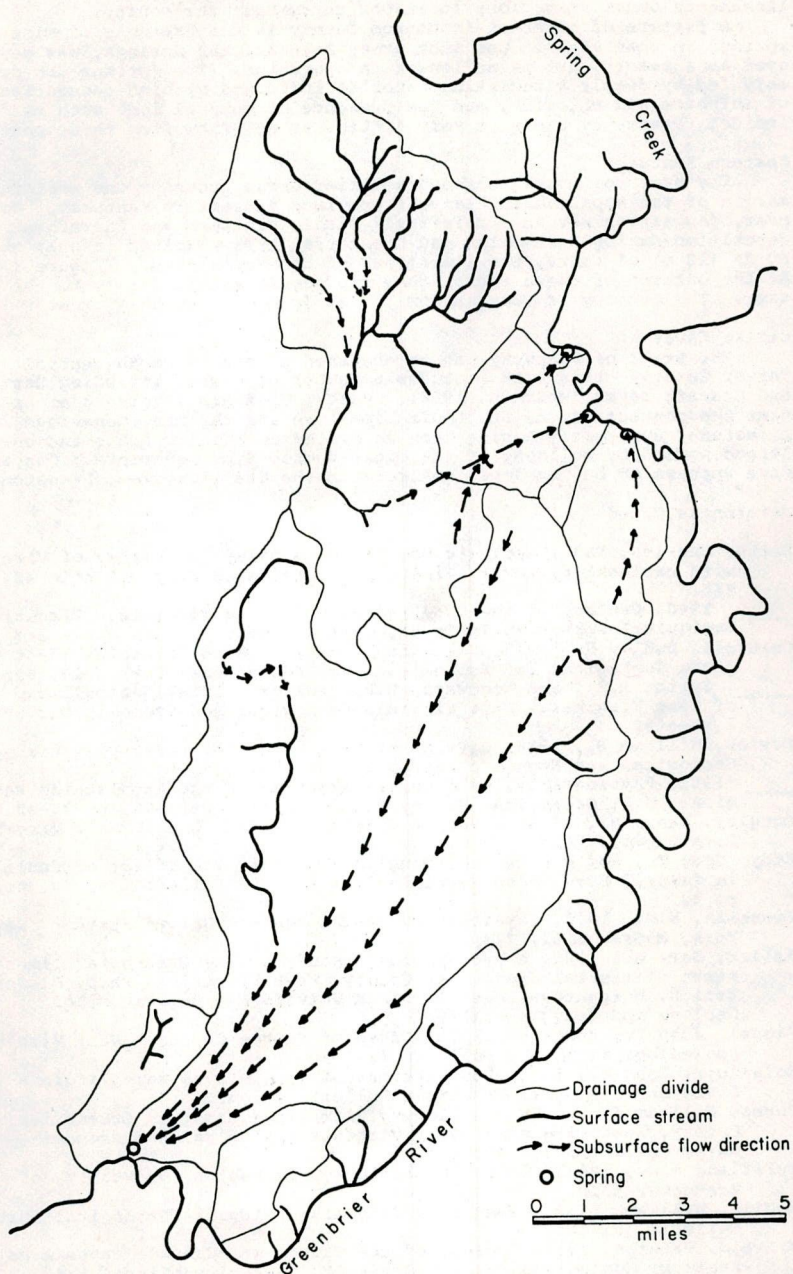


Figure 18. Drainage in the Greenbrier County karst (from Jones, 1973).

about 5 mi (8 km) long, and it is continuous into the clastic terrain as aligned stream segments and windgaps. Other, less prominent, photo-lineaments occur at various locations throughout the county.

A feature of interest in Monroe County is the presence of mineral springs in some areas. One such area, Salt Sulphur Springs, was developed as a resort, but is no longer in operation. The springs are probably fed by deeply circulating water as indicated by high concentration of sulphate and chloride, and the presence of unusual ions such as iodide. Presently there is very little, or no, flow from these springs.

Eastern Kentucky

The same age rocks as the Greenbrier Group occur on the western margin of the Appalachian Plateaus province in eastern Kentucky. However, deposition was on a relatively stable platform and therefore deposition during Meramecian and Chesterian time resulted in only about 60 ft (18 m) of rocks, the limestones of the Newman Group (figure 19). At the outcrop of these rocks, they dip gently and uniformly to the east. The outcrop is very narrow (<2 mi [<3 km]) in this area.

Carter Caves

The state of Kentucky has established a park in north-central Carter County; this park includes a number of caves, including Carter and Cascade caves (McGrain, 1954). Carter Cave has developed at or near the contact of the St. Louis Limestone and the Ste. Genevieve Limestone, apparently having been initiated in the St. Louis and enlarged upward by collapse of the cross-bedded Ste. Genevieve. Cascade Cave appears to be developed entirely in the Ste. Genevieve Limestone.

References Cited

- Butts, Charles, 1933, Geologic map of the Appalachian Valley of Virginia with explanatory text: Virginia Geological Survey Bulletin 42, 56p.
- , 1940, Geology of the Appalachian Valley in Virginia: Virginia Geological Survey Bulletin 52, part 1, 568p.
- Cardwell, Dudley H., 1975, Geologic history of West Virginia: West Virginia Geological and Economic Survey Educational Series 10, 69p.
- , Erwin, R.B., and Woodward, H.P., editors, 1968, Geologic map of West Virginia: West Virginia Geological and Economic Survey, 2 sheets.
- Davies, William E., 1958, Caverns of West Virginia: West Virginia Geological and Economic Survey Volume 19A, 330p.
- , 1968, Physiography, in Mineral resources of the Appalachian Region: U.S. Geological Survey Professional Paper 580, p. 37-48.
- Douglas, Henry H., 1964, Caves of Virginia: Falls Church Va., Virginia Cave Survey, 761p.
- Eddy, Greg E., and Williamson, Douglas B., 1968, The Effect of faulting in Cassell Cave, West Virginia [abs.]: NSS Bulletin, v. 30, no. 2, p. 38.
- Fenneman, N.M., 1938, Physiography of the eastern United States: New York, McGraw Hill, 714p.
- Heller, Sara A., 1980, A hydrogeologic study of the Greenbrier limestone karst of central Greenbrier County, West Virginia: Ph.D. dissertation, Morgantown, West Virginia University, Department of Geology and Geophysics, 166p.
- Hempel, John C., compiler, 1975, Caves of Monroe County: West Virginia Speleological Survey Bulletin 4, 149p.
- Holsinger, John R., 1975, Descriptions of Virginia caves: Virginia Division of Mineral Resources Bulletin 85, 450p.
- Jones, William K., 1973, Hydrology of limestone karst in Greenbrier County, West Virginia: West Virginia Geological and Economic Survey Bulletin 36, 49p.
- McFarlan, A.C., 1943, Geology of Kentucky, Lexington, University of Kentucky, 531p.
- McGill, William, 1933, Caverns of Virginia: Virginia Geological Survey Bulletin 35, 187p.
- McGrain, Preston, 1954, Geology of the Carter and Cascade caves area: Kentucky Geological Survey, Series X, Special Publication 12, 32p.
- Medville, Douglas M., 1977, Karst hydrology in the upper Elk River basin, West Virginia: NSS Bulletin, v. 39, no. 1, p. 18-26.

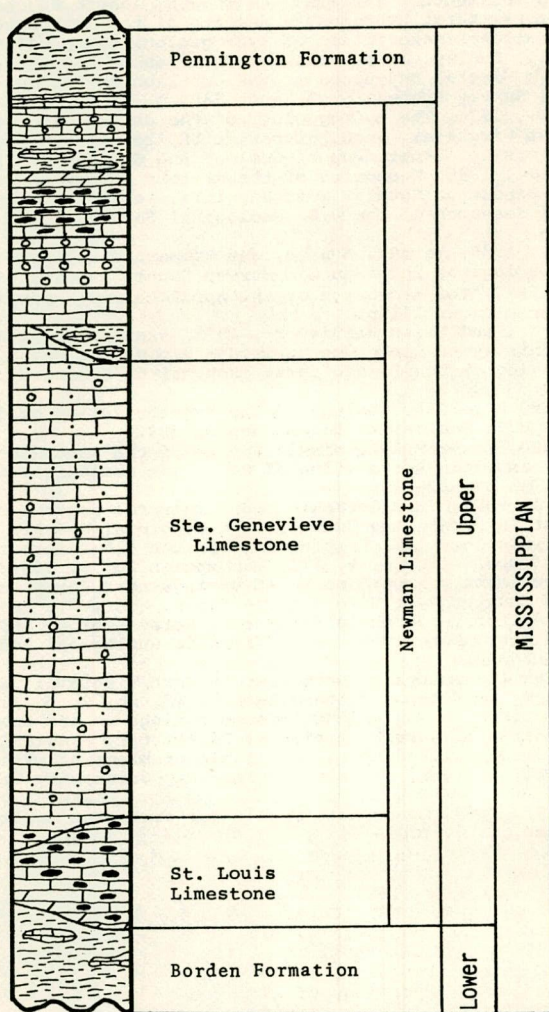


Figure 19. Stratigraphic column of the Newman Limestone of eastern Kentucky (after Sheppard, 1964).

- ____ 1981, Geography of the Friars Hole Cave system, U.S.A.: Proceedings of the 8th International Congress of Speleology, in press.
- ____ and Medville, Hazel, 1971, Topographic and structural control of cave-passage orientation in gently-folded limestones - Appalachian Plateaus province, West Virginia [abs.] : NSS Bulletin, v. 33, no. 4, p. 142.
- ____ and Werner, Eberhard, 1977, Karst hydrology and water chemistry in a mixed sedimentary terrain: *in* Tolson, Janyth S., and Doyle, F.L., editors, Karst hydrology - Memoirs of the 12th Congress of the International Association of Hydrogeologists, p. 443-457.
- Miller, Ralph L., Hadley, Jarvis B., and Cox, Dennis P., 1968, General geology, *in* Mineral resources of the Appalachian Region: U.S. Geological Survey Professional Paper 580, p. 55-80.
- Ogden, Albert E., 1976, The hydrogeology of the central Monroe County karst, West Virginia: Ph.D. dissertation, Morgantown, West Virginia University, Department of Geology and Geography, 251p.
- Perry, William J., 1975, Tectonics of the western Valley and Ridge foldbelt, Pendleton County, West Virginia - a summary report: Journal of Research of the U.S. Geological Survey, v. 3, no. 5, p. 583-588.
- Reger, David B., 1926, Mercer, Monroe, and Summers counties: West Virginia Geological and Economic Survey County Report, 963p.
- Rodgers, John, 1970, The tectonics of the Appalachians: New York, Wiley-Interscience, 271 p.
- Schuster, Evan T., and White William B., 1971, Seasonal fluctuations in the chemistry of limestone springs - a possible means for characterizing carbonate aquifers: Journal of Hydrology, v. 14, p. 93-128.
- Sheppard, Richard A., 1964, Geology of the Tygarts Valley quadrangle, Kentucky: U.S. Geological Survey Map GQ-289.
- Wells, Dana, 1950, Lower Middle Mississippian of the southeastern West Virginia: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 34, no. 5, p. 882-922.
- Werner, Eberhard, 1973, Stratigraphic and structural control of cavern development in Pocahontas County, West Virginia, U.S.A.: International Speleology 1973 [Proceedings of the 6th International Congress of Speleology], v. III, subsection Bb, p. 309-316.
- ____ 1974a, Preliminary report on karst springs near Edray, northern Pocahontas County, West Virginia, *in* Rauch, Henry W., and Werner, Eberhard, editors, Fourth Conference on Karst Geology and Hydrology Proceedings: Morgantown, West Virginia Geological and Economic Survey, p. 25-28.
- ____ 1974b, Long lineaments in southeastern West Virginia: West Virginia Academy of Science Proceedings, v. 47, no. 2, p. 113-118.
- ____ 1977, Chloride ion variations in some springs of the Greenbrier limestone karst of West Virginia, *in* Dilamarter, Ronald R., and Csallamy, Sandor C., editors, Hydrologic problems of karst regions: Bowling Green, Ky, Western Kentucky University Press, p. 357-363.
- White, William B., 1969, Conceptual models for carbonate aquifers: Ground Water, v. 7, p. 15-21.

FÜHRER ZUM KARST DER CENTRAL APPALACHIANS

Eberhard Werner
Department of Geology
Waynesburg College
Waynesburg, Pennsylvania, 15370, U.S.A.

