瓦尔河冲积平原（Var alluvial plain）是由法国南部阿尔卑斯地区最长的河流（Var，瓦尔河）冲积形成。瓦尔河的平均宽度达到了 1.2 公里，在阿尔卑斯山和地中海之间，形成了宽达 110 公里的瓦尔河冲积平原。在瓦尔河冲积平原地区，由于其复杂多变的环境，造成了一系列的环境问题，比如河口地区生物多样性的保护，地区的可持续性发展等。事实上，这一蔚蓝海岸(Cote d 'Azur）地区正在经历一系列的发展。现在，我们通过照片以及你所拥有的知识，来了解这一地区的环境复杂性。

图 1：（A）瓦尔河冲积平原；

（B）1994 年瓦尔河大洪水场景；

（C）瓦尔河河谷的农业生产；

（D）和（E）瓦尔河冲积平原被保护的生态环境；

（F）用于防洪目的所建立的大坝；

（G）瓦尔河冲积平原的工业活动。

Section 1：瓦尔河谷的岩石特征

瓦尔河下游河谷乍看上去是由相对均一的岩石类型组成。但近距离观察发现，这一地区存在着多种类型的岩石，反映了复杂了地质历史。下面的照片给大家展示了这些不同的类型。

图 2：瓦尔河谷地区主要的岩石类型。

图中部分词汇：B 处 Plagioclase—长石，Amphibole—角闪石；

C：Panoramic view from the top of the cliff（悬崖顶上岩石的近照）。

Question 1：图 2 所示的五种岩石可以分别用如下哪条叙述来准确的描述（注意每张照片只有一个正确答案，而以下叙述中有一些并不对应于照片中的岩石）

1. 河流沉积物，显示了沉积物搬运和沉积过程，但沉积物并没有固结成岩。
2. 变质岩，体现出明显的构造变形
3. 浊流沉积，显示出粒序层理
4. 形成于大陆斜坡底部的角砾岩，具体体现为由没有分选的，具棱角的砾石组成。
5. 火山角砾岩，由细粒基质和细的岩屑组成
6. 未固结的泥岩/黏土沉积，成分均一
7. 砾岩，由完全固结的砾石组成
8. 花岗岩类岩石，体现为均一块状结构
9. 固结的沉积岩

Question 2：图 2 所示的岩石分别形成于哪种地质过程（注意每张照片对应一个正确答案，而以下描述中有一些并不对应于任何一张照片）

1. 陆相沉积，沉积物没有被搬运
2. 风成沉积
3. 火山物质沉积
4. 陆相沉积，沉积物经过搬运沉积后，固结成岩
5. 陆相沉积，沉积物经过远距离搬运
6. 浅海沉积（2000 米以内的水深）
7. 细粒沉积物在安静水体中沉积

图 3：瓦尔河谷中的砾岩中砾石的结构和组成

Question 3：如**图 3** 所示的砾石分别可以用如下哪条叙述来描述（注意每张照片对应一个正确答案）

1. 安山岩（火山岩）
2. 花岗岩，其中的矿物可以用肉眼来识别
3. 变质岩（比如片麻岩），其中的不同颜色的矿物呈带状分布，并体现出显著地变形特征
4. 固结的岩石由 1mm 左右的颗粒组成。由于它们呈现为红色，因此称之为红色砂岩
5. 结构均一的岩石，其矿物成分无法用肉眼来识别
6. 具有片理构造的变质岩

图 4：瓦尔河流域的岩石分布图。图 3 所显示的砾石的采集地由红色的五角星表示。

图中部分词汇翻译：Sedimentary rock—沉积岩；　　Conglomerate—砾岩；

sandstone—砂岩；　Marl—马尔岩（即含泥质碳酸盐岩，碳酸盐含量小于 50%）；

Limestone—灰岩；　Evaporite—蒸发岩；　　Red Sandstone—红色砂岩；

Igneous rock：火成岩；　　Gneiss—片麻岩；Granite—花岗岩；

Volcanic rock—火山岩

Question 4：利用**图 4**，我们可以估计**图 3** 所示的两个砾石所对应的搬运最小距离为（单选）：

1. 砾石 A：80 千米；砾石 B：200 千米
2. 砾石 A：35 千米；砾石 B：35 千米
3. 砾石 A：30 千米；砾石 B：15 千米
4. 砾石 A：80 千米；砾石 B：80 千米

第二部分：瓦尔河谷地的水文地质，地下储水层的演变

尼斯市及其周边地区从当地的储水层中抽取了大量的地下水用于居民生活,同时这些储水层在历史上也为当地的农业发展提供了灌溉用水。

图 5 瓦尔河冲积平原地质略图，主要显示了该地区主要的地质特征（后面有更详细的剖面）。图上用:

