arXiv:2302.03554v1 [cs.CY] 7 Feb 2023

模拟认知偏差对出行转型的影响*

Carole Adam

格勒诺布尔-阿尔卑斯大学，格勒诺布尔，法国
carole.adam@imag.fr ORCID 0000-0002-2803-8874
https://membres-lig.imag.fr/cadam

摘要

气候变化日益显著，为防止造成更大损害，亟需人类适应。日常出行（通勤）是一个重要的适应领域，其中相当一部分行程由私家车完成。然而，汽车对污染、噪声和事故的影响早已广为人知。本文探讨了各种能够解释这种适应不足的认知偏差。我们设计了简单的交互式模拟器，供用户操作体验，以帮助他们理解这些偏差。其理念是，认识到这些认知偏差往往是迈向更理性决策的第一步，尽管实际情况并非如此简单。本文介绍了三个模拟器，每个模拟器都聚焦于一种特定的阻力因素。我们模拟了各种场景，以展示它们的解释能力。这些模拟器现已上线，供用户体验，旨在引发他们对未来出行发展方向的思考。目前，我们仍在设计用户调查，以评估这些模拟器的影响。

1 引言

近几十年来，法国人口的日均出行距离大幅增加（从20世纪50年代平均每天5公里增至 2011 [33]平均每天45公里），私人汽车的数量也大幅增长（ 1970 [5] 有11,860百万辆汽车，而 2021 [9, 19]有3,830万辆）。例如，在图卢兹，汽车出行占居民出行距离的74%，温室气体排放量中多达88%来自汽车[30]。因此，出行方式的演变是一个重要议题，不仅关乎气候危机，也关乎公共卫生：久坐生活方式、道路交通事故、空气污染和噪声污染都会造成负面影响 [6]，[28]。事实上，每年有4万人死于细颗粒物（PM2.5）暴露，另有7000人死于二氧化氮（NO2）暴露，分别占年度总死亡人数的7%和1% [16]；这份报告还指出，法国在2020年春季实施的两个月封锁，通过减少颗粒物暴露避免了2300人死亡，并通过减少二氧化氮暴露避免了另外1200人死亡。这表明，公共政策和个人行为改变（转向骑自行车等出行方式、扩大远程办公）能够影响公共卫生。例如，在新冠疫情期间，人们设置了许多临时自行车道 [29]。然而，除这类紧急情况外，此类公共政策的实施需要时间，而且并不总能得到广泛认可。比如，不同封锁措施结束后，许多临时自行车道又重新开放给汽车通行 [4]。

事实上，尽管公民对气候变化的担忧日益加深，他们往往仍不愿接受可能减缓气候变化的约束性公共政策。这类公共政策，包括基础设施或税收方面的变化，并不容易被接受（例如 反对汽油价格上涨或新通行费的罢工），尤其是那些

*由法国国家研究署（ANR）资助——SWITCH 项目

依赖（或认为自己依赖）汽车通勤的公民。因此，出行方式的变化十分缓慢。例如在法国，很大比例的通勤仍然通过汽车完成，即使是非常短的路程[8]。这种惯性的部分原因是众所周知的，例如缺乏替代方案：一些农村地区的公共交通服务非常匮乏，而自行车设施集中在市中心；电动汽车或较新款汽车的成本对许多劳动者来说过高。另一个已知原因是改变习惯的困难 [7, 22], ，除非发生某个生活事件将其打破，否则人们通常会例行遵循这些习惯。其他研究表明，个人主义会影响使用者对激进转型情景的接受度 [15]。对于这种出行方式转变阻力，另一个可能的解释是认知偏差对人类推理的影响 [18]。

认知偏差是在不确定或危险情境下帮助推理的启发式 [32]。和任何启发式一样，它们往往有用，但也可能导致错误，有时会造成严重后果[31]。研究表明，认识到自身的偏差有助于在决策中克服这些偏差 [26]; 因此，研究者提出了诸如玩游戏或观看视频等去偏干预，并显示这类干预在短期和中期（2个月）具有积极影响。我们认为，交互式模拟也可用作另一种去偏干预；事实上，交互式模拟此前已成功用于解释各种复杂现象，例如大流行的机制 [11]。

因此，我们提出使用交互式模拟器，**提高人们对若干认知偏差及其影响的认知**，帮助人们了解这些偏差如何影响我们面对气候变化时的出行决策。本文介绍了三个模拟器，旨在说明各种认知偏差如何阻碍人们采用所谓的绿色出行方式：习惯、逆反偏差和光环偏差。这些模拟器以人口模型为基础，将人口中的每个人建模为自主智能体；每个个体都会依据各种准则并受到各种偏差的影响来选择出行方式。每个模拟器都刻意保持相对简单，聚焦于某一种特定偏差的作用，以便探索输入与输出之间的联系。我们的设想是，人们无需监督者的指导或解释，就能独自使用模拟器，并在此过程中有所理解或收获。

本研究是一个更大型项目的一部分，该项目旨在模拟城市向更可持续出行方式转型的过程。在这一背景下，人们已经提出了各种模拟器和严肃游戏。本文所述的所有模拟器都已开放在线体验，但尚未经过评估。为此，目前正在设计一项在线调查，同时也计划在高中举办研讨会来测试这些模拟器。本文结构如下：第 2 节介绍认知偏差的相关背景；第 3、4 和 5 节介绍我们的三个模拟器；最后，第 6 节讨论本研究的局限与前景，第 7 节总结全文。