Abbildung 1.....	2
Abbildung 2.....	3
Abbildung 3.....	5
Abbildung 4.....	6
Abbildung 5.....	9
Abbildung 6.....	10
Abbildung 7.....	11
Abbildung 8.....	12
Abbildung 9.....	14
Abbildung 10.....	16
Abbildung 11.....	18
Abbildung 12.....	20
Abbildung 13.....	20
Abbildung 14.....	21
Abbildung 15.....	23
Abbildung 16.....	24
Abbildung 17.....	26
Abbildung 18.....	27

Die Central Appalachians - Allgemeine Bemerkungen

Die Central Appalachians dehnen sich von innerhalb des Staates Pennsylvania südwestwärts bis zum südlichen Teil von Virginia und zum östlichen Teil von Kentucky aus (Abbildung 1). Innerhalb dieses Gebiets befinden sich mehrere Streifen von verkarsteten Gesteinen, die im wesentlichen parallel zueinander und zur allgemeinen geologischen und topographischen Streichrichtung des Gebiets laufen. Auf dieser Exkursion werden Musterbeispiele jedes dieser Terrains besichtigt werden; die Verkarstung der mississippischen (unterkarbonischen) Gesteine im östlichen Teil von West Virginia wird besonders berücksichtigt werden.

Der erste Teil dieses Führers besteht aus einer Zusammenfassung der Physiographie und der Geologie der Landschaft auf der Route, die auf der Exkursion eingenommen wird, und der benachbarten Gebiete. Es sollte erwähnt werden, daß die zu besprechenden Gebiete, besonders die verschiedenen physiographischen Provinzen, sich weit über die Grenzen der hierin beschriebenen Teile erstrecken; die unmittelbar folgenden Beschreibungen sind nur halbwegs spezifisch.

Der zweite Teil des Führers enthält detaillierte Beschreibungen der Geologie und der Hydrologie von spezifischen Stätten oder Gebieten, die besichtigt werden sollen.

Die Physiographie

Der größte Teil dieser Exkursion wird innerhalb der geographischen Unterteilung stattfinden, die Fenneman (1938) als das Appalachian Highlands (Hochland) bezeichnete, und die aus vier physiographischen Provinzen besteht (Abbildung 2). Die folgenden Beschreibungen beziehen sich ungefähr auf das Gebiet, durch das diese Exkursion führt. Eine umfassendere Beschreibung aller physiographischen Provinzen ist bei Davies (1968) oder Fenneman (1938) zu finden.

Die östlichste Provinz, der Piedmont (die Vorberge), ist ein Hochland mit wellenförmigen Hügeln und sanften Hängen und einem Relief, das weniger als 50 m beträgt. Die größeren Täler können aber ziemlich steile Hänge mit tiefen Einschnitten haben, die bedeutend größer sind als das durchschnittliche Relief. Die Gesteine des Piedmonts sind vorwiegend eruptivgesteine und metamorphe Gesteine, die gewöhnlich tief verwittert sind. Deshalb hat nur wenig Verkarstung oder gar keine stattgefunden, obwohl einige kleine Höhlen und manche Dolinen im Piedmont von Virginia bekannt sind (Douglas, 1964).

Die Blue Ridge (Gebirgskamm) Provinz enthält die östlichste Gebirgskette der Appalachian Highlands. Die Berge der Blue Ridge Provinz erheben sich abrupt vom östlich gelegenen Piedmont und hören ebenso abrupt im westlich gelegenen Great Valley (großem Tal) auf. Der Teil der Blue Ridge Provinz, der in Virginia liegt, besteht aus einem hohen, breiten Gebirgskamm mit niedrigen Bergspitzen, der von einem breiten Band von Ausläufern und Vorbergen flankiert ist. Die Höhe der Kammlinie schwankt zwischen 900 und etwas mehr als 1 200 m; die Ausläufer und die Vorberge liegen 300-600 m tiefer. Die Hänge an den Flanken des Gebirgskamms und an den Ausläufern haben ein Gefälle von 30°-45°, und Felswände, die eine Höhe von bis zu 120 m erreichen, kommen häufig vor. Die Gesteine in der Blue Ridge Provinz sind überwiegend metamorphisch. Innerhalb der Provinz findet keine Verkarstung statt.

Das bedeutendste Verkarstungsgebiet im Staat Virginia befindet sich in der Valley and Ridge (Tal- und Gebirgskamm-) Provinz. Am östlichen Teil der Provinz entlang liegt das Great Valley, das in Virginia als Shenandoah Valley bekannt ist - in anderen Staaten aber einen anderen Namen hat. Es ist ein wellenförmiges Tiefland, das sich auf einem stark gefalteten Kalkstein, Dolomit und Schiefer aus dem Unteren Paläozoikum geformt hat. Es ist ungefähr 32 km breit und liegt etwa 150-250 m über dem Meeresniveau. Die Hänge fallen sanft ab, und das Relief beträgt etwa 15-30 m. Die Verkarstung dehnt sich weit aus. Dolinen, von denen manche einen Durchmesser von bis zu 100 m haben und 3-10 m tief sind, kommen in der Landschaft häufig vor. Die unterirdische Karrenentwicklung hat sich weit ausgedehnt, und in vielen Gebieten sind die höchsten Rippen auf der Erdoberfläche zu sehen. In der Regel findet die Entwässerung unterirdisch statt, und nur die größeren Stammströme führen das ganze Jahr hindurch Wasser.

Westlich des Great Valley liegt ein gebirgiges Gebiet, wo lange, schmale Gebirgskämme mit gleichmäßigen Kammlinien und schmale Täler abwechselnd vorkommen. In den meisten Fällen werden die größeren Gebirgskämme durch Quarzitsandstein an mehreren Horizonten innerhalb der paläozoischen Sedimentfolge geformt. Die Täler und die unteren

Flanken der größeren Gebirgskämme werden von Schiefer und Kalkstein unterlagert. Die größeren Gebirgskämme liegen 400-1 400 m über dem Meeresniveau und haben ein Relief von bis zu 750 m. Die untergeordneten Gebirgskämme liegen 300-450 m tiefer und haben ein entsprechend niedrigeres Relief. Die typischen Flanken auf einer oder der anderen Seite der größeren Gebirgskämme sind einfallende Hänge mit einer Inklination von 15° bis 45°. Felswände, die 10-45 m hoch sind, haben sich gewöhnlich auf der anderen Flanke entwickelt. Wo harte Sandsteinschichten vertikal sind, erheben sich Gesteinnadeln und -rippen 15-20 m über den Gebirgskämmen.

Die Verkarstung an den Gebirgskämmen entlang fällt nicht immer sofort auf, aber es gibt viele Höhlen. Trotz des verhältnismäßig kleinen Teils des Kalksteins, der entblößt ist, wird ein großer Teil des Oberflächenwassers abgelenkt und fließt zum Teil unterirdisch.

Die westlichste der Appalachian Highlands physiographischen Provinzen ist die Appalachian Plateaus Provinz. Das ist ein hohes Hochland, das durch viele Ströme zerschnitten wird. Die kontrastierenden Landformen an der Grenze zwischen dieser Provinz und der Valley and Ridge Provinz - von stark gefalteten Gesteinen in der Valley and Ridge zu den Gesteinen in den Appalachian Plateaus, die im wesentlichen flach liegen - sind die Folgen einer abrupten Änderung in der Gesteinstruktur. Eine größere Änderung in den Stromordnungen findet statt; die linearen Täler und die Netzordnung von Strömen in der Valley and Ridge Provinz weichen vor den dendritisch geordneten, eingeschnittenen Stromläufen zurück.

Ein Steilhang, der sich abrupt 300-900 m erhebt, bildet die östliche Grenze der Appalachian Plateaus Provinz. Die maximalen Höhen dieser Front sind meistens ungefähr 100 m höher als diejenigen der Gebirgskämme in der Valley and Ridge Provinz, die unmittelbar östlich liegt. Dieser östliche Gebirgskamm, die Allegheny Front, ist der höchste Teil der Appalachian Plateaus. Spruce Knob (der Fichtenklumpen), der sich auf diesem Kamm befindet, ist der höchste Punkt in West Virginia und liegt 1 482 m über dem Meeresniveau. Die Höhe sowohl als auch das Relief nehmen westwärts ab; die Höhe beträgt dort ungefähr 750 m und das Relief 150-450 m. In der Regel besteht dieses Gebiet aus kleinen Hügeln mit steilen Hängen, die eine Inklination von bis zu 45° haben.

Der größte Teil der Appalachian Plateaus ist von verschiedenartigen Sedimentgesteinen unterlagert. Das Hauptgebilde ist ein sanftes Becken. Die Verkarstung findet nur im östlichsten und westlichsten Teil der Provinz statt, wo ziemlich dicke Kalksteine aus dem Mississippien zutage treten.

Obwohl keine Aufenthalte außerhalb der Appalachian Highlands geographischen Unterteilung stattfinden werden, führt die Exkursion durch einen Teil der Interior Low Plateaus (innere niedrige Plateaus) Provinz, die zur Interior Plains geographischen Unterteilung gehört. Die eigentliche Grenze zwischen den zwei Unterteilungen ist ein niedriger, westwärts gerichteter Steilhang, der aus pennsylvanischen Gesteinen besteht. Das Terrain besteht aus einem Terrain mit einem niedrigen Relief (etwa 60 m), das von verschiedenartigen flachliegenden Sedimentgesteinen unterlagert ist. Die typischen Höhen liegen auf einem Höhenbreitengrad von 335-400 m, ausgenommen das Gelände, das sich in der Nähe von größeren durchgehenden Flüssen befindet. Mit der Ausnahme des Geländes, das in der Nähe der Grenze liegt, besteht die Provinz aus breiten Tälern mit vereinzelt konischen Hügeln. Die Verkarstung kommt in verschiedenen Variationen vor - von Hügelhanghöhlen, die sich unter dem Steilhang an der Provinzgrenze ausdehnen, bis zu den Dolinenebenen (mit oder ohne Höhlen), die in vielen breiten Tälern vorkommen, die in der Nähe der Provinzmitte liegen.

Die Geologie

Die Appalachian Mountains bilden eine klassische geologische Region, und es war hier, daß manche von den ersten geologischen Erforschungen in der westlichen Hemisphäre unternommen wurden. Es sind Tausende von Veröffentlichungen erschienen, die sich mit der Geologie der Central Appalachians befaßten. Miller, Hadley und Cox (1968) lenkten unsere Aufmerksamkeit auf manche dieser Veröffentlichungen. Allgemeine Veröffentlichungen, die sich mit der Geologie der Gebiete beschäftigen, durch welche diese Exkursion führt, sind die von Butts (1940), Cardwell (1975), Cardwell u. a. (1968) und McFarlan (1943). Veröffentlichungen über die Höhlen und den Karst derselben Gebiete sind von Douglas (1964), Davies (1958), McGill (1963) und Holsinger (1978) verfaßt worden. Es wird auf spezifische

Veröffentlichungen über besondere Aspekte oder besondere Gebiete an passenden Textstellen in den detaillierten Besprechungen im zweiten Teil dieses Führers hingewiesen werden.

Die allgemeine Felsuntergrund-Geologie des Gebiets, das auf dieser Exkursion besichtigt wird, ist in Abbildung 3 aufgezeigt. Ein Vergleich mit Abbildung 3 zeigt, daß gewisse geologische Charakteristika für spezifische physiographische Provinzen kennzeichnend sind; die Mehrzahl der Charakteristika ist in der Besprechung der physiographischen Provinzen erwähnt worden. Die geologischen Provinzen innerhalb der Central Appalachians stimmen in hohem Maße mit den physiographischen Provinzen überein und können zwecks dieses Führers für identisch gehalten werden. Mehrere allgemeine Äußerungen können über die Geologie des Gebiets gemacht werden. Wenn wir an der Blue Ridge Provinz beginnen und unseren Blick westwärts richten, sehen wir, daß die Deformation der Blue Ridge Gesteine am weitesten fortgeschritten ist, und daß sie immer abgeschwächer auftritt, je weiter westwärts wir gehen, bis wir die Mitte des Appalachian Structural Basin (tektonischen Beckens) erreichen (siehe Abbildung 4). Die Gesteine der Blue Ridge sind meistens metamorphe Gesteine verschiedener Grade. Weiter liegen Sedimentgesteine; die sind aber in dem Great Valley stark gekrümmt und in den Gebirgskämmen, die westlich des Great Valley liegen, stark gefaltet, aber in den Appalachian Plateaus nur leicht gefaltet oder flachliegend. In ähnlicher Weise nimmt das Verwerfen westwärts zur Mitte des Appalachian Basin ab. Die größeren Verwerfungen befinden sich entlang Aufschiebungen mit einer beträchtlichen Verschiebung, die größere Platten westwärts bewegt haben. Mit Ausnahme der östlichen Kante erreichen diese Verwerfungen innerhalb der Central Appalachians gewöhnlich nicht die Erdoberfläche; kleinere Verwerfungen, die mit den größeren Aufschiebungen oder mit der Bewegung der Aufschiebungsplatten verbunden sind, kommen aber vor. Benutzt man einen Maßstab, wie den für die Karte in Abbildung 4, dann sind sehr wenige dieser sekundären Verwerfungen groß genug, um aufgezeichnet zu sein. Demzufolge sind nur die größeren Aufschiebungen aufgezeichnet, die in der Blue Ridge Provinz und im Great Valley zutage treten. Im Felde wird es aber jedem auffallen, daß sehr viele sekundäre Verwerfungen die ganze Valley and Ridge Provinz hindurch, wie auch in der Appalachian Plateaus Provinz, vorkommen. Obwohl die Verschiebung an den meisten dieser Verwerfungen entlang weniger als 3 m und oft nur 5 cm beträgt, sind diese Verwerfungen so zahlreich, daß sie eine beträchtliche verdickende oder verdünnende Wirkung auf die Schichten in der Sedimentfolge ausüben können; manchmal kann diese Wirkung eine 50 %ige Verdickung oder Verdünnung verursachen (Eddy und Williamson, 1968).