红圈（Piezometer; P1-P20）标注了地下水水位测量站的位置；

黑圈标注（area of pebble extraction）河床砾石采集区域；

红色虚线圈指示了人工注水区域（artificial recharge area）；

黑色短线代表了水坝（Dam）；河床两岸的黑色虚线代表了河岸（Embankments）。

褐色区域代表了第四纪沉积（主要由淤积层和坡麓堆积构成；Quaternary）；

橙色区域代表新第三纪（主要由砾岩和泥质灰岩构成，Neogene）；

绿色区域代表中生代沉积（主要由灰岩，泥质灰岩和蒸发岩构成，Mesozoic）；

紫色区域代表城镇化地区（High Urbanization）。

图 6 地质剖面图（剖面 A-A’和 B-B’标注在图上）图标：

Quaternary：第四纪；

Unconsolidated deposits of pebbles and sands: 由砾石和沙构成的未固结沉积物；

Neogene：新第三纪；

Conglomerate：砾岩；

Shale：页岩；

Blue Marl：蓝色泥质灰岩（马尔岩）；

Mesozoic：中生代；

Marls：马尔岩；

dolomitic limestone：白云质灰岩；

Evaporite（halite，gypsum）：蒸发岩（石盐，石膏）。

红线代表断层（fault），黑线代表剖面位置（Location of sections on the map）。

图 7 瓦尔河谷地的地下水位的深度（A）和降雨量（B）数据。

A 图的纵坐标代表地下水水位（water table level）；

B 图中的黑柱代表了降雨量（rainfall）；

P 代表了采集数据的水位站；

Upstram：上游；Intermediate：中游；Downstream：下游。

Question 5: 以下哪些岩石可以作为优质储水层？储水层是可以含水并且水可以在其中发生运移的介质（多选题）。

1- 粘土和灰岩，因为它们是不渗透的。

2- 砾岩和灰岩，因为它们是可渗透的。

3- 砾岩和粘土，因为它们是不渗透的。

4- 砂岩和灰岩，因为它们是可渗透的。

5- 粘土和灰岩，因为它们是可渗透的。

6- 粘土和砾岩，因为它们是可渗透的。

Question 6：以下哪种岩石可以有效的阻止地下水的迁移？（单选）

1- 粘土，因为它是可渗透的。

2- 砾岩，因为它是可渗透的。

3- 灰岩，因为它是可渗透的。

4- 粘土，因为它是不渗透的。

5- 灰岩，因为它是不渗透的。

6- 砾岩，因为它是不渗透的。

图 8 瓦尔河谷地低水位期间（A）和洪水期（B）的河流横剖面

question 7：图 7 中给出了地下水水位数据以及数据采集的水位站位置（P2，P13，P20）。地下水水位与储水层中的含水量有关。这些储水层主要是由什么岩性构成的（单选题）？

1- 蒸发岩类。

2- 灰岩。

3- 砾岩。

4- 洪积冲积物。

question 8：根据图 7 所示，关于时间段 X 的相关叙述正确的是（多选题）

1- 地下水位上升。

2- 上中下游地区的地下水位上升的速度是相同的。

3- 地下水位下降。

4- 上游地区的地下水位的上升幅度比下游小。

5- 上游地区的地下水位的下降幅度比下游小。

6- 地下水位的高程变化是随着 3 小时内超过 100㎜ 降雨量而变化的。

7- 地下水位的高程变化是随着 10 天内超过 100㎜ 降雨量而变化的。

8- 地下水位的高程变化是随着 10 天内超过 30㎜ 降雨量而变化的。

9- 地下水位的高程变化是随着 3 小时内超过 30㎜ 降雨量而变化的。

question 9：根据图 7 所示，关于时间段 Y 的相关叙述正确的是（单选题）

1- 五月份降雨使地下水位上升。

2- 五月份降雨使地下水位下降。

3- 降雪导致地下水位下降。

4- 融雪导致地下水位上升。

5- 降雪导致地下水位上升。

瓦尔河谷中不同储水层之间的接触并不是连续的，从图 6 所示的中上下游的剖面可以看出，新第三纪的页岩层是否可以分隔两个储水层取决于河流的水位。在低水位期间（图 8A），砾岩储水层被页岩分开，因此河流失去了对储水层的补给能力；而在洪水期（图 8B），河流为砾岩储水层提供了地下水。

question 10：根据**图 7** 和**图 8** 所示，关于时间段 Z 的相关叙述正确的是（多选题）

1- 干旱造成了上游地区地下水位比起其他地方低。

2- 上游地区地下水位比起其他地方低的原因是，瓦尔河谷不能再提供地下水的补给，因为瓦尔河的水位高程已经很低。

3- 上游地区地下水位比起其他地方低的原因是，瓦尔河谷不能再提供地下水的补给，因为瓦尔河与砾岩已经被粘土层分割开来。

4- 上游地区地下水位比起其他地方低的原因是，不再进行人工回注。

5- 上游地区地下水位低与季节性干旱有关。

question 11: 1973 年，在下游和中游之间（P13 和 P20 之间）的地区挖掘了 2700000 吨砾石，这些砾石的体积应该是多少？（砾石的密度：2000kgm^{-3}）（单选题）

1- $1.35x10^{9}$ m^3　　5- $0.74x10^{9}$ m^3　　9- $0.74x10^{-9}$ m^3

2- $1.35x10^{9}$ kg　　6- $0.74x10^{9}$ kg　　10- $0.74x10^{-9}$ kg

3- $1.35x10^{6}$ m^3　　7- $0.74x10^{6}$ m^3　　11- $0.74x10^{-6}$ m^3

4- $1.35x10^{6}$ kg　　8- $0.74x10^{6}$ kg　　12- $0.74x10^{-6}$ kg

question 12: 在一年的时间内（图 7），在 P2 和 P13 水位站所采集的地下水位数据显示：（单选题）

1- 上升了 1 米。

2- 没有变化。

3- 下降了 1 米。

4- 上升 0.1 米

5- 下降 0.1 米

question 13：在未来的五年中，地下水位的变化预计会发生持续的变化（见 **question 12**）。造成这一变化的原因是由于对河床中砾石的开采。开采砾石将会导致：（单选题）

1- 减小了水库的容量。

2- 改变了河床的坡度，因此加快了水流速度，使得留在储水层中的水量减少。

3- 改变了河床的坡度，将导致上游河床的侵蚀。

4- 破坏了储水层，使得其所含地下水逃逸到周边的土地中。

question 14：根据表 1，地下水位变化将会导致：（多选题）

1- 地下水受到污染，因为地下水位降低，但地下水的体积保持不变。

2- 地下水的开采更加困难。

3- 储水层中所储存的水量下降。

4- 深部地下水流速度加快，所以更难抽取。

表 1 P20 水位站采集的 1970 年 1 月到 1973 年 12 月的地下水水位高程（单位：米）数据。这一时期，在该地区修建了一个大坝（参考前面的图）

question 15：下面哪些方案可以减缓地下水水位下降的趋势（多选题）

1- 在河床两岸修建两道堤坝。

2- 在上游地区进行人工注入地下水。

3- 全面禁止砾石的抽取。

4- 在水道上修筑一些大坝。

5- 挖掘更深的井。

第三部分 瓦尔河谷及周边区域的地震背景

图 9：1980 年 1 月至 2012 年 3 月间，瓦尔河谷及周边地区地震分布图（地震仪记录到的地震震中位置）和瓦尔河谷下游地区（试题所涉及的区域）的放大图。地震震源深度都不超过 30km。白色圆圈大小代表了不同的地震震级。

图 10：历史地震活动性图（在使用地震仪之前，根据目击者叙述和地震破坏观测所评估的地震时的地面运动所估计的地震震中位置）：公元 1494 年地震（最大烈度 VIII）的宏观震中，公元 1564 年地震（最大烈度 VIII）的宏观震中，公元 1618 年地震（最大烈度 VII-VIII）的宏观震中，公元 1854 年地震（最大烈度 •VII-VIII）和公元 1887 年地震（最大烈度 IX）的宏观震中。

图 11：（A）宏观地震烈度表（根据目击者叙述和破坏观测所估计的地面运动）。

（B）地壳地震（震源深度 0-30km）震级和宏观烈度之间的大致对应关系。

I．少数人在特别适合的条件下才能感觉到。

II．只有少数静止中的人，特别是在楼房高层的人，才能感觉到。

III．室内的人，特别是在楼房高层的人，能明显感觉到。很多人意识到是地震。

IV.若处于白天，室内许多人能感觉到，室外少数人也能感觉到。若处于夜晚，有些人会被惊醒。盘子、门窗会有响动；墙壁会有类似开裂的声音。感觉像重型卡车撞击建筑物。

V．几乎所有人都能感觉到；许多人惊醒。有些盘子、窗户会破碎。不稳定物体会翻倒。钟摆停止拍动。

VI.所有人都能感觉到，许多人受到惊吓。一些较重的家具会移位；少许墙灰会掉落。毁坏轻微。

VII．特别安全设计的建筑物几乎没有损坏；结构较为坚固的普通建筑物有轻微到中等损坏；施工或设计不佳的建筑物破坏严重；有些烟囱折断。

VIII．特别安全设计的建筑物有轻微损坏；普通安全设计和建造的建筑物损坏严重，部分倒塌；简陋建筑物损坏极为严重；烟囱、柱子、纪念碑和墙壁倒塌；重家具翻倒。

IX.特别安全设计的建筑物损坏也较为严重;停电;普通安全设计和建造的建筑物损坏非常严重，部分倒塌。建筑物从地基上移位。

X．一些高质量的木结构房屋被摧毁；大多有地基的砖混和框架结构房屋被摧毁；铁轨弯曲。

XI．几乎没有建筑物可以保持完整，仅有极少数砖混结构建筑物可幸存；桥梁毁坏；铁轨严重弯曲变形。

XII．完全毁坏。地形地貌改观。

图 12：公元 1854 年地震（A）和公元 1887 年（B）地震后绘制的等震线图。相同颜色的涂色区域表示地震烈度相同的地区。黑色箭头表示瓦尔河谷地区。

图 13：（A）未经过后期改造的断层面。照片拍摄地点位于图 13 中所标示的地震震中附近。（B）露头上能够观察到的断层运动学证据及解释图。
（图上的文字：strike：走向；dip：倾向；erosion：侵蚀；calcite：方解石；clast：碎屑颗粒）

Question 16：根据**图 9**，地震仪所记录的地震活动性显示了（多选题）：
1- 震级大于 7 的地震。
2- 每年只有发生几次地震。
3- 震级小于 5 的地震。
4- 地震发生的频率很高（每年震级大于 3 的地震次数大于 10 次）。

Question 17：根据**图 9，**地震活动性的空间分布特点是（多选）：
1- 发散（无规律）。
2- 沿着一条或多条断层排列。
3- 主要集中在海上。
4- 主要位于陆上。
5- 以震源深度浅为特征。

Question 18：在 1980-2012 年期间（图 9），瓦尔河谷的地震活动频率_____区域的平均地震活动率。
1- 高于。
2- 相当于。
3- 低于。

Question 19：从历史目击者叙述和历史记载中寻找古代地震的线索：（多选题）
1- 一些历史地震导致了建筑物的破坏。
2- 在这一区域，没有地震造成人员伤害和有形的损坏。
3- 历史地震的最大震级与 1980-2012 年期间地震仪记录地震的震级相同。
4- 历史地震的最大震级大于 6。
5- 没有历史地震影响到瓦尔河谷。
6- 所有历史记载地震的震级都大于 1980-2012 年期间仪器记录的地震震级。

Question 20：根据上述资料，下面描述最为准确的是：

1- 瓦尔河谷的地震危险性尚没有高到足以使用建筑抗震标准的程度。

2- 瓦尔河谷确实具有地震危险性。必须采用建筑抗震标准。

3- 确实具有地震危险性。必须采用能保证建筑物经受地震烈度大约 XII 度的建筑抗震标准。

图 14：表明在最近一次地震中沿着断层相对运动的瓦尔河谷的构造图（分区涂色的圆圈。内部的两条线代表没有观察到的假设断层的方向-箭头表示和每条断层相关的相对运动）。图例：A-结晶基岩，B-中生代沉积盖层，C-上新世至第四纪沉积物。

考虑**图 14** 所描述的地震事件的记录数据，发震断层的一些不确定性仍然存在。2 种可能性：沿着 NW-SE 走向断层的右旋位移或者沿着 NE-SW 走向断层的左旋位移。

Question 21：参考所有图件信息，下列哪条描述能够使你有理由相信瓦尔河谷存在一条断层（多选题）：

1- 在使用地震仪前的历史地震活动性。

2- 仪器记录的地震活动性。

3- 地面观测到的资料（前面描述的断层面）。

4- 瓦尔河谷及周边的地形（山脉、峡谷、小河谷）。

5- 河道形态。

Question 22：参考所有图件信息，下列哪条描述能够使你有理由相信瓦尔河谷存在一条活动断层的选项（单选题）：

1- 历史地震活动性。

2- 仪器记录的地震活动性。

3- 地面观测到的资料（前面描述的断层面）。

4- 瓦尔河谷及周边的地形（山脉、峡谷、小河谷）。

5- 河道形态。

Question 23：参考所有图件信息，下列哪条描述能够使你有理由相信瓦尔河谷存在一条走向大致为西南-东北的断层的选项（多选题）：

1. 历史地震活动性。
2. 仪器记录的地震活动性。
3. 地面观测到的资料（前面描述的断层镜面）。
4. 瓦尔河谷及周边的地形（山脉、峡谷、小河谷）。
5. 河道形态。