Westlich des zentralen Teils des Appalachian Basin sieht die Lage etwas anders aus. Im in Kentucky gelegenen Teil der Appalachian Plateaus und westlich davon kommen ziemlich ausgedehnte vertikale Verwerfungen vor, die zu den Kentucky River und Lexington Verwerfungszonen gehören. Diese sind mit einer beträchtlichen Verschiebung und einer starken Bruchbildung verbunden.

Zum großen Teil sind die Unterschiede in der Stärke der strukturellen Deformation durch die Nähe zum rezentesten größeren Zentrum der geologischen Tätigkeit verursacht worden. Die meisten der Kräfte wurden durch die Plattenkollision erzeugt, die gegen das Ende des Paläozoikums dort stattfand, wo die Piedmont Provinz sich gegenwärtig befindet.

Die abnehmende Deformation im Westen hat eine zweite Ursache. Die Oberflächengesteine der verschiedenen Regionen sind unterschiedlichen Alters. Deshalb ist es zu erwarten, daß die jüngeren Gesteine weniger deformiert sind, da sie eine kürzere Zeit existiert und weniger tektonische Vorgänge überstanden haben. Diese Ursache gilt für die Central Appalachians; die Gesteine werden allmählich jünger, wenn wir westwärts durch die physiographischen Provinzen zur Mitte des Appalachian Basin weiterfahren. Dem hinzuzufügen wäre, daß die Gesteine, die westlich der Appalachians liegen - diejenigen des Continental Interior (kontinentalen Inneren) - auch deformierter sind, je älter sie sind. Diese Beziehung wird deutlicher, wenn man Abbildung 4 mit Abbildung 3 vergleicht.

Die Verkarstung in den Central Appalachians

Es ist schwer, eine definitive allgemeine Äußerung über die Verkarstung in den verschiedenen physiographischen und geologischen Provinzen zu machen. Spezifische Entwicklungen sind ein Produkt der Geologie und der Physiographie - d. h., die Karstlandschaft wird durch

die hydrologischen Verhältnisse kontrolliert, die ihrerseits durch die Lithologie, den geologischen Bau und das topographische Relief kontrolliert werden. Zum Beispiel entwickeln sich verschiedene Typen von geschlossenen Depressionen überall dort, wo lösliche Gesteine das Terrain unterlagern, aber der spezifische Depressionstyp, der sich entwickelt, wird von einer Lage zur anderen unterschiedlich sein. Auf Karbonatterrains, wo der hydraulische Gradient hoch genug ist und ein ausreichendes Volumen der konzentrierten Wasserführung vorhanden ist, werden die unlöslichen Materialien aus den unterirdischen Röhren ausgespült, und es entstehen Höhlen.

Diese Exkursion soll eine Übersicht über die verschiedenen Typen von Karstlandschaften verschaffen, die in den verschiedenen geologischen Provinzen zwischen Washington, D. C. und Bowling Green, Kentucky vorkommen. Die Verkarstung des Gebiets, das sich über die Grenze zwischen den Valley and Ridge und Appalachian Plateaus Provinzen ausstreckt, wird ausführlich untersucht werden. Der Rest dieses Führers wird sich spezifischeren Beschreibungen der Gebiete widmen, die durchfahren werden sollen. Wegen der Veränderlichkeit der Lage in bezug auf den Zugang und die Zustände von Strömen und manchen Straßen werden hier keine spezifischen Ortschaften angeführt werden. Es wird erst kurz vor der Exkursion möglich sein, diese genaue Auskunft zu erteilen und den begleitenden Straßenlog zusammenzustellen. Diese Information wird den Teilnehmern zu Beginn der Exkursion gegeben.

Obwohl die frühen wissenschaftlichen Erforschungen des U. S. Karsts sich auf Kentucky und Indiana konzentrierten, haben die Gebiete in Virginia und West Virginia eine wichtige Rolle gespielt in der Entwicklung der Höhlenerforschung als Freizeitbeschäftigung und in der wissenschaftlichen Höhlenerforschung durch Amateure. Das war auch das Gebiet, wo die National Speleological Society gegründet wurde und sich entwickelte. Mehrere Aufenthalte werden an Stätten stattfinden, die in den frühen 1940iger Jahren von der neu gegründeten National Speleological Society besucht wurden.

Das Great Valley

Das in Virginia gelegene Great Valley ist hauptsächlich von Kalksteinen aus dem Oberkambrium und dem Unterordovizium unterlagert. Verschiedene Arten von Karstlandschaften sind im ganzen Gebiet weitverbreitet. Große Karrenformen sind auf vielen Feldern und Weiden zu sehen, und viele sinkende Ströme und Karstquellen kommen vor. Es besteht kein Zweifel, daß ein beträchtlicher Grad der unterirdischen Auflösung stattfindet; wegen einer großen Menge des Residuums und des Alluviums vom östlich gelegenen Blue Ridge und den westlich gelegenen klastischen Gesteinen und wegen des verhältnismäßig niedrigen hydraulischen Reliefs, das mit dem Terrain verbunden ist, ist die Höhlenentwicklung nicht so weitverbreitet, wie zu erwarten wäre. Es gibt Gebiete, besonders an den östlichen und westlichen Rändern des Great Valley, wo der hydraulische Gradient genügend hoch ist, um die klastischen Materialien aus den Auflösungsgrinnen ausgespült zu haben. Viele der Höhlen auf der östlichen Seite, auf der Flanke vom Blue Ridge, sind von Privatunternehmern als Schauhöhlen ausgebaut worden; Luray Caverns ist eine von diesen. Von diesen Höhlen sind keine besonders groß, aber beinahe alle sind mit Tropfsteinen reich geschmückt.

Luray Caverns - eine repräsentative Great Valley-Höhle

Das Folgende ist eine Zusammenfassung der Beschreibung von McGill (1933). Luray Caverns liegt in Page County, Virginia, auf dem östlichen Hang von Cave Hill, auf der halben Strecke zwischen dem östlich gelegenen Blue Ridge und dem westlich gelegenen Massanutten Mountain (Berg) (Abbildung 5). Seit 1878 ist die Höhle der Öffentlichkeit zugänglich gewesen, und sie ist oft als die schönste Höhle in Virginia bezeichnet worden.

Luray Caverns liegt im Nittany Dolomite der unterordovizischen Beekmantown Group (Gruppe). Die Höhle hat sich als ziemlich kompliziertes Netz von Räumen entwickelt, das eine Ordnung aufweist, aber nicht den starren Parallelismus, der mit der Kluftkontrolle von Gängen verbunden ist (Abbildung 6). Wie bei den meisten der Great Valley-Höhlen, wird die Entwicklung von Luray Caverns durch eine komplizierte Kombination von Faktoren kontrolliert; der unterirdische hydraulische Gradient, die Stratigraphie, der geologische Bau und die Paläomorphologie wirken alle mit, aber kein Faktor spielt eine vorherrschende Rolle. Zur Zeit findet kaum eine oder keine Vergrößerung durch die Auflösung statt; in Luray Caverns, wie in den meisten der Höhlen, die

an der Blue Ridge-Seite von Great Valley entlang liegen, besteht der größte Teil der Tätigkeit im Absetzen der verschiedenen Formen von Tropf- und Fließsteinen.

The Ridges (die Kämme)

Westlich des Great Valley liegt eine Serie von langen, parallelen Kämmen. In Pendleton County, West Virginia, wo diese Exkursion durch diesen Teil der Valley and Ridge Provinz fahren wird, sind die Kämme hauptsächlich von silurischen und devonischen Gesteinen unterlagert; eine Ausnahme bildet das kleine Gebiet des Germany Valley, das unten getrennt besprochen wird, wo Gesteine aufgedeckt sind, die bis aus dem Mittelordovizium stammen (Abbildung 7). Die meisten der silurischen und devonischen Gesteine sind klastische Sedimente; es kommen aber zwei Kalksteinsfolgen innerhalb der Kämme vor, die wegen ihres Potentials, Karstlandschaften zu enthalten, von Bedeutung sind. Das sind der obersilurische Tololoway Limestone und die unterdevonische Helderberg Group. Zahlreiche Höhlen haben sich innerhalb dieser beiden karbonatischen Einheiten entwickelt; die Mehrzahl der bekannten Höhlen befindet sich im New Scotland Limestone der Helderberg Group.

Nur spärliche Angaben über die Höhlen in diesem geographischen Gebiet liegen vor. Das ist in hohem Maße wegen der fehlenden Erforschung nach Höhleneingängen der Fall. Ein großer Teil des Terrains ist schwer zu erforschen und ist zum großen Teil zugunsten des leichter zugänglichen und produktiveren Terrains der Appalachian Plateaus umgangen worden. Außerdem sind jene Höhlengerinne, die sich entwickelt haben, wegen des Reichtums an klastischen Materialien, der in diesem Terrain vorhanden ist, oft zum Teil oder vollkommen ausgefüllt. Die Höhlen, die entdeckt und kartiert worden sind, werden in einer Dimension durch die Stratigraphie beschränkt, d. h. durch die Dicke des spezifischen Kalksteins, in dem sie liegen. Die Gangentwicklung findet meistens an Kreuzungen von Klüften und Schichtungsflächen statt, und die Ordnung, die entsteht, wird durch die strukturelle Lagerung kontrolliert. Weil dieses Terrain ziemlich dicht gefaltet ist, befinden sich die meisten Höhlen in steil einfallenden Gesteinen; sie haben sich als einheitliche, relativ horizontale Gänge entwickelt, die zu den Talwänden ungefähr parallel laufen - so orientieren sich die Gänge nach dem Streichen (Abbildung 8). In manchen Fällen sind die Höhlenordnungen in horizontalen Teilen des Gesteins - wo die hydraulischen Verhältnisse zur Zeit der Bildung günstig waren - des durch die Klüfte kontrollierten labyrinthischen Typs (Abbildung 9).

Das Germany Valley

Ein kleines Gebiet im westlichen Teil von Pendleton County bietet einen auffallenden Kontrast zum Rest des Gebiets. Germany Valley ist ein Antiklinaltal, das sich auf der Wills Mountain Antiklinale, der höchsten Falte in diesem Teil von West Virginia, gebildet hat; das strukturelle Relief beträgt etwa 3 960 m. Dieses erodierte Gebilde hat die mittelordovizischen Karbonatgesteine zur Erdoberfläche gebracht (Abbildung 9). Mehrere bekannte Höhlen, unter denen Hellhole (Höllchen) und Schoolhouse (Schulgebäude) Cave, haben sich in diesen Gesteinen entwickelt. Die Höhlenordnungen neigen dazu, dreidimensionale Netze zu sein; eine vertikale Entwicklung kommt auch häufig vor.

Germany Valley hat bei den Höhlenerforschungen in West Virginia eine wichtige Rolle gespielt. Seit vielen Jahren unterhalten Höhlenforscher hier ein Gebäude, das als Versammlungsort und Operationsbasis für Höhlenstudien im nordöstlichen West Virginia gedient hat. Demzufolge hat dieses verhältnismäßig kleine Gebiet eine beträchtliche Zahl von bekannten Höhlen.

Der Greenbrier Kalksteinkarst

Vor Beginn der Besprechung dieses Gebiets ist eine Bemerkung zu den Bezeichnungen für gewisse Gebiete fällig. Der Name Greenbrier kann in der Identifikation von gewissen Gebieten Verwirrung stiften; eine Gruppe von Formationen, ein Kreis (county) in West Virginia und der größere Fluß, der das Gebiet entwässert, werden alle Greenbrier genannt. Wenn die Bezeichnung „Greenbrier Karst“ in dieser Besprechung benutzt wird, bezieht er sich auf die Verkarstung auf oder in der Greenbrier Group von Gesteinen. Der Karst des Kreises wird als „Greenbrier County Karst“ bezeichnet werden, und wenn das Flußtal gemeint ist, wird es der „Greenbrier Valley Karst“ genannt werden.

Beinahe all die Verkarstung in der Appalachian Plateaus Provinz von West Virginia hat innerhalb der Kalksteine der Greenbrier Group stattgefunden. Die längsten Höhlen in West Virginia, unter denen die

drittlängste Höhle in den Vereinigten Staaten ist, sind innerhalb Greenbrier Gesteinen zu finden.

Die Kalksteinfolgen der Greenbrier Group sind nicht die typischen Kalksteinfolgen, die in großen oder langen Höhlen gefunden worden sind. Die meisten Gebiete, die wegen ihrer Höhlen bekannt sind, bestehen aus Terrains, die von sehr dicken Folgen verhältnismäßig homogener Kalksteine unterlagert sind. Im Gegensatz dazu besteht die Greenbrier Group aus einer 60-550 m dicken Folge, die mehr als 20 getrennte Einheiten von Kalkstein, Sandstein, Schluffstein und Schiefer enthält, die ungefähr 8 Formationen bilden (Abbildung 10). Die Höhlenbildung und die Verkarstung im allgemeinen werden in hohem Grade durch stratigraphische und strukturelle Faktoren kontrolliert. Natürlich tragen die hydraulischen Faktoren zur Entwicklung bei; die geologischen Faktoren spielen aber eine sehr wichtige Rolle (Medville und Medville, 1971; Werner, 1973). Dies ist besonders im nördlichen Teil des Aufschlußgebiets der Fall. Die verschiedenen Faktoren, welche zur Verkarstung beitragen, kommen im Gebiet, wo die Greenbrier Group aufgedeckt ist, gewissermaßen in unterschiedlichen Graden vor (Abbildung 11); dies wird im Zusammenhang mit der Besprechung der einzelnen Teile des Gebiets weiter erörtert werden.

Ein anderes atypisches Merkmal des Greenbrier Karsts ist die Tatsache, daß ein verhältnismäßig kleiner Teil des Oberflächenaufschlusses (etwa 5-10% in vereinzelt nördlichen Becken) aus Karbonatgestein besteht, obwohl der Kalkstein eine überwältigende Kontrolle über die Hydrologie des Gebiets ausübt. Das führt dazu, daß die Verkarstung in vielen Teilen des Terrains gar nicht auffällt.

Die Gesteine der Greenbrier Group sind in Teilen vom östlichen West Virginia aufgedeckt. Die Verteilung der Aufschlüsse wird in hohem Maße von mehreren großen, offenen Falten mit einem niedrigen bis gemäßigten Relief kontrolliert. Obwohl das Gebiet sich ziemlich weit ausdehnt und die Dicke der Folge zwischen 60 m am nördlichen Ende und 550 m am südlichen Ende schwankt, können die Formationen das ganze Gebiet der Aufschlüsse hindurch identifiziert werden.

Die Greenbrier Group ist durch die Ablagerung von marinen Gesteinen während der meramecischen und chesterischen Zeiten des Oberen Mississippis entstanden. Die Ablagerung hat synchron mit der Vertiefung des Appalachian Basin und besonders mit der Vertiefung des im südlichen Teil von West Virginia gelegenen und sich südwärts erstreckenden Pocahontas Basin stattgefunden. Die Ablagerung hat während der Hillsdale und Sinks Grove Zeiten in einem gemäßigten tiefen bis seichten Meer begonnen; rasch wurde es während der Patton Zeit eine litorale und kaum sublitorale Ablagerung und entwickelte sich dann während der Alderson Zeit zur superlitoralen Ablagerung. Die Dicke der Gruppe wird zum großen Teil durch die Senkung kontrolliert, da die Ablagerung im wesentlichen vollkommen an oder in der Nähe des damaligen Meeresniveaus stattfand. So weist die zunehmende Dicke der Folge im Süden auf eine größere und raschere Senkung hin. Die Grenze zwischen dem rasch sinkenden Becken und der stabileren Plattform liegt irgendwo im mittleren Teil von Pocahontas County.

Die Bowden Fish Hatchery (Fisch-Brutanstalt)

Der U. S. Fish and Wildlife Service (Fisch- und Wildlingsschutzdienst) verwaltet eine große Forellen-Brutanstalt bei Bowden, West Virginia. Zwei große Karstquellen, die zusammen ungefähr 7 570 l pro Minute spenden, versorgen die Anstalt mit Wasser für alle Zwecke. Die Quellen liegen in der Nähe der Achse der North Potomac Synklinale und fließen in der Nähe des Fußes der Greenbrier Group aus. Der größte Teil des Wassers fließt durch Rohre, von denen die Mehrzahl so groß ist, daß ein Durchgang zu den Quellen möglich ist.

Während des Baus einer Autobahn wurden die Decken von mehreren Schächten und Höhlengängen entfernt. Das hatte zur Folge, daß große Mengen von Schlamm in die Rohre gespült wurden, die eine der Brutanstalt-Quellen speisten. Bei einem Zwischenfall kamen mehr als 150 000 kleine Forellen wegen des schlammigen Wassers um. Während des Autobahnbaus fanden zahlreiche weitere Zwischenfälle statt. Außerdem nahm die Strömung aus der Quelle ab, weil ein Teil des oberirdischen Wassers in Entwässerungsgraben gelenkt wurde, anstatt, daß man es in den Erdboden hätte einsickern lassen, so daß es den Karstaquifer hätte speisen können.

Der Upper Elk River Basin (Becken des oberen Elchenflusses)

Die Hydrologie dieses Gebiets ist erforscht worden, und Medville (1977) hat ziemlich ausführlich darüber berichtet. Das Gebiet besteht

aus einem hügeligen Terrain, dessen Relief 460-610 m beträgt. Die Greenbrier Kalksteine sind gewöhnlich in den Tälern und den unteren Hügelhängen aufgedeckt und umfassen ungefähr 15% des oberirdischen Flächenraums. Oberirdische Ströme werden wiederholt durch unterirdische Gerinne in den Kalksteinen angezapft und durch weniger lösliche Einheiten innerhalb der Folge wieder zur Erdoberfläche gezwungen (Abbildung 12). Zwei verschiedene Typen der Wasserbewegung sind innerhalb des Beckens zu sehen; das Verhältnis zwischen dem topographischen Gefälle und dem stratigraphischen Einfallen bestimmt, welcher Typ sich entwickelt (Abbildung 13). Wo das topographische Gefälle das stratigraphische Einfallen übertrifft, kann die unterirdische Strömung als ein Wasserträger gekennzeichnet werden, der eine Rohrströmung mit Decken und hängenden Schichten hat, so wie White (1969) aufgezeichnet hat. Diese Rohre enthalten oft Ströme, deren Wasseroberfläche unter dem atmosphärischen Druck steht, die zu Quellen fließen, die durch die Schwerkraft gespeist werden. Dort, wo die ganze Karbonatfolge über dem Grundwasserspiegel liegt, ist die allgemeine Strömungsordnung diejenige, die in Abbildung 13a dargestellt ist; vadose Schächte führen Wasser durch die oberen Kalksteine zu einer der klastischen Schichten. Die Strömung ist dann im wesentlichen eine horizontale, bis das nichtkarbonatische Gestein entweder unterirdisch oder an der Erdoberfläche gebrochen worden ist. Dieser Prozeß findet bis zum Fuß der Folge wiederholt statt, und die weitere Strömung findet auf der Erdoberfläche statt. Die zweite Ordnung der Wasserbewegung kommt dann vor, wenn das Einfallen des Kalksteins den topographischen Gradient übertrifft. Wasser wird angezapft, wenn es den Kalkstein erreicht, und es tritt auf der tiefsten Höhe der Kalksteineinheit innerhalb des Flußbetts wieder aus.

Zahlreiche Quellen existieren im Elk River Abflußgebiet; gewöhnlich sind die kleineren die Folge des ersten oben besprochenen hydrologischen Typs, und die größeren die Folge des zweiten Typs. Die größte Quelle, die sich am niedrigsten Aufschluß der Greenbrier Group befindet, fließt mit einer mittleren Strömung, die $0,28 \text{ m}^3/\text{s}$ beträgt und einer hohen Strömung, die ungefähr $6,8 \text{ m}^3/\text{s}$ beträgt, aus der Oberkante der Folge.

Die Höhlenentwicklung basiert natürlich zum großen Teil auf den oben beschriebenen hydrologischen Ordnungen. Die Mehrzahl der Höhleneingänge besteht aus vadosen Schachteingängen zu unterirdischen Systemen. Das Gebiet ist hydrologisch sehr aktiv, und die meisten der horizontalen Gänge sind mit Wasser ausgefüllt. Eine ungewöhnliche Höhle in dem Abflußgebiet ist Simmons-Mingo Cave. Das ist eine außerordentlich gerade Höhle, die sich offensichtlich an einer Bruchzone entlang entwickelt hat, was auf Luftaufnahmen als ein ausgeprägtes Photolineament sichtbar ist. Die gerade Skizze erstreckt sich ungefähr 3 050 m am Lineament entlang.

Oberirdische Verkarstungen kommen verhältnismäßig selten vor und bestehen aus einigen Dolinen und offenen vadosen Schächten, die auf den Hügelhängen vereinzelt auftreten. Das intermittierend trockene Flußbett des Elk River weist dort manche ausgezeichnete Beispiele des Auflösungsreliefs auf, wo der Felsuntergrund aufgedeckt ist.

Die Edray Hatchery

Die Brutanstalt, die vom Staat West Virginia verwaltet wird, liegt in der Mitte von Pocahontas County. Das Wasser, das vom Unternehmen gebraucht wird, stammt aus mehreren Quellen, die vom Fuß der Greenbrier Group ausfließen. Das Wasser stammt aus kleinen Strömen, die auf beiden Seiten von Wolfpen Ridge sinken - von der topographischen Wasserscheide, an dessen Fuß die Brutanstalt sich befindet (Abbildung 14). Eines der Beispiele der (topographischen) Wasserüberführung von einem Abflußgebiet zum anderen durch unterirdische Gerinne ist das Sinken des Wassers in das Indian Draft Abflußgebiet (östlich von Wolfpen Ridge) und das Fließen durch eine Höhle zu den Quellen im Stoney Creek Abflußgebiet.

Von besonderem Interesse bei der Gruppe von Quellen, die in der Nähe der Brutanstalt liegt, ist die klare Absonderung nach Wasserqualitätscharakteristika. Drei verschiedene Gruppen sind identifiziert worden (Werner, 1974a): 1) große Quellen, die durchschnittlich 60 ppm Bikarbonat enthalten und einen Variationskoeffizient von 30% haben, 2) mittelgroße Quellen, die durchschnittlich 120 ppm Bikarbonat enthalten und einen Variationskoeffizient von 18% haben und 3) kleine Quellen, die 195 ppm Bikarbonat enthalten und einen Variationskoeffizient von 7% haben. Abbildung 15 stellt die ersten zwei dieser Quellentypen dar. Andere chemische Charakteristika sind unter den

Quellengruppen auch sehr unterschiedlich: Sättigungsindizes in bezug auf Kalzit nehmen merklich von Gruppen 1 bis 3 zu; die Chloridkonzentrationen sind auch ziemlich unterschiedlich (Werner, 1977). Weil alle Quellen aus demselben stratigraphischen Horizont fließen und alle sehr nahe aneinander liegen, sind es die hydrologischen Charakteristika der Wasserführungssysteme, die für die Unterschiede verantwortlich sind.

Der Hauptunterschied in der Hydrologie hat mit der Art der Strömungsröhre zu tun. Die erste oben besprochene Gruppe hat große Röhre mit verhältnismäßig gleichmäßigen Gradienten ohne Tümpel. Die zweite Gruppe hat Röhre mit Tümpeln. Diese zwei Gruppen sind Variationen der Rohrquellen von Schuster und White (1971). Die dritte Gruppe zeigt aber die Charakteristika der diffusen Quelle von Schuster und White auf, und ihre „Röhre“ sind zum großen Teil kleine Brüche und Schichtungsflächen-Absonderungen.

Der Friars Hole (Mönchsloch) Karst

Die vor kurzem stattgefundenen Erforschung des Friars Hole Cave Systems hat die Länge der Höhle dermaßen erweitert, daß sie jetzt mit beinahe 65 km vermessener Gänge die längste Höhle in West Virginia und die drittlängste in den Vereinigten Staaten ist. Ein ausführlicher Bericht von Medville (1981) über die Geographie der Höhle ist in den Akten dieses Kongresses abgedruckt.