Question 24：参考所有图件信息，下列哪条描述能够使你有理由相信瓦尔河谷存在一条走向大致为东南-西北的断层的选项（多选题）：

1- 历史地震活动性。

2- 仪器记录的地震活动性。

3- 地面观测到的资料（前面描述的断层镜面）。

4- 瓦尔河谷及周边的地形（山脉、峡谷、小河谷）。

6- 河道。

Question 25：从下面的四幅图中选择最可能的断层迹线。

对档案和野外调查资料的研究揭示了该地区在管理中需要考虑的额外地震危险性。了解这一地质灾害的原因有助于人们更好地描述它的特点。我们对影响瓦尔河谷的地球动力学背景感兴趣。

第四部分：竞赛区内近现代的地球动力学特征

下图是瓦尔河冲积平原附近区域的构造纲要图，部分问题在之前的章节中已有涉及。

图 15：(A)Nice 附近南阿尔卑斯地区的构造纲要图，图中所示中英文均为法国地名；
(C)为逆冲断层的三维模型，（B）为该模型所描述的逆冲断层，在地质图上的平面表达。

Question 26：通常来说，如果一个褶皱的轴向为 NE-SW（东北-西南）方向，那么它可能受挤压而缩短方向为（单选题）：

1. NE-SW
2. SSE-NNW
3. NW-SE
4. ESE-WNW

Question 27：由**图 15** 来看，图中的构造现象可指示（多选题）：

1 该区域处于拉张环境
2 该区域处于挤压环境
3 单一挤压方向，为 N-S 向
4 两个挤压方向，分别为 N-S 和 NE-SW 向

构造作用使一些特征地质体发生了运动，使其出现在一些令人意想不到的地方。下面让我们来关注一座名为 Huesti（胡思蒂）的山。

图 16：(A) 南阿尔卑斯瓦尔河谷北部的全景照片（B）Huesti 山(海拔 1167 米)的全景照片（C）Huesti 山的地质图，粗黑线指示照片 B 的方向，颜色指示不同时期的地层：蓝色-侏罗系，绿色-白垩系，橙色(图中 p)-上新统，黄色-第四系(地表滑坡) （D）峡谷的素描图

Question 28，下图中 X，Y，Z 所对应的地质构造单元分别形成于什么时期？请将下列地质年代与之对应，J 表示侏罗纪，C 表示白垩纪，P 表示上新世，Q 表示第四纪。

Question 29：上新世砾岩可能沉积并固结于什么样的环境？（单选题）

1. 远离大陆的深海盆地环境
2. 接近河口的河流相环境
3. 远离河流的高山环境
4. 远离河口的海岸环境

Question 30：从图中可以看出，导致 Huesti 山(1167m 海拔)抬升的构造事件可能发生于（多选题）

1 中-上新世

2 侏罗纪-白垩纪交界

3 白垩纪至上新世

4 上新世之后

这种构造被称为逆冲断层，即是指一个块体水平方向受力，被推覆至另一块体之上的现象。在逆冲推覆过程中，断层面上往往会有蒸发岩等作为“润滑剂”（如该区域中的三叠系地层中的岩石）

Question 31：观察下图，选择可能与 Huesti 山形成有关的逆冲断层（图中 1-4 号）

注释：t_3为三叠系岩石（蒸发岩）；$j_{1\text{-}2\text{-}6\text{-}7\text{-}8\text{-}9}$为侏罗系岩石（灰岩）；$n_{1\text{-}3\text{-}4\text{-}6}$和 c_1为白垩系岩石（泥灰岩和灰岩）；p_2为上新统岩石（砾岩）；B，E 和 $F_{x\text{-}z}$为第四纪未固结沉积。

Question 32：利用之前的所有信息，选择最能解释 Huesti 山形成的情景序列

图：上新世（Pliocene）/白垩系（Cretaceous）/上侏罗系（Upper Jurassic）/中下侏罗系（Lower and mid Jurassic）/三叠系（Triassic）：地质图中地层正常的沉积序列

情景 1：1 侵蚀，沉积 2 褶皱，侵蚀 3 推覆断层

情景 2：1 褶皱 2 侵蚀，沉积 3 推覆断层

情景 3：1 推覆断层 2 褶皱，侵蚀 3 褶皱，沉积

这一区域遭受挤压应变，地壳被缩短。因此可被认为是受到压应变。非洲和欧亚板块汇聚，使得南阿尔卑斯抬升。但是这个简化地质图中火山岩的露头讲述了完全不同的过程。我们首先关心西地中海现今的地质状况。

图 17：(A) 西地中海地区的卫星影像，左下角放大区域为图中红色箭头所标记的西西里岛。(B) 为根据 A 图中，沿 A-A’连线方向所示切面在不同深度下的 P 波波速异常，所做的层析成像示意图，图的上部指示了不同时间发生的岩浆作用事件。