Das Höhlensystem unterliegt einem ungefähr 2,4x6,4 km großen Gebiet, das auf der westlichen Seite vom Droop Mountain (herabhängenden Berg) in Greenbrier und Pocahontas Counties liegt (Abbildung 16). Das Terrain besteht aus schwach gefalteten Gesteinen, die für die östliche Kante der Appalachian Plateaus typisch sind. Die Greenbrier Group (nur der obere Union Limestone und die darauf liegenden Folgen) ist im westlich von Droop Mountain liegenden Tal aufgedeckt, und die umliegenden Kämme bestehen aus jüngeren klastischen Gesteinen.

Hydrologisch gesehen besteht das Höhlensystem aus drei getrennten Entwässerungssystemen, die durch Zufall in ein einziges Höhlensystem integriert wurden. Meistens enthält jedes dieser Entwässerungssysteme einen Hauptstrom mit zahlreichen Zubringern. Jeder Strom endet am stromabwärts liegenden Ende in einem Siphon.

Die acht Eingänge zur Höhle befinden sich alle in der Nähe der Oberkante des Union Limestone. Sechs dieser Eingänge führen zu Folgen vadoser Schächte, die gerade unter der unteren Grenzfläche des Union Limestone aufhören. Der größte Teil der Gangentwicklung findet an oder in der Nähe der Oberkante des Pickaway Limestone statt.

Obwohl der größte Teil der Höhle erst vor kurzem entdeckt und erforscht worden ist, sind Teile davon seit mehr als hundert Jahren bekannt. Kalisalpetererde wurde während des amerikanischen Bürgerkrieges und nachher im Hauptgang des Snedegars Cave Teils abgebaut. Daten, die in dem Kalisalpeterabbau-Teil eingeschrieben und später durch den weiteren Abbau verwischt wurden, weisen darauf hin, daß der Abbau bis in die Anfangsjahre des 20. Jahrhunderts fortgesetzt wurde. Die Einheimischen haben diesen Teil oft besucht, und als die National Speleological Society gegründet wurde, hat man auf frühen offiziellen Exkursionen der Society diese Höhle oft besucht.

Der Greenbrier County Karst

Südlich der Grenze zwischen Pocahontas und Greenbrier County ändert sich der Charakter des Terrains rasch. Das Kalksteinalt wird beträchtlich breiter, und das Verhältnis vom aufgedeckten Karbonatgestein zum aufgedeckten nichtkarbonatischen Gestein nimmt zu. Das Terrain wird dem typischen Karstterrain immer ähnlicher; im Gegensatz zum nördlich gelegenen Terrain, wo Dolinen sehr klein sind und selten vorkommen, sehen wir hier die Entwicklung von Dolinenebenen. Dieser Unterschied ist zum großen Teil durch den sanfteren geologischen Bau verursacht worden, wie auch durch die etwas niedrigere durchschnittliche topographische Höhe, resultierend aus der Lage weiter stromabwärts am Greenbrier River entlang. Der Greenbrier River ist der Hauptstrom dieses Gebiets.

Das Interesse an der Erforschung des Greenbrier County Karstgebiets ist dadurch hervorgerufen worden, daß es leicht ist, von anderswo dorthin zu reisen, wie auch dadurch, daß es im Teil vom Greenbrier Karst liegt, der am dichtesten besiedelt ist. Es befinden sich hier viele große und lange Höhlen, was Höhlenerforscher gereizt hat, in dieses Gebiet zu kommen.

Eine Untersuchung der Geologie des Gebiets ist vor kurzem von Heller (1980) unternommen worden. Sie hat die Greenbrier Group bis

zum Formationsniveau kartiert, konnte aber zwischen den Sinks Grove und Patton Formationen nicht unterscheiden; sie hat die als eine Einheit behandelt, die sie als die Denmar Formation von Wells (1950) bezeichnet hat; sie hat auch den Greenville Shale (Schiefer) zum Alderson Limestone gerechnet. Das Ablagerungsmilieu in diesem Teil des Abflußgebiets war offensichtlich stabiler, was die Unterscheidung zwischen manchen der Formationen schwerer machte, als es nordwärts oder südwärts der Fall war.

Die langen Höhlen befinden sich meistens in der Nähe der Ränder des Kalksteinaufschlusses, weil das Wasser dort in konzentrierten Strömen den Kalkstein erreicht. Insbesondere hat sich eine Höhlenserie am östlichen Rand entwickelt, wo Ströme, die auf den unterlagernden Maccrady Gesteinen nordwestwärts fließen, den Fuß des Kalksteins erreichen und in die „Kontakthöhlen“ sinken, die so genannt werden, weil sie sich meistens am Kontakt zwischen der Greenbrier Group und der Maccrady Group entlang entwickelt haben. Nachdem diese Ströme gesunken sind, fließt das Wasser entweder nordostwärts oder südwestwärts an dem Streichen der Gesteine entlang zu Quellen, die bei Spring Creek oder bei dem Greenbrier River liegen (die Stätten sind in Abbildung 17 aufgezeichnet). Die hydrologische Untersuchung von Jones (1973) erwies, daß der größte Teil des Gebiets (191 km² von 351 km²) in eine Quelle entwässert, die bei dem Greenbrier River und Davis Spring - der größten Quelle in West Virginia - liegt. Mehrere andere Abflußgebiete wurden entworfen; manchmal führten die Entwässerungswege eines Abflußgebiets über oder unter den Entwässerungswegen an anderen Abflußgebieten vorbei, ohne daß Verbindungen bestanden hätten (Abbildung 18).

Jones (1973) hat sich hauptsächlich mit dem integrierten Strömungssystem beschäftigt, das die oberirdischen Ströme und die unterirdischen Rohre einschließt. Heller (1980) hat sich in seiner Untersuchung des Grundwassers hauptsächlich auf die Wasserträger innerhalb von Kalksteinen konzentriert, die aus Schichtungsflächen und kleinen Brüchen bestanden (die wahrscheinlich durch die Auflösung vergrößert wurden) und die sich meistens über den weniger löslichen Zonen befanden. Die Wasserqualitätsdaten und manche andere hydrologische Daten weisen darauf hin, daß diese Wasserträger nur in geringem Maße mit den Rohrsystemen verbunden sind - ungefähr in dem Maße, in dem oberirdische Ströme im typischen klastischen Terrain mit Wasserträgern verbunden sind.

Die Verkarstung hat sich im Greenbrier County Karst weit ausgedehnt. Beinahe die ganze Oberfläche des Kalksteinaufschlusses erweist das. Dolinen bedecken die topographisch höheren Gebiete, die typische Dolinenebenen sind, wenn sie auch eine kleine Grundfläche einnehmen; es kommen auch mehrere Karsttäler, eigentlich Uvalas, vor, von denen manche ziemlich groß sind. Höhlen kommen häufig vor; Schätzungen der Zahl der entdeckten und erforschten Höhlen schwanken zwischen 500 und 1 000. Höhlengänge, deren Gesamtlänge über 160 km beträgt, sind in diesem Gebiet vermessen worden.

Der Monroe County Karst

Monroe County liegt südlich von Greenbrier County. Die Verkarstung ist derjenigen von Greenbrier County sehr ähnlich, aber es bestehen bedeutende Unterschiede. Es scheint, daß diese Unterschiede durch einen grundsätzlichen Unterschied im geologischen Bau verursacht worden sind. Monroe County ist ein tektonisches Becken mit einem sehr niedrigen Relief, das aber dazu ausreicht, einen niedrigen hydraulischen Gradient innerhalb der Kalksteinfolge zu verursachen. Das hat die Verkarstung gewissermaßen verlangsamt.

Die Oberfläche weist die Entwicklung von Dolinen auf; die Zahl der Karsttäler, die in Greenbrier County häufig zu finden sind, ist aber gering, und große Karsttäler kommen überhaupt nicht vor. Die Oberflächenentwicklung ist reif, aber nicht so intensiv wie beim Greenbrier County Karst. Die vollständigste Oberflächenentwicklung ist auf dem Union Limestone zu finden. Es ist auf der Oberkante des Union, daß viele vadosen Schächte sich zur Erdoberfläche öffnen. Die Höhlenentwicklung ist im Union Limestone am weitesten verbreitet, und die größeren Höhlen befinden sich in dieser Formation. Im Gegensatz zu Greenbrier County, wo sehr große Höhlen am Fuß der Greenbrier Group liegen, sind keine großen Höhlen im Hillsdale Limestone in Monroe County zu finden (Hempel, 1975).

Die Greenbrier Group wurde ursprünglich von verschiedenen Orten in Monroe County aus beschrieben (Reger, 1926). Später hat Ogden (1976) das Gebiet des Ausgehenden bis zum Formationsniveau kartiert.

Er konnte acht Formationen identifizieren, die denjenigen in Abbildung 10 entsprechen, aber er hat den Greenville Shale zum Alderson Limestone gerechnet, weil der Greenville nur als Linsen vorkam und nicht kontinuierlich war.

Mehrere lineare Einordnungen von Dolinen in Monroe County sind als Bruchlineamente identifiziert worden. Besonders eine, das Monitor Lineament (Werner, 1974b, Abbildung 3), ist das auffallendste Photo-lineament, das in der Region zu sehen ist. Dieses Lineament besteht aus einer linearen, 8 km langen Einordnung von Dolinen (der tiefsten im Kreis), und es reicht mit Stromsegmenten und Luftspalten, die eine Linie bilden, ununterbrochen ins klastische Terrain hinein. Andere, weniger auffallende Photolineamente kommen an verschiedenen Stellen den Kreis hindurch vor.

Eine interessante Erscheinung in Monroe County ist das Auftreten von Mineralquellen in manchen Gebieten. Ein solches Gebiet, Salt Sulphur Springs, wurde als Kurort ausgebaut, aber er ist nicht mehr in Betrieb. Die Quellen werden wahrscheinlich durch tief zirkulierendes Wasser gespeist, wie die hohe Sulfat- und Chloridkonzentration und das Vorhandensein von ungewöhnlichen Ionen wie z.B. Jodid aufweisen. Zur Zeit findet kaum eine oder keine Strömung aus diesen Quellen statt.

Eastern Kentucky (der östliche Teil von Kentucky)

Gesteine mit demselben Alter wie die Greenbrier Group kommen am westlichen Rand der Appalachian Plateaus Provinz im östlichen Teil von Kentucky vor. Die Ablagerung hat aber auf einer verhältnismäßig stabilen Plattform stattgefunden, und deshalb hat die Ablagerung in den meramecischen und chesterischen Zeiten Gesteine, die nur ungefähr 18 m dick sind, erzeugt; das sind die Kalksteine der Newman Group (Abbildung 19). Am Aufschluß dieser Gesteine fallen sie sanft und gleichmäßig ostwärts ein. Der Aufschluß ist in diesem Gebiet sehr schmal (<3 km).

Carter Caves

Der Staat Kentucky hat im nördlich-zentralen Carter County einen Park geschaffen; dieser Park schließt mehrere Höhlen, darunter Carter und Cascade Caves, in sich ein (McGrain, 1954). Carter Cave hat sich an oder in der Nähe des Kontakts zwischen dem St. Louis Limestone und dem Ste. Genevieve Limestone entwickelt; offensichtlich entstand sie im St. Louis und wurde durch den Einsturz des schräg geschichteten Ste. Genevieve aufwärts vergrößert. Casconade Cave scheint sich anschließend im Ste. Genevieve Limestone entwickelt zu haben.

LITERATUR 28 - 30

GUIDE POUR LES KARSTS DES APPALACHES CENTRAUX

Eberhard Werner
Department of Geology
Waynesburg College
Waynesburg, Pennsylvania, 15370, U.S.A.

Figure 1.....	2
Figure 2.....	3
Figure 3.....	5
Figure 4.....	6
Figure 5.....	9
Figure 6.....	10
Figure 7.....	11
Figure 8.....	12
Figure 9.....	14
Figure 10.....	17
Figure 11.....	18
Figure 12.....	20
Figure 13.....	20
Figure 14.....	21
Figure 15.....	23
Figure 16.....	24
Figure 17.....	26
Figure 18.....	27

Les Appalaches centrales s'étendent à partir du centre de la Pennsylvanie dans une direction sud-ouest jusque dans le sud de la Virginie et l'est du Kentucky (Figure 1). A l'intérieur de cette région existent plusieurs bandes de roche karstifiée qui sont plus ou moins parallèles les unes aux autres et qui sont aussi parallèles aux orientations géologiques et topographiques de la région. Cette excursion nous montrera des exemples de tous ces terrains en mettant l'accent sur le développement karstique des roches mississippiennes (carbonifère inférieur) de l'est de la Virginie-Occidentale.