Question 33：层析成像图（B 图）中利用不同颜色表示了（多选题）

1 地表以下不同深度不同化学物质的运动

2 镁铁质岩石（mafic）/长英质（felsic）岩石的深度

3 地球内部波速异常

4 全熔岩石的深度

5 地震波波速变化反映的温度与/或密度变化

6 变质岩中矿物晶体的排列方向的差异

Question 34：从图 17 可以看出，层析成像的结果表明了地中海地区存在板块俯冲现象。层析成像结果为俯冲提供的证据是：（单选题）

1 从 Calabria（意大利南部）开始向 NW 方向延伸至地核-地幔边界的蓝色长型区域

2 并没有根据，图中蓝色和红色异常区域之间没有明显的逻辑联系

3 图示大洋岩石圈板块向 NW（北西）推覆，并延伸至岩石圈-软流圈边界

4 来自地表的冷物质向上地幔-下地幔边界俯冲

Question 35：图 17 指示了（单选题）

1 两个俯冲前缘，其中一个位于 Gulf of Lion 和 Sardinia 之间

2 一个俯冲带，其俯冲前缘位于 Gulf of Lion 和 Sardinia 之间

3 一个俯冲带，其俯冲前缘位于 Sardinia 和 Calabria(意大利南部)之间

4 一个俯冲带，其俯冲前缘位于 Calabria（意大利南部）东部

Question 36：参考已知的俯冲带模型，该层析成像的结果同当今活跃在____区域内的火山作用相符（单选题）

1 法国东南部

2 法国东南部至西西里

3 两个大陆碰撞所形成的阿尔卑斯山脉

4 西西里

为了验证一个新的关于俯冲带的假想，Claudi Faccenna 构建了一个独特的类比模型。在这个模型中他想检验：

- 俯冲是否可以在没有板块汇聚作用的情况下发生
- 这种没有汇聚作用俯冲如果存在，能否用于解释发生在西地中海地区的俯冲现象

为此，他在水槽中先后倒了两种不同密度糖浆(密度由加入不同浓度的葡萄糖控制，glucose syrup and enriched glucose syrup)， 然后在液体表面放置了一块可以发生塑性变形的硅胶层（Silicon layer)，他连续拍摄的图 18 中 I 至 V 的照片，以观察硅胶层的变形过程。

图 18：Claudio Faccenna(罗马大学，2013)的实验结果，模拟没有板块汇聚挤压作用下的板块俯冲现象。I 至 V 是实验过程中连续拍摄的照片。

Question 37：图 18 中的两种糖浆和一个硅胶层分别代表了一种地质单元：silicon layer（x)，glucose syrup（y)， enriched glucose syrup（z)。这三种地质单元分别对应的是？（一个单元对应一个答案）

1 大陆岩石圈

2 大洋岩石圈

3 大陆壳

4 软流圈地幔

5 下地幔

6 核幔边界

7 岩石圈地幔

Question 38： 在上述建模过程中，研究者必须控制模型的一些关键变量参数，下列所列的参数中研究者可以控制的有（多选题）

1 俯冲板片和下覆地幔的密度差

2 地幔的黏度

3 地温梯度

4 板块汇聚速度

5 上地幔中的流体对流

Question 39 发生在地中海中的俯冲过程与模型所模拟（图 18）的结果类似类似，他们的相似点在于？（单选题）

1 俯冲板片（硅胶层）稳定到一个密度变化界面，这是这一俯冲过程所特有的观测现象

2 模型中俯冲前缘的移动，与实际岩浆作用发生的位置变化一致

3 模型中俯冲板片（硅胶层）的俯冲角度与层析成像观测和模型计算得到的角度一致，这一角度正是由于缺乏板片汇聚作用下的俯冲作用所形成。

Question 40：根据已知的信息和你自己的知识，西地中海地质演化过程中所发生事件的正确时间顺序为（单选题）

1 a/d/f/g

2 a/d/e/c

3 a/d/f/c

4 a/b/e/g

Question 41：我们可以预测 Nice 和瓦尔河平原可能面临____（单选题）（虽然此题不算分，但请回答这个问题）

1 火山爆发高风险

2 火山爆发中等风险

3 火山爆发低风险

4 无火山爆发风险

第一部分：理解大气圈和水圈之间的相互作用：一项体育比赛

“Vendee Globe”是一项单人无动力帆船比赛。比赛从法国的 Vendee 出发，目标是尽可能快地环游世界。比赛的起点和终点都是在 Sables d'Olonnes（**图 1A 中可见；图 1B 中 A 点**）。这项比赛在 2016 年 11 月 6 日开始，Armel Le Cleac'h 在不间断航行 74 天后最终夺得了冠军，这个成绩创造了新记录。

图 1： （A）“Vendee Globe”环球航行的路线图；

（B）北大西洋大气压图。

Question 1：帆船的航行应最大限度地利用风。根据你对不同气团周围风向的认知，选出帆船赛选手出发后到达佛得角（Cape Verde Islands，**图 1B 中的 E 点**）的最快路径。图 1B 中所示海平面气压可维持一周。（单选题）

1-路径 AKGE

2-路径 AKBE

3-路径 AKDE

4-路径 AMPCHE

Question 2：在同一时间（利用**图 1** 的气压图），一名选手决定从 R 点（Rabat）去 Y 点（New York），下列哪条路径最快？（单选题）

1 RGDHY

2 RBDCY

3 RGDPY

4 RKDHY

下图显示了比赛进行 10 天后选手们的大致位置。其中一组选手的帆船（图 2A 中圆圈处）似乎已经落后，他们正在以 2.5 节（knots，1 knot 约等于不到 2km/h）的速度缓慢前进。

图 2：（A）大气压等值线图（相邻等值线代表 3 hPa 的气压差）；

（B）海洋表面温度分布图，单位为摄氏度；

（C）海洋盐度分布图，单位为 g/L。

Question 3：下面哪个选项最好地解释了选手们此时被迫缓慢前进？（单选题）

1 海温高阻碍了风的形成
2 选手正穿越一个逆风带
3 海水盐度高，因此较高的粘度减慢了船速
4 选手正穿越一个极弱风带

Question 4：参考**图 2C**，热带内有一个与周围平均盐度不同的区域（绿色区域），形成这一区域的最可能原因是：（单选题）

1 来自周边陆地大河的淡水输入降低了海水盐度
2 在热带存在反气旋带，气温较低，因此蒸发作用较弱
3 ITCZ 中降水更为强烈，强降水降低了海水盐度
4 ITCZ 附近的强风产生海水上翻，把深层盐度较低的海水带到海洋表面

避开静风区是所有选手的当务之急。IESO2017 号帆船的船长 Kito de Pavant 同志，就已在如图所示位置被困好几天了。

图 3：（A）Kito de Pavant（蓝色箭头）以及其他选手在 2016 年 12 月 2 日的航线图。图中的方框展示了过去 24 小时内速度的变化，距离用海里来计算（nm），1 nm =1.85 km。

（B）2016 年 12 月 12 日比赛海域的大气压等值图（等值线间距为 3 hPa。

Question 5：下面关于 Kito de Pavant 在该地区所遭遇的困境描述正确的是：（单选题）

1 他的帆船正处于弱风的大气下沉区中心
2 他的帆船正处于弱风的反气旋（顺时针吹，左手螺旋，称为反气旋）中心
3 他的帆船正处于一个浅槽控制下的大气下沉区中心，（大气条件）作用于海表阻碍了船的移动