La première partie de ce guide sera un sommaire des physiographie et géologie de la région de notre itinéraire. On doit comprendre que les régions dont nous parlons, et surtout les différentes provinces physiographiques, s'étendent bien au-delà des bords des sections que nous décrivons ici; les descriptions trouvées ci-dessous ne sont que partiellement spécifiques.

La deuxième partie du guide comprendra des descriptions détaillées des géologie et hydrologie des sites spécifiques ou des régions qu'on visitera.

Physiographie

La grande partie de cette excursion aura lieu à l'intérieur de la section géographique Appalachian Highlands (Les Montagnes Appalachiennes) de Fenneman (1938), qui comprend quatre provinces physiographiques (Figure 2). Les descriptions ci-dessous s'appliquent à la région générale qu'on traverse pendant cette excursion. Une description plus complète et plus détaillée de l'ensemble de ces provinces physiographiques peut être trouvée dans Davies (1968) ou dans Fenneman (1938).

La province la plus à l'est, "Piedmont", est une terre haute ondulante avec des collines aux versants légèrement inclinés et avec un relief qui est généralement moins de 50 m. Cependant, les vallées majeures peuvent être très larges et elles sont creusées jusqu'à des profondeurs plusieurs fois plus importantes que le relief moyen. Les roches du Piedmont sont principalement ignées et métamorphiques d'une désagrégation profonde. A cause de cela, il n'y a pas eu de grand développement karstique bien qu'il existe quelques petites grottes et dolines dans le Piedmont de la Virginie (Douglas, 1964).

La province "Blue Ridge" (Crêtes bleues) a la chaîne de montagnes la plus à l'est des Appalachian Highlands. Les montagnes du Blue Ridge montent rapidement du Piedmont oriental et elles aboutissent aussi rapidement à la "Great Valley" (Grande Vallée) à l'ouest. La partie du Blue Ridge qui se trouve en Virginie consiste en une crête principale large et haute avec des pics bas entourés d'une large bande de rameaux et d'avant-monts. Les altitudes des crêtes vont de 900 m jusqu'à un peu plus que 1200 m; les rameaux et les avant-monts sont de 300 à 600 m plus bas. Les pentes des flancs de la crête et des rameaux sont de 30° ou 45° et les escarpements rocheux vont souvent jusqu'à 120 m de hauteur. Les roches du Blue Ridge sont principalement métamorphiques. Il n'y a pas de développement karstique à l'intérieur de la province.

Le développement karstique majeur dans l'état de Virginie se trouve dans la province "Valley and Ridge" (Vallée et Crête). Au long de la zone est de la province se trouve la "Great Valley", connue aussi sous le nom de "Shenandoah Valley" en Virginie et sous d'autres noms ailleurs. Elle est une terre en contrebas ondulante formée sur un calcaire, une dolomite, un schiste très plissés du paléozoïque inférieur. Elle mesure 32 kms de large et se trouve à 150 ou 250 m au-dessus du niveau de la mer. Ses pentes sont légères et son relief est de 15 ou 30 m. Le développement karstique est considérable. Les dolines, qui ont parfois 100 m de diamètre et 3 ou 10 m de profondeur, parsèment le paysage. Le développement sous le sol des karrens est considérable, et dans beaucoup d'endroits les ressauts les plus hauts affleurent à travers le sol. Le drainage se fait principalement sous le sol et seuls les cours d'eau majeurs sont intarissables.

A l'ouest de la Great Valley se situe une région montagneuse qui consiste en de longues crêtes étroites et régulières alternées avec des vallées étroites. En général les crêtes majeures sont formées par des grès quartzitiques à plusieurs horizons dans la strate paléozoïque sédimentaire. Les vallées et les versants inférieurs des crêtes majeures ont une altitude de 400 m ou 1400 m avec un relief qui peut atteindre 750 m. Les crêtes secondaires ont une altitude qui est 300 ou 450 m plus basse et elles ont un relief également plus bas. Les versants d'un côté ou de l'autre des crêtes majeures sont d'habitude

des pentes en pendage de 15° ou de 45°. Les escarpements sont d'habitude développés sur l'autre côté à des hauteurs de 10 ou 45 m. Là où les couches en grès dur sont verticales affleurent des arêtes et des aiguillons en roche à 15 ou 20 m au-dessus des crêtes.

Le développement karstique dans les crêtes n'est pas toujours apparent à première vue, mais en fait il y a beaucoup de grottes. En dépit du petit pourcentage de calcaire superficiel, beaucoup de l'eau à la surface dérive sous la terre pour au moins une partie de sa coulée.

La province physiographique la plus à l'ouest des montagnes Appalachiennes s'appelle la province "Appalachian Plateaus" (Plateaux Appalachiens). Ceci est une terre très haute creusée par bien des cours d'eau. Le contraste entre les formes topographiques à la limite de cette province et de la province Valley and Ridge est le résultat d'un changement abrupt dans la structure de la roche--des roches très plissées du Valley and Ridge jusqu'aux roches plus ou moins horizontales du Appalachian Plateaus. Il y a un changement majeur dans la disposition des cours d'eau; les vallées linéaires et les cours d'eau treillisés de la province Valley and Ridge changent en cours d'eau encaissés avec une disposition dendritique.

Au bord est de la province Appalachian Plateaus se trouve un escarpement qui remonte rapidement à 300 ou 900 m. Les altitudes maximums à cet escarpement sont généralement une centaine de mètres (~100 m) plus hautes que celles des crêtes de la province Valley and Ridge tout de suite à l'est. Cette crête orientale, "Allegheny Front", représente la partie la plus haute du Appalachian Plateaus. Spruce Knob, qui se situe sur cette crête, est la pointe la plus haute de la Virginie-Occidentale ayant 1482 m. L'altitude et le relief va en diminuant vers l'ouest jusqu'à des élévations d'environ 750 m et jusqu'à des reliefs de 150 ou 450 m. Cette région consiste d'habitude en petites collines raides qui ont parfois des pentes de 45°.

La plupart du Appalachian Plateaus est constitué de différentes roches sédimentaires. La forme principale est un bassin doux. Le développement karstique ne se trouve que dans les zones les plus à l'ouest ou à l'est de la province là où affleurent des calcaires plutôt épais du mississippien.

Bien qu'on ne s'arrête pas à l'extérieur de la province géographique du Appalachian Highlands, notre itinéraire passe à travers une partie de la province "Interior Low Plateaus", ce qui est une partie de la province géographique "Interior Plains". La véritable frontière des deux provinces est un escarpement en roches pennsylvaniennes orienté à l'ouest. La topographie est de bas-relief (environ 60 m) et elle est constituée par des strates horizontales de types variés de roches sédimentaires. Les altitudes typiques sont 335 ou 400 m sauf dans la région des fleuves majeurs. La province consiste en de larges vallées parsemées de collines isolées coniques sauf près de ses limites. L'importance du développement karstique est diverse, étant parfois des abris sous l'escarpement à la limite de la province ou étant des plaines avec des dolines avec ou sans grottes dans beaucoup des larges vallées près du centre de la province.

Géologie

Les Montagnes Appalachiennes sont une région géologique classique et elles ont fourni le site de quelques unes des premières études géologiques dans l'Occident. Des milliers de publications existent au sujet de la géologie des Appalaches Centraux. Quelques unes de celles-ci se trouvent dans la bibliographie de Miller, Hadley, et Cox (1968). Des publications générales sur la géologie des régions qu'on va traverser au cours de cette excursion sont Butts (1940), Cardwell (1975), Cardwell et al. (1968), McFarland (1943). Des publications sur les grottes et les karsts de ces mêmes régions sont Douglas (1964), Davies (1958), McGill (1933), Holsinger (1978). Les références aux publications spécifiques sur des aspects particuliers ou des régions particulières seront données au cours des discussions détaillées de la seconde partie de ce guide.

La géologie générale du soubassement de la région parcourue dans notre excursion est montrée dans la Figure 3. En la comparant avec la Figure 2 on voit que certains aspects géologiques sont spécifiques à de certaines provinces physiographiques; la plupart de ceux-ci ont été notés dans la discussion des provinces physiographiques. Les provinces géologiques à l'intérieur des Appalaches Centraux correspondent presque exactement avec les provinces physiographiques, et en ce qui nous concerne dans ce guide, on peut les considérer comme étant identiques.

Plusieurs généralisations s'appliquent à la géologie de cette région. Au départ de la province Blue Ridge et en regardant vers l'ouest on voit que la déformation des roches du Blue Ridge est très forte mais qu'elle s'amoinndrit plus qu'on regarde vers l'ouest jusqu'à ce qu'on arrive au centre du Bassin structural appalachien (the Appalachian Structural Basin) (voir la Figure 4). Les roches du Blue Ridge sont d'habitude métamorphiques de divers pendages. Au-delà de ces dernières il y a des roches sédimentaires; mais elles sont fort déformées dans la Great Valley et très plissées dans les crêtes à l'ouest de la Great Valley, mais dans l'Appalachian Plateaus elles sont à peine plissées ou horizontales. De la même façon les failles sont moins nombreuses à l'ouest vers le centre du Bassin Appalachien. Les dislocations majeures se trouvent le long des chevauchements très disloqués qui ont déplacé des unités majeures vers l'ouest. Dans les Appalaches Centraux ces failles n'apparaissent pas d'habitude à la surface sauf à la limite est; cependant, il y a des failles moindres associées avec les chevauchements majeurs. A l'échelle de la carte de la Figure 4, on ne peut voir que quelques unes des failles secondaires plus importantes. Donc on ne voit que les chevauchements majeurs qui affleurent dans les provinces Blue Ridge et Great Valley. Cependant on peut voir bon nombre de failles mineures sur place partout dans la province Valley and Ridge et aussi dans la province Appalachian Plateaus. Bien que la dislocation le long de la plupart de ces failles est de moins de 3 m et même de 5 cms, ces failles sont si nombreuses qu'elles peuvent effectuer un épaississement ou un amincissement sur les couches des strates sédimentaires; parfois l'épaississement ou l'amincissement sera de 50% (Eddy and Williamson, 1968).

Cette situation diffère un peu vers l'ouest du centre du Appalachian Basin. Dans la partie de l'Appalachian Plateaus qui se trouve au Kentucky et vers l'ouest on trouve des failles verticales très importantes qui font partie des zones de dislocation Kentucky River and Lexington. Celles-ci sont d'une dislocation considérable et elles s'associent avec de fortes fractures.

Une des causes majeures des différences des dislocations structurales est due à la proximité au centre de l'activité géologique majeure la plus récente. La plupart des forces ont été créées par la collision des plaques de terre approximativement au site de la province Piedmont actuel vers la fin du paléozoïque.

Il y a une deuxième raison pour la diminution de la déformation vers l'ouest. Les roches superficielles des diverses régions sont d'âges différents. Donc, on attend à ce que les roches moins âgées soient moins déformées parce qu'elles ont existé moins de temps et elles ont subi moins d'événements tectoniques. Cette dynamique s'effectue dans les Appalaches Centraux; les roches sont progressivement plus jeunes quand on passe vers l'ouest à travers les provinces physiographiques jusque dans le centre de l'Appalachian Basin. Il est peut-être en accord avec cette idée que les roches à l'ouest des Appalaches, celles du Continental Interior, sont aussi plus déformées plus elles sont âgées. Ce rapport devient clair lorsqu'on compare les Figures 4 et 3.

Développement Karstique dans les Appalaches Centraux

Il est difficile de faire des prononcements généraux sur le développement karstique des diverses provinces physiographiques ou géologiques. Les développements spécifiques sont un résultat de la géologie et de la physiographie, c'est-à-dire que les formes karstiques sont contrôlées par les conditions hydrologiques qui, elles, sont contrôlées par les lithologie, forme géologique, et relief topographique. Par exemple, les diverses sortes de dépressions fermées se développent là où des roches solubles constituent le terrain, mais la variété spécifique dépendra de la situation. Sur des terrains carbonates où le gradient hydraulique est assez élevé et où le volume d'écoulement concentré est suffisant, les conduits souterrains sont vides de matériaux insolubles et des grottes y ont développé.

Le but de cette excursion est de montrer des exemples généraux des diverses formes karstiques des différentes provinces géologiques de la région entre Washington D.C. et Bowling Green, Kentucky. Le développement karstique de la zone qui traverse la frontière des provinces Valley and Ridge et Appalachian Plateaus sera examiné en détail. Le reste du guide servira à présenter des descriptions plus détaillées des régions qu'on visitera. A cause des incertitudes d'accès et de conditions des cours d'eau et de quelques unes des routes, on ne donnera pas d'arrêts spécifiques ici. Il ne sera possible de rassembler ces renseignements spécifiques ni l'itinéraire des routes que

quelques jours avant l'excursion. Ces renseignements seront fournis sous forme de guide supplémentaire juste avant l'excursion.

Bien que les premières études scientifiques des karsts américains ont eu lieu principalement au Kentucky et en Indiana, les régions en Virginie et en Virginie-Occidentale ont joué un rôle important dans le développement de la spéléologie de loisir et de l'étude scientifique par les amateurs. C'était aussi la région où s'est fondée et développée la Société Nationale de la Spéléologie (National Speleological Society). Plusieurs arrêts de notre itinéraire seront faits aux sites des visites des premiers membres du National Speleological Society au début des années 40.

The Great Valley

La Great Valley de la Virginie est constituée principalement des calcaires du cambrien supérieur et de l'ordovicien inférieur. Plusieurs sortes de formes karstiques se trouvent partout dans la région. De grandes formes karren peuvent être vus dans bien des champs et des prés, et il y a beaucoup de cours d'eau qui se perdent et de sources karstiques. Il y a sans doute une karstification considérable sous la terre; cependant, les grandes quantités de résidus et d'alluvions provenant du Blue Ridge à l'est et des rochers clastiques à l'ouest, en plus du relief hydraulique relativement bas associé à ce terrain font que le développement de grottes soit moins important que celle qu'on attendrait autrement. Il y a des zones où le gradient hydraulique est assez fort pour le vidange des matériaux clastiques des conduits karstiques surtout aux limites est et ouest de la Great Valley. Beaucoup de grottes du côté est sur le flanc du Blue Ridge ont été exploitées comme grottes touristiques; Luray Caverns en est une. Aucune de ces grottes n'est très grande, mais presque toutes sont bien ornées de concrétions.

Luray Caverns - Grotte Typique de la Great Valley

Le suivant est une version condensée de la description dans McGill (1933). Luray Caverns se trouve dans Page County, Virginia, sur la pente est de Cave Hill (le Mont des Grottes), à mi-distances entre le Blue Ridge à l'est et le Mont Massanutten à l'ouest (Figure 5). La grotte est ouverte au public depuis 1878 et on l'a souvent décrite comme la plus belle des grottes de la Virginie.

Luray Caverns se situe dans la Dolomite Nittany du groupe ordovicien inférieur Beekmantown. Le développement caveux consiste en un réseau plutôt complexe de salles qui ont une certaine disposition mais qui n'est pas la disposition parallèle rigide associée aux passages contrôlés par les joints (Figure 6). Comme pour la plupart des grottes de la Great Valley, le développement des Grottes Luray est contrôlé par un concours complexe de facteurs dont le gradient hydraulique souterrain, la stratigraphie, la structure géologique, et la paléogéomorphologie sans une prédominance particulière d'aucun de ces facteurs. A présent, il ne s'y trouve que très peu de ou pas d'élargissement karstique; chez Luray Caverns, comme pour la plupart des grottes le long du côté Blue Ridge de la Great Valley, l'activité principale est celle du dépôt de diverses formes stalagmitiques.

Les Crêtes

A l'ouest de la Great Valley il y a une série de longues crêtes parallèles. Dans le comté Pendleton en Virginie-Occidentale, dans la partie de la province Valley and Ridge de notre excursion, les crêtes sont constituées pour la plupart de roches siluriennes et dévoniennes sauf pour la petite région de la Germany Valley, discutée séparément plus tard, qui contient parfois des rochers ordoviens moyens (Figure 7). La plupart des roches siluriennes et dévoniennes sont clastiques; cependant, il existe deux strates calcaires à l'intérieur des crêtes qui sont intéressantes du point de vue de leurs formes karstiques potentielles. Celles-ci sont le Calcaire Tonoloway du silurien supérieur et le groupe Helderberg du dévonien inférieur. De nombreuses cavernes sont développées dans ces deux unités carbonates, la plupart des grottes connues étant dans le Calcaire New Scotland du groupe Helderberg.

Les données sur les grottes de cette région géographique sont éparses. C'est en grande partie à cause de la manque d'explorations pour des entrées aux grottes. Ce terrain a tendance à être plus ou moins difficile, et on l'a souvent évité en faveur des terrains plus productifs de l'Appalachian Plateaus. Aussi, l'abondance de matériau clastique qui se trouve dans ce terrain a causé le remplissage partiel ou complet des conduits karstiques développés. Les grottes qui

y ont été découvertes et répertoriées sont d'habitude limitées sur une dimension par la stratigraphie, c'est-à-dire par l'épaisseur du calcaire spécifique dans lequel elles se trouvent. Le développement des passages est généralement au croisement des joints et des plans de stratification et la disposition subséquente est contrôlée par la position structurale. Puisque ce terrain est très étroitement plissé, la plupart des grottes se trouvent dans des roches à pendage très incliné et elles sont développées dans des passages unitaires et relativement horizontaux qui sont plus ou moins parallèles aux parois des vallées--donc, les passages sont orientés dans la direction des strates (Figure 8). Dans quelques instances, la disposition des grottes dans les strates horizontales de la roche--là où les conditions hydrauliques à l'époque de la formation étaient favorables--est du genre labyrinthe contrôlé par les joints (Figure 9).

Germany Valley

Une petite région dans la partie ouest de Pendleton County se contraste beaucoup à la région autour. Germany Valley est une vallée anticlinale développée en haut de l'anticlinal Wills Mountain, plissement le plus élevé de cette partie de la Virginie-Occidentale avec un relief structural d'environ 3960 m. Cette structure érodée a fait affleurer les roches carbonates de l'ordovicien moyen (Figure 9). Plusieurs grottes bien connues, y comprises les grottes Hellhole et Schoolhouse, sont développées dans ces roches. Les dispositions des grottes montrent une tendance vers des réseaux tridimensionnels, le développement vertical étant très commun.

Germany Valley a inspiré beaucoup d'études de grottes en Virginie-Occidentale. Un centre de recherches sur place a été maintenu par des spéléologues depuis bien des années et il a servi de lieu de rencontre et de base d'opérations pour les études spéléologiques du nord-est de la Virginie-Occidentale. Comme résultat, cette région relativement petite a un nombre important de grottes connues.

Le Karst Calcaire Greenbrier

Avant de s'entamer dans une discussion de cette région, on doit remarquer les noms de certaines régions. Une confusion dans l'identification de certaines régions peut être causée par le nom Greenbrier, qui est employé pour un groupe de formations, pour un county de la Virginie-Occidentale, et pour le fleuve majeur qui draine la région. Dans cette discussion, quand on emploie le nom "karst Greenbrier" il désigne le développement karstique sur ou à l'intérieur du groupe de roches Greenbrier. Le karst qui se trouve dans Greenbrier County s'appelle "le karst du Greenbrier County", et quand on veut parler de la vallée fluviale on dira "le karst de la Greenbrier Valley".

Presque tout le développement dans la province Appalachian Plateaus de la Virginie-Occidentale se trouve dans les calcaires du groupe Greenbrier. Les grottes les plus longues de la Virginie-Occidentale, y comprise la troisième grotte des Etats-Unis, se situent dans les roches Greenbrier.

Le Groupe Greenbrier n'est pas typique des strates calcaires qui sont connues pour leur grandes ou longues grottes. La plupart des régions connues pour leur grottes consistent en des terrains constitués des strates très épaisses de calcaires plus ou moins uniformes. Par contraste, le Groupe Greenbrier consiste en une strate de 60 ou 550 m d'épaisseur ayant plus de 20 unités distinctes de calcaire, de grès, de pierre argileuse, de schiste argileux repartis dans à peu près huit formations (Figure 10). Le développement karstique général est sensiblement contrôlé par des facteurs stratigraphiques et structuraux. Naturellement, les facteurs hydrauliques contribuent à ce développement; cependant, les facteurs géologiques sont très importants (Medville et Medville, 1971; Werner, 1973). C'est surtout vrai pour la partie nord de la zone d'affleurement. Les divers facteurs dans le développement karstique varient à un certain degré dans la zone où affleure le Groupe Greenbrier (Figure 11); on en parlera plus tard à propos de chacune des subdivisions.

Une autre caractéristique atypique du karst Greenbrier est que, bien que le calcaire a le contrôle majeur sur l'hydrologie de la région, une partie assez petite de la surface exposée (aussi petite que 5 ou 10% chez quelques bassins du nord) est en roche carbonate. Ceci a tendance à masquer le développement karstique dans beaucoup d'endroits du terrain.

Les roches du groupe Greenbrier affleurent dans des parties de l'est de la Virginie-Occidentale. La distribution des affleurements

est principalement contrôlée par plusieurs grands plissements ouverts de bas à moyen relief. Bien que la région s'étend pendant une distance considérable et que l'épaisseur de la strate varie de 60 m au nord jusqu'à 550 m au sud, la plupart des formations peuvent être identifiées par leur affleurement.

Le groupe Greenbrier est le résultat d'une déposition de roches marines pendant les époques méramecienne et chesterienne du mississippien supérieur. Le dépôt s'est produit en même temps que l'affaissement du Bassin Appalachian et surtout du Bassin Pocahontas du sud de la Virginie-Occidentale. Les dépôts ont commencé dans une mer plus ou moins profonde ou peu profonde pendant les époques Hillsdale et Sinks Grove, en devenant rapidement intertidale et puis à peine subtidale pendant l'époque Alderson. L'épaisseur du groupe est contrôlée principalement par la subsidence parce que les dépôts étaient presque tous à ou près du niveau de la mer de cette époque-là. Pour cette raison l'épaisseur plus considérable de la strate au sud indique une subsidence plus importante et plus rapide. La ligne de partage entre le bassin qui s'abaisse rapidement et la plate-forme plus stable se trouve quelque part dans le Pocahontas County.

L'Alevinier Bowden (The Bowden Fish Hatchery)

Le "U.S. Fish and Wildlife Service" dirige une grande alevinier à truites à Bowden, Virginie-Occidentale. L'eau employée dans tous les processus provient de deux grandes sources karstiques qui ont un débit mixte d'environ 7570 litres par minute. Les sources se situent près de l'axe du synclinal North Potomac, et elles jaillissent près de la base du groupe Greenbrier. La plupart de l'eau passe aux sources à travers des conduits dont beaucoup sont assez grands pour le passage d'un homme.

Au cours de la construction d'une grande autoroute plusieurs puits et passages ont été ouverts. Le résultat était que de grandes quantités de boue passaient dans ces conduits qui alimentaient une des sources de l'alevinier. Dans un incident, plus de 150.000 truites qui venaient de naître ont été tuées par cette eau bourbeuse. Beaucoup d'autres incidents se sont produits au cours de la construction de l'autoroute. En plus de cela, le débit de la source a été réduit parce que l'eau superficielle était dirigée vers des fossés de ruissellement au lieu de s'absorber dans le sol naturellement afin de recharger l'aquifère karstique.

Le Bassin Upper Elk River

L'hydrologie de cette région a été étudiée et racontée en grand détail par Medville (1977). Cette région consiste en un terrain onduleux de 460 ou 610 m de relief. Les calcaires Greenbrier affleurent généralement dans les vallées et sur les versants inférieurs et ils recouvrent environ 15% de la superficie. Les cours d'eau subaériens dérivent souvent dans les conduits souterrains du calcaire et ils doivent ressortir près des unités moins solubles à l'intérieur de la strate (Figure 12). Deux formes distinctes du mouvement de l'eau existent dans le bassin; la forme particulière dépend du rapport entre la pente topographique et le pendage stratigraphique (Figure 13). Là où la pente topographique dépasse le pendage stratigraphique, le cours d'eau souterrain peut être marqué par un aquifère ayant un écoulement sur des couches superposées et suspendues comme dit White (1969). Ces conduits ont souvent des cours d'eau normaux qui s'écoulent vers des sources alimentées par la gravité. Là où la strate carbonate entière se trouve au-dessus du niveau de base hydrologique, le modèle général de l'écoulement est tel que celui de la Figure 13a; les puits vadoses font descendre l'eau à travers les calcaires supérieurs jusqu'à un des lits clastiques. L'écoulement est alors plus ou moins horizontal jusqu'à ce qu'il y ait une ouverture dans la roche non-carbonate soit sous la terre soit à la surface. Ce processus se répète à la base de la strate et l'écoulement subséquent a lieu à la surface. Le deuxième modèle du mouvement de l'eau se produit lorsque le pendage du calcaire dépasse le gradient topographique. L'eau est capturée quand elle arrive au calcaire et elle réapparaît en forme de source à l'élévation la plus basse de l'unité calcaire dans le lit du cours d'eau.

De nombreuses sources existent dans le bassin de l'Elk River; les plus petites d'entre elles sont d'habitude le résultat du premier des modèles hydrologiques cités ci-dessus, et les plus grandes sont le résultat du second. La source la plus grande, dans la strate la plus basse du groupe Greenbrier, jaillit en haut de la strate avec un débit minimum de 0,28 m³/s et un débit maximum d'environ 6,8 m³/s.