Question 6：在南半球，有关围绕反气旋的风描述正确的是：（多选题）

1 顺时针旋转
2 逆时针旋转
3 越靠近反气旋中心风越强
4 越靠近反气旋中心风越弱

2016 年 12 月 26 日，当穿越德雷克海峡（南美最南端的合恩角以南）时，海洋局监测到德雷克海峡剖面（从南美最南端到南极半岛最北端的连线的剖面）上各深度的温度和盐度，如**图 4** 所示。

图 4：海水温度（A）和盐度（B）随海水深度变化的剖面图。横坐标代表了从从合恩角（南美洲）到南极半岛最北端的联系的剖面。

Question 7：从**图 4** 中，我们可以发现：在 62.5°W 处：（单选题）

1 在所有的深度上，温度和盐度的梯度都正常
2 至少在某一深度存在温度梯度异常
3 至少在某一深度存在盐度梯度异常
4 温度和盐度的梯度都不正常

图 5： 2016 年 8 月到 2017 年 1 月间，不同时间点的海水温度随深度变化图。横坐标代表了从北往南的纬度（与图 4 相同）。

Question 8：关于**图 4** 和**图 5** 的表述正确的是：（多选题）

1 2016 年 8 月，3000 米处的海水温度比海表温度低
2 2016 年 8 月，南极沿岸的冰山（海表大型浮冰）在剖面中到达了 64.5°W
3 2017 年 1 月，冰山（海表大型浮冰）密度加大，并因此沉入水中
4 海洋最下层由低温且高盐的海水构成，因为它们的密度更大

当途径纳米比亚（Namibia）沿岸时，选手们遇到大量的渔船正驶向非洲海岸。在这一区域确实有大量的鱼群存在。

图 6：（A）风速分布图；
（B）年平均海水温度图；
（C）海水中所含叶绿素（Chlorophyll A）的浓度。
数据来自纳米比亚的 Plateau 地区。

Question 9：关于**图 6**，如下表述正确的是：（多选题）

1 Namibia 近岸的海水温度比远岸处高
2 导致 Namibia 沿岸海水温度异常的原因是由于上升洋流（海水从深部上翻到表层）。
3 海水上翻的驱动力是海洋深层和浅层的温度差异
4 海水上翻的驱动力是作用在海表的风应力
5 温暖的海水导致较高的初级生产力，使得食物链（营养链）结构复杂，进而促进鱼的产量大
6 较高的初级生产力与营养物质浓度升高有关，进而维持了复杂的食物链结构（营养链）

Question 10：纳米比亚-安哥拉附近的大陆架地区，因其丰富的油气资源（石油、天然气水合物）而著名。这里的自然地理、气象、气候条件已经维持了几十万年没有发生变化。同时，非洲西南沿岸地区也一直是沙漠。下述表述正确的是：（多选题）

1 大量的浮游生物和复杂的食物链是形成油气资源的必要元素
2 石油形成于大西洋底，随着上涌洋流而带到海面
3 陆地上的有机物（动物尸体和植物残骸）沉积于大陆架地区，这些是油气资源的主要来源
4 沉积于大陆架上的浮游生物等有机物，必须在缺氧条件下才能转变为碳氢化合物（油气）

2016年11月17日，选手Kito de Pavant在穿越赤道时向海水中释放了一个GPS浮标“IESO2017”。浮标只随洋流漂动，并可每小时发回其经、纬度位置，如图7所示。

图7：黑线指示了浮标IESO2017在2016年11月17日到12月1日间的移动轨迹。浮标在Kito de Pavant跨越赤道时放下。颜色代表了不同的洋流速度；箭头体现了各处洋流的方向。图中的洋流称之为“赤道洋流”。

Question 11：关于**图7**，下述表述正确的是：（多选题）

1 运送浮标的洋流，由南半球的信风引起
2 运送浮标的洋流，由大西洋东-西两岸的海水温度差异引起
3 运送浮标的洋流，由大西洋东-西两岸海水盐度差异引起
4 运送浮标的洋流，由大西洋东-西两岸海水表面高度差异引起
5 运送浮标的洋流的方向，受到科里奥利力的影响

图8：浮标在2016年12月15日到2017年1月4日间移动的轨迹。图中每一个点代表了每天的位置。

Question 12：关于该浮标在靠近南美沿岸时的路径（图8），下面表述正确的是：（单选题）

1 移动速度均一，且轨迹平行于海岸线
2 移动速度军医，且轨迹并未因为靠近海岸而受到影响
3 速度在靠近海岸时减慢，这是因为淡水流与海洋洋流相反
4 速度在靠近海岸时减慢，这是因为水深也在逐渐变浅
5 速度在靠近海岸时加快，因为淡水流与海洋洋流相反
6 速度在靠近海岸时加快，因为水深也在逐渐递减

图 9：浮标在接近南美洲海岸时的移动轨迹。每一个点代表了每个小时的位置

Question 13：关于**图 9**，下述选项哪个能够最为准确的描述了浮标的移动规律。观测中记录到浮标出现周期性信号，其平均周期为 ：（单选题）

1 6 小时

2 12 小时

3 24 小时

Question 14：形成**图 9** 所示的特殊轨迹，其最有可能的原因是：（单选题）

1 湍流，由于内陆水体和海水的盐度差

2 湍流，由于内陆水体和海水的温度差

3 潮汐流

第二部分：脚踏实地，仰望（行）星空

水手 Kito de Pavant 曾经在航行过程中在不同时间、地点观测到了不同的月相。图 10 中给出了他此次航行的观测。我们如何理解他的观测呢？

图 10：

(A) 水手 Kito de Pavant 分别于 2016 年 11 月 7 日 23 点，11 月 14 日 1 点，11 月 22 日 4 点进行三次月球观测时所处的位置。