Le développement caverneux se base naturellement sur les modèles hydrologiques décrits ci-dessus. La majorité numérique des entrées de grotte sont les puits vadoses qui mènent aux réseaux souterrains. La région est très active du point de vue hydrologique et la plupart des passages horizontaux sont remplis d'eau. Une grotte exceptionnelle du bassin est la grotte Simmons-Mingo. Celle-ci est une grotte exceptionnellement droite, développée selon toute apparence le long d'une zone de fracture qui se voit dans les photos aériennes sous forme de linéament photographique distinct. La partie droite de la grotte s'étend pendant 3050 m du linéament.

Le développement de karst superficiel est relativement rare et il consiste en quelques dolines et des puits vadoses ouverts parsemés partout sur les versants des collines. Le lit de l'Elk River qui est sec par intervalles présente des exemples excellents de la sculpture karstique là où affleure le soubassement.

L'Alevinier Edray

L'alevinier, dirigé par l'état de la Virginie-Occidentale, se trouve au centre du Pocahontas County. Toute l'eau qui sert aux processus de l'alevinier est puisée de plusieurs sources qui jaillissent à la base du groupe Greenbrier. L'eau provient des petits cours d'eau qui se perdent sur les deux côtés de la Crête Wolfpen (Wolfpen Ridge), ligne de partage topographique à la base de laquelle se situe l'alevinier (Figure 14). L'un des exemples du transfert de l'eau d'un bassin à l'autre (topographique) par des conduits souterrains est l'eau qui se perd dans le bassin Indian Draft et qui s'écoule par une grotte jusqu'à la source dans le bassin Stoney Creek.

Une particularité intéressante du groupe de sources à l'alevinier est le groupement distinct des sources par rapport à la qualité de l'eau. Trois groupements distincts ont été identifiés (Werner, 1974a): 1) les grandes sources qui ont un moyen de 60 ppm de bicarbonate, le coefficient de variation étant de 30%; 2) les sources moyennes qui ont un moyen de 120 ppm de bicarbonate, le coefficient de variation étant de 18%; et 3) les petites sources de 195 ppm de bicarbonate, le coefficient de variation étant de 7%. La Figure 15 illustre les deux premiers exemples. D'autres caractéristiques chimiques diffèrent entre les groupements: les indices de saturation par rapport à la calcite augmentent sensiblement du groupe 1 au groupe 3; les taux de chlorure diffèrent aussi (Werner, 1977). Puisque toutes les sources ont leurs origines dans le même horizon stratigraphique et sont très proches les unes aux autres, ce sont les caractéristiques hydrologiques des réseaux d'écoulement aquatiques qui sont responsables des différences.

La différence hydrologique principale concerne la nature des conduits aquatiques. Le premier groupement mentionné ci-dessus présente de grands conduits de gradient plus ou moins uniformes sans gours. Le deuxième groupement présente des conduits avec gours. Ces deux groupements représentent des variations des sources mentionnées dans Schuster et White (1971). Le troisième groupement, par contre, est typique de la source diffuse dans Schuster et White, et ses "conduits" sont plutôt des petites fractures et ouvertures dans le plan de stratification.

Le Karst Friars Hole

Des explorations récentes dans le réseau karstique Friars Hole l'ont prolongé au point d'être la grotte la plus longue de la Virginie-Occidentale et la troisième grotte des Etats-Unis avec presque 65 kms de passage répertorié. Un rapport détaillé de la géographie de la grotte par Medville (1981) peut être trouvé dans le compte rendu (Proceedings) de ce Congrès.

Le réseau des grottes se trouve sous une région d'environ 2,4 kms sur 6,4 kms sur le côté ouest de Droop Mountain dans les Counties Greenbrier et Pocahontas (Figure 16). Le terrain consiste en des roches légèrement plissées typiques du bord est de l'Appalachian Plateau. Le groupe Greenbrier (à partir de l'Union supérieur) affleure dans la vallée occidentale de Droop Mountain, et les crêtes alentour consistent en des roches clastiques plus jeunes.

Du point de vue hydrologique, le réseau de grottes consiste en trois réseaux de drainages séparés qui se sont fortuitement intégrés dans un seul réseau karstique. En général, chacun de ces réseaux comporte un cours d'eau principal avec plusieurs affluents. Chaque cours d'eau termine en aval dans un puisard. Les huit entrées à la grotte se trouvent toutes près du haut du Calcaire Union. Six d'entre ces entrées mènent à des puits vadoses successives qui se terminent juste en-dessous du point de contact inférieur du Calcaire Union. La plupart du développement du passage se trouve à l'endroit de ou en haut du Calcaire Pickway.

Bien que la grande partie de la grotte a été récemment découverte et explorée, il y a des sections qui sont connues depuis plus d'un siècle. Du salpêtre était exploité dans le passage principal de la Grotte Snedegars pendant et après la Guerre Civile. Des dates gravées dans la pierre de la zone de l'exploitation de salpêtre qui ont été abimées par des exploitations subséquentes indiquent que l'exploitation a continué pendant les premières années du 20^{ème} siècle. Les habitants locaux visitaient cette section-là fréquemment et à la fondation du National Speleological Society cette grotte était fréquentée au cours des premières visites organisées de la Société.

Greenbrier County Karst

Au sud de la frontière entre les counties Pocahontas et Greenbrier le terrain change rapidement. La vallée calcaire s'élargit sensiblement et le rapport roches exposées carbonates/non-carbonates augmente. Le terrain commence à ressembler plus au terrain karstique typique; à la différence du terrain au nord où les dolines sont très petites et rares, nous voyons ici le développement de plaines avec des dolines. Cette différence s'est effectuée en grande partie par la structure géologique moins accidentée aussi bien que par l'élévation topographique moyenne un peu plus basse qui est le résultat de son emplacement plus en aval sur le Greenbrier River, cours d'eau principal de cette région.

L'intérêt dans l'étude du karst de Greenbrier County a été encouragé par son accès facile et du fait qu'il est la partie la plus peuplée du karst Greenbrier. On y trouve beaucoup de grottes longues et spacieuses qui attirent les spéléologues. Une étude récente de la géologie de la région a été fait par Heller (1980). Elle a répertorié le groupe Greenbrier jusqu'à son niveau de formation, mais elle n'a pas pu distinguer la formation Sinks Grove de la formation Patton donc elle les a combinées en les appelant la Formation Denmar de la même manière que Wells (1950), et elle a compris le Schiste Greenville dans le Calcaire Alderson. Les conditions de dépôt dans cette région du bassin étaient apparemment plus stables en rendant la différenciation de quelques unes des formations plus difficile qu'au nord ou au sud.

Les longues grottes se trouvent généralement près des limites de l'affleurement calcaire car c'est ici où l'eau atteint le calcaire sous forme de cours d'eau concentrés. Il y a une série de grottes en particulier qui sont développées à la limite occidentale où les cours d'eau qui s'écoulent vers le nord-ouest sur les roches Maccrady sous-jacentes atteignent le fond du calcaire et se perdent dans les "grottes de contact" qui reçoivent leur nom du fait qu'elles sont principalement développées au long du point de contact entre les groupes Greenbrier et Maccrady. Après que ces cours d'eau se perdent, l'eau s'écoule soit vers le nord-est soit vers le sud-ouest, dans la direction du filon, jusqu'aux sources de Spring Creek ou de Greenbrier River (voir la Figure 17 pour les endroits exacts). L'étude hydrologique de Jones (1973) a montré que la plupart de la région (191 km² des 351 km² totaux) draine vers une source sur le Greenbrier River--la source Davis qui est la première source de la Virginie-Occidentale. D'autres bassins ont été tracés, les conduits de drainage d'un bassin passant parfois sur ou sous les conduits de drainage des autres bassins sans être interconnectés (Figure 18).

Jones (1973) travaillait beaucoup avec le système d'écoulement intégré qui comprend les cours d'eau subaériens et les conduits souterrains. L'étude de Heller (1980) sur la nappe d'eau souterraine était concernée plutôt avec les aquifères à l'intérieur des calcaires, qui consistent en plans de stratification et en petites fractures (élargies probablement par la karstification), et que celles-ci se trouvaient principalement au-dessus de zones moins solubles. Les données sur la qualité de l'eau et d'autres données hydrologiques indiquent que ces aquifères ne sont que faiblement connectés avec les réseaux de conduits. C'est comparable avec le rapport entre les cours d'eau subaériens et les aquifères du terrain clastique typique.

Le développement karstique dans le karst du Greenbrier County est important. Presque tous les affleurements calcaires en sont témoins. Des dolines se trouvent par toutes les régions topographiquement plus élevées et qui sont des plaines avec des dolines typiques bien qu'elles soient de dimensions réduites et il y a plusieurs vallées karstiques (en fait, des ouvalas); quelques unes de ces vallées sont très grandes. Les grottes y sont abondantes; on estime le nombre de grottes découvertes et explorées à 500 ou 1000. On a répertorié au moins 160 kms de passages dans cette région.

Le Karst de Monroe County

Monroe County se trouve au sud de Greenbrier County. Le développement karstique ici ressemble beaucoup à celui du Greenbrier County, mais il y a des différences importantes. Ces différences semblent être dues à une différence fondamentale dans la structure géologique. Le Monroe County est un bassin structural d'un relief minimum mais qui est assez important à réduire le gradient hydraulique dans la strate calcaire. Ceci a un peu ralenti le développement karstique.

On voit un certain développement de dolines à la surface; cependant il y a peu de vallées karstiques comme celles qu'on voit souvent dans le Greenbrier County, ni de très grandes dolines. Le développement de la surface est vieux mais pas aussi intense que celui du Greenbrier County. Le développement superficiel le plus complète se trouve sur le Calcaire Union. En haut de l'Union beaucoup de puits vadoses s'ouvrent à la surface. Le développement caverneux est le plus important dans le Calcaire Union et aussi dans les grottes plus importantes de cette formation. A la différence du groupe Greenbrier, on ne trouve pas de grandes grottes dans le Calcaire Hillsdale dans le Monroe County (Hempel, 1975).

Dans les premiers temps, le groupe Greenbrier était décrit à partir de plusieurs endroits dans le Monroe County (Reger, 1926). Ensuite, Ogden (1976) a répertorié la région d'affleurement jusqu'au niveau formationnel. Il a pu identifier huit formations correspondant à celles de la Figure 10, mais il a compris le Schiste Greenville dans le Calcaire Alderson parce que le Greenville n'est qu'en forme de lentilles et ne constitue pas une formation unifiée. Plusieurs arrangements linéaires de dolines dans le Monroe County ont été identifiés comme des linéaments de fracture. Il y en a un en particulier, le Linéament Monitor (Werner, 1974 b, Figure 3), qui est le linéament photographique le plus prononcé de toute la région. Ce linéament est composé d'un arrangement linéaire de dolines (les plus profondes du comté) long de 8 kms et il continue jusque dans le terrain clastique sous forme de segments fluviaux alignés. D'autres linéaments photographiques moins prononcés se trouvent ici et là à travers le county.

Une particularité du Monroe County est la présence des sources minérales par endroits. Autrefois, un de ces endroits, Salt Sulphur Springs (la Source Sulphureuse salée), a été exploité comme station touristique mais elle n'est plus en activité. La source est probablement alimentée par des eaux circulantes très profondes comme indique la haute concentration de sulfate et de chlorure et la présence d'ions peu communs comme par exemple l'iodure. A présent il y a peu de ou pas de débit de cette source.

L'est du Kentucky

Des roches du même âge que celles du groupe Greenbrier se trouvent à la limite ouest de la province Appalachian Plateaus dans l'est du Kentucky. Cependant les dépôts se sont faits sur une plate-forme relativement stable de fait que les dépôts mérameciens et chesteriens n'ont donné que 18 m de roches, calcaires du groupe Newman (Figure 19). A l'endroit de l'affleurement de ces roches elles suivent un pendage aval et uniforme vers l'est. L'affleurement dans cette région est très étroit (< 3 kms).

Les Grottes Carter

L'état de Kentucky a établi un parc dans le nord central du Carter County; ce parc comprend de nombreuses grottes, y comprises les grottes Carter et Cascade (McGrain, 1954). La grotte Carter a développé à l'endroit de ou près du point de contact des Calcaires St. Louis et Ste. Geneviève. Elles ont commencé dans le St. Louis en s'élargissant vers le haut à cause de l'affaissement des couches entrecroisées du Ste. Geneviève. La Grotte Cascade semble être développée entièrement dans le Calcaire Ste. Geneviève.

Références.....28-30