(B) 水手 Kito de Pavant 在这三个时间所看到的月球图像。

图 11：当地球、太阳和月球所处不同位置时，月相的变化。

Question 15：2016 年 11 月 7 日至 8 日夜晚，月球在日地参考系中的相对位置对应于图 11 中的哪个位置（单选）？

1- A

2- B

3- C

4- D

Question 16：11 月 14 日至 15 日夜晚，月球运行至观测点正上方（即天顶点）。下列说法正确的是（多选）：

1- 只有在热带地区的观测者才能看到。

2- 只有在月相为满月时才会发生。

3- 在满月时可以在地球上任意地点观测到这一现象。

4- 这一现象非常罕见，在同一给定地点每年最多发生两次。

Question 17:航行途中的水手 Kito de Pavant 在 11 月 7 日与 22 日夜晚看见的月球非常相似 ，这是因为（单选）：

1- 月球公转的朔望周期为 14 天左右。

2- 月球公转的恒星周期在 28 天左右，因此可以在 28 天的一半，即 14 天时，观测到同样的月相。

3- 上弦月和下弦月看起来一样是因为它们并非在同一个半球被观测到。

4- 上弦月和下弦月看起来一样是因为它们并非是在夜晚的同一时刻被观测到。

Question 18：11 月 14 日的满月可被观测到的时间为：傍晚 18 点至次日清晨 6 点。关于这种现象，下列说法是正确的是（单选）：

1- 这种现象在满月的时候就可以发生。

2- 这种现象非常罕见。在大多数情况下，可以从正午开始观测到。

3- 这种现象的出现仅仅因为观测者位于地球赤道附件。

图 12. 月球表面撞击坑分布密度随表面年龄的变化规律。图片中的矩形为月球表面不同区域的观测数据，而虚线是对这些数据的拟合结果。

横轴为月表年龄，单位为十亿年；

纵轴为直径大于 500 米的撞击坑分布密度，单位为每一千平方公里的撞击坑数量。

Question 19：图 12 给出了月球表面撞击坑分布密度与表面年龄之间的曲线关系。可以看出，他们的关系近似于双曲线。在以下的因素中，哪些决定了这一曲线的形状及具体数值（多选）：

1- 自太阳系形成以后，撞击体的总数大体上一直在持续减少。

2- 不断重新塑造行星表面的构造活动。

3- 星体与小行星带及柯伊伯带的距离。

4- 星体的公转与自转周期。

5- 星体表面的温度。

6- 星体的大小。

图 13. 火星表面卡塞峡谷的位置。(A) 该地区的卫星影像。沙罗诺夫撞击坑直径为 100 km。(B) 该地区的地形图。

Question 20：位于图 13B 的 X 处形成卡塞峡谷河流的流向为（单选）：

1- 向南。

2- 向北。

3- 向东。

4- 向西。

5- 向东南 。

6- 向西北 。

7- 向西南。

Question 21：图 13A 红框区域内有一些和小型撞击坑相关联的条纹。这些条纹被认为是由风造成的（风成条纹），那么风向是？（单选）

1- 吹向西和西北方向。

2- 吹向西和西南方向。

3- 吹向东和东北方向。

4- 吹向东和东南方向。

Question 22： 从图 13 中可以观察到如下五种地质过程：A—河流作用；B—小型撞击坑形成；C—大型撞击坑形成（地图的西北方向）；D— 裂隙形成（地图的北方）；E—风成条纹。上述五种地质过程发生的时间先后顺序为（单选）：

1- A / B / C / D / E

2- A / C / D / E / B

3- D / C / A / B / E

4- C / D / B / E / A

图 14：火星卫星图像所显示的 Sonia 高原的地形图。

Question 23：关于图 14 中的陨石撞击坑形成的时间顺序为（从最老到最新）（单选）：

1- A / B / C / D / E / F

2- E / F / D / C / B / A

3- C / D / B / A / E / F

4- F / E / A / B / D / C

5- A / E / F / B / D / C

6- C / D / B / F / E / A

7- D / A / E / C / B / F

8- B / D / E / F / A / C

Question 24：相比于月球和水星而言，金星，地球和火星上的陨石撞击坑分布密度较低，这是因为：（单选）

1-陨石撞击的次数较少。

2-火山活动重新形成了表面。

3-月球对地球的保护。

4-行星表面的剥蚀作用。

图 15：Hughes Scale 图，展示了陨石质量，撞击坑直径与陨石撞击频率之间的关系。纵坐标为陨石撞击的频率（假设陨石撞击地球的速率为 15.4km/s）。图中 meteors 指流星，meteorites 指陨石，craters 指撞击坑。

Question 25： 根据图 15 所示的关系计算，若形成直径为 5Km 的撞击坑，陨石的质量应为（单选）

1. 100,000 吨（100 千吨）
2. 100,000 吨（0.1 百万吨）
3. 10,000,000 吨（10 百万吨）
4. 1,000,000,000 吨（1 十亿吨）

Question 26：发生上述陨石撞击速率（第 25 题）的频率为:（单选）

1. 100 年/次
2. 10,000 年/次
3. 1,000,000 年/次

Question 27：陨石撞击坑的直径由如下列哪些因素决定（多选）

1. 陨石的形状
2. 陨石的质量
3. 陨石中冰的含量
4. 陨石撞击的速率
5. 撞击点森林的密度
6. 撞击点的天气

Question 28：如图 15 所示，陨石撞击的强度为 M=5.5，如果撞击的地点在地震台 100km 以内，由撞击所造成的震动大到使得该撞击事件强度无法被准确的记录下来，我们称之为饱和现象。如果陨石撞击火星的频率可以用 $R(M)=100*10^{(3.5-M)}$ 来计算，火星的半径为 3376km。请计算该强度的撞击事件（M=5.5）发生的频率为:（单选）

1. 2.9%
2. 100%
3. 33%
4. 0.02%

第三部分：土星的一颗有趣卫星

土卫二（Enceladus）是土星七颗主要卫星中的一颗。表 1 给出了这颗卫星的主要特征。这一星球的表面极为清晰，因此人们可以很好的观测到其表面复杂的地貌。对于一个如此小的星球，这些地貌的出现颇为令人费解。目前人们正试图用正在发生的地质活动对此进行解释。

表 1：土卫二的物理与化学参数表

直径（千米）	密度（克/厘米 ^{3}）	重力加速度（米/秒 ^{2}）	表面温度（开尔文）	各组成成分占体积比例	大气层成分
500	1.2	0.06	73	10%：硅酸盐 90%：水	极少量水气

Question 29：土卫二存在着明显分层结构，其核心由硅酸盐组成。根据表格中的信息，计算土卫二的核心半径（单选）：

1- 85 千米

2- 100 千米

3- 115 千米

4- 140 千米

图 16：是卡西尼飞船于 2005 年 7 月 14 日在 1000 千米高空拍摄的土卫二图像， A 区域为土卫二的主体部分，其主要特征为广为分布的陨石坑。B 区域位于土卫二南极区域，这一区域存在着较多的地势起伏，其中尤其明显的是一系列条纹状结构。图中的方框为 B 区域条纹结构与 A 区域陨石坑的一个交界区域。因为在区域 B 中几乎不存在陨石坑，因此这一区域被认为是较为年轻的。科学家们猜测，土卫二存在着内部活动，从而可以持续的塑造其表面。

Question 30：通过与地球的类比，我们可以利用以下哪些参数对土卫二**目前的**内部活动情况进行判断（多选）？

1- 土卫二表面的大气压强

2- 土卫二表面温度

3- 土卫二表面化学，探测可能存在的火山岩

4- 土卫二磁场

人们此前曾认为，土卫二得以维持其构造活动的唯一热源是太阳辐射。随后，人们对土卫二的热能情况进行了详细分析，见下图。

图 17：

(A)为假设太阳辐射为土卫二的唯一热源，通过理论计算获得的土卫二表面温度分布图（温度单位为开尔文）。

(B) 为利用卡西尼飞船红外线测量得到的土卫二表面温度分布图。

(C) 为土卫二南极区域的表面照片，同时叠加了某一条纹附近的温度分布。这一照片颜色反应了水冰的不同晶体结构。早期形成的水冰，由于受长时间紫外辐射，已转变为不定形结构，因此呈现为白色；而新近凝固而成的水冰，其结晶程度较高，呈现为蓝色。

Question 31：在图 17 中，理论与观测结果的对比说明了（单选）：

1- 太阳辐射的确为土卫二的唯一热源。

2- 太阳距离土卫二太远了，因此其对土卫二的温度没有任何影响。

3- 在土卫二赤道存在着一个显著的热源。

4- 太阳辐射对土卫二的表面温度分布存在影响，但在土卫二的南极附近存在着另一个热源。

Question 32：从图中可以看出，在土卫二南极附近的条纹上存在着明显的热异常现象。这些条纹对应什么结构（单选）？

1- 新形成的地质结构。由于新形成的水冰颜色不同，因此可以被观测到。

2- 新形成的地质结构。其热异常不允许水的存在。

3- 在很早以前形成的地质结构。在早期土卫二表面曾存在着液态水流，从而侵蚀其表面结构。

4- 目前在土卫二表面仍然存在着的液态水道。

卡西尼飞船掠过土卫二南极上空时进行了化学成分分析。为此，卡西尼飞船使用了 INMS 仪器（离子与中性粒子质谱仪）探测气态水，同时也使用了 CDA 仪器（宇宙尘埃分析器）探测水冰尘埃。

图 18 为卡西尼飞船的探测结果，其中黄星代表了 INMS 仪器获得的气态水密度，蓝点代表了 CDA 仪器获得的水冰尘埃密度。横轴代表卫星观测时间，其中心点 CA（Closest Approach）为该飞船距离土卫二表面最近的时刻。同时图中也给出了飞船在土卫二南极附近上空的轨道。

Question 33：由图 18 可知，卡西尼飞船的探测结果表明了（多选）：

1- 飞船在其飞行过程中，其探测得到的水气与水冰尘埃密度始终保持恒定。

2- 飞船探测到了一个弥散区域，其大小约 100 千米。在这一弥散区中，水冰尘埃和水气浓度均达到较高的水平。这一弥散区域对应于飞船距离土卫二表面最近的时刻。

3- 飞船在靠近南极热异常区时探测到了较高浓度的水冰尘埃与水气。

4- 在热异常区以外仍然存在着一定浓度的水冰尘埃与水气，这意味着土卫二存在着一个稀薄的大气层。

图 19 为氨-水混合物在土卫二表面大气压强下的相变图。氨与水是互相溶解的，因此在讨论其相变时，氨-水混合物可被视为一种单纯的成分进行分析。图中横轴为氨在此混合物中的摩尔百分比，纵轴为温度（单位为摄氏度）。图中三相分别为：固态、液态和固液混合态。

Question 34：从图 19 中可知，当氨与水各自含量占比为多少时，其熔点温度可达到最低值（单选）？

1- 氨占比 90%，水占比 10%。

2- 氨占比 35%，水占比 65%。

3- 氨占比 65%，水占比 35%。

4- 氨占比 80%，水占比 20%。

Question 35：考虑上述最低熔点温度，以下哪些关于土卫二的判断是正确的（多选）？

1- 在土卫二表面测量得到的平均温度下，氨-水混合物可以融化(melt)。

2- 在土卫二南极点附近的很小区域内，较高的温度使得液态物质可以快速出现。

3- 在土卫二表面任意区域的条件下，液态氨水都不可以稳定存在。

4- 在土卫二大气中出现的水冰与水气表明，在土卫二内部应可存在液态或气态的水。

图 20：土卫二表面的冰火山喷发照片。分析表明，喷发物为液态水与冰。

Question 36：根据图 20 提供的信息，以下哪些描述是正确的（多选）？

1- 土卫二北部是一个古老的火山，南部是一个古老的海洋。

2- 土卫二表面是不均匀的。太阳辐射可改变冰的形态，从而抹平环形山并形成光滑的表面。

3- 土卫二表面仅有部分区域（位于南半球）是新形成的。这一区域已然冰封，今后会逐渐累积越来越多的陨石坑。

4- 在土卫二南极附近存在非常有趣的冰火山活动。水气可由此被喷发至大气层，而液态水也可以通过这一过程弥漫至土卫二表面，并迅速凝固。

5- 土卫二南半球目前存在着活动构造，而导致这一活动的热源依然未知。

6- 尽管土卫二很小，但仍然存在着一个大气层。该大气层的维持有赖于冰火山的喷发。