2 背景

2.1 认知偏差

认知偏差以启发式为基础，有助于在不确定或承受压力的情境下进行决策[32], ，尽管信息不足，也往往能帮助人们更快地作出决定。然而，认知偏差也可能导致造成严重后果的错误。例如， [31] 分析了一起飞机失事，认为这是飞行员的自我欺骗偏差所致；这种偏差使他未能对副驾驶发出的警报作出反应。 [27] 指出，为避免各种事故或碰撞，有必要识别并消除偏差。 [14] 强调，对医务人员开展有关偏差的教育十分重要，因为偏差可能影响他们的决策和诊断。 [24]列举了各种会影响患者疫苗接种决策的偏差。最后， [25] 展示了偏差如何解释公司未能适应气候变化。

2.2 一些影响出行的偏差

[18] 研究表明，即使汽车的成本高于地铁或公交车，人们仍倾向于“固守”汽车出行；他们将这种偏离理性行为的现象归因于认知偏差的影响。本文尤其关注导致人们“非理性地固守”汽车出行的三种不同心理决定因素：

- **习惯**：与 [7]一致，我们希望对习惯如何导致出行方式选择上的惯性进行建模，即使城市基础设施不断发展，且越来越不利于开车；
- **逆反**偏差，指人们面对被认为具有强制性的劝服尝试时，会通过主张自己的自由意志并强化不顺从立场来作出反应的倾向。因此，这类信息可能产生与预期相反的效果，使接收者感到痛苦。
- **光环效应**偏差，指为了维持对某个事物先前的正面评价，而忽视其某些负面方面的倾向。这种偏差可能导致人们忽视惯常出行方式带来的新不便，例如汽油价格上涨或交通拥堵，以免不得不对自己的出行方式进行代价高昂的重新审视。

2.3 现有模型

灾害管理领域的社会模拟研究人员此前曾提出，在模拟人类行为时应考虑认知偏差，例如火灾疏散 [21] ，以便更好地调整消防安全建筑的设计和相关程序。也有多项尝试对认知偏差进行建模： [3]使用 BDI（信念—愿望—意图）算法来模拟多种偏差，这些偏差会导致人们在面临丛林火灾危险时不愿疏散； [17] 则从多种认知偏差的角度，对飞机事故情境中人类的错误决策进行了分析。

2.4 去偏

因此，其他研究者提出了针对个人的“去偏”干预措施，帮助他们为自己和共同利益做出最佳决策。 [26] 证明，意识到自身的认知偏差（通过玩游戏或观看视频等干预措施）可以减轻这些偏差对决策的影响，且这种效果不仅能立即显现，也能持续到中期（其研究历时两个月）。

基于这一理念，我们提出将交互式模拟器用作去偏干预措施。具体而言，让人们自由体验交互式模拟器，了解各种偏差对虚拟人口出行选择的影响。此前已有研究提出过一款类似的严肃游戏，用于模拟习惯在出行决策中的作用 [2]。这款游戏基于 GAMA 仿真平台开发，无法在线游玩。它还采用真实的地理数据，重现法国西南部一座真实的中型城镇，并模拟其真实道路网络上的出行。此外，这款游戏旨在说明生态转型背景下城市规划面临的困难，而非为公民去偏。

本文提出了三个简单的模拟器，分别聚焦于出行方式转变阻力的三个不同因素：习惯（第 3 节）、逆反偏差（第 4 节）和光环偏差（第 5 节）。这三个模拟器均使用 NetLogo [35] 实现，并可在线使用。

3 模拟器 1：习惯

尽管人们对气候变化的认知不断增强，城市规划也日益倾向于自行车（自行车道、长期租赁服务、安全停车场），而不利于汽车（交通拥堵、停车困难、汽油价格、步行区或低排放区），但驾车通勤的人数并未如预期般减少。在这个模型中，我们展示了习惯如何解释人们面对不断变化的城市基础设施时表现出的这种惯性。

3.1 概念模型

我们的模型基于先前的一个理性出行方式选择基于智能体的模型 [20] ，但大幅简化了。四种出行方式中仅考虑了两种（自行车和汽车），且理性选择的准则只有一项：城镇基础设施对该出行方式有多有利。这里假定，偏向一种出行方式必然会以牺牲另一种为代价。其理念是，增加自行车所占空间只能通过

占用汽车的部分空间来实现（例如，将汽车停车位或汽车车道改为自行车道），反之亦然。因此，我们用一个介于 0（完全有利于汽车）和 100（完全有利于自行车）之间的连续数值来表示城镇基础设施。

公民被建模为行为非常简单的个体：每一步，他们都会选择一种**出行**方式，并以该方式出行。他们会保存过去 20 次出行中每天所使用出行方式的**历史记录**（此数值可在代码中配置）。达到最小长度后，系统会使用这个滑动窗口计算他们的习惯；在此之前，系统认为公民尚未形成习惯。

公民可以通过两种方式选择出行方式：

- 理性**决策** 会根据当前基础设施对各出行方式的支持程度为其评分，然后将该评价分数作为选择该出行方式的概率。即使一种出行方式比另一种更受青睐，这也能确保选择具有一定的变异性。最初，公民只能进行理性选择，同时积累足够长的历史记录，以便推断其习惯。

- 常规**决策** 会统计过去 20 次出行中各出行方式出现的频率，并将该频率作为下一次出行再次使用该方式的概率。随着时间推移，个体的习惯可能会逐渐强化，使其更有可能按惯例而非理性地做出选择。

公民也有一定程度的**满意度** 或幸福感，这是根据他们当前出行方式的理性评估计算得出的。我们预计，理性决策者在感到不满意时会切换出行方式，因此他们大多应该保持满意。相反，习惯型决策者即使不再满意，也可能继续沿用惯常的出行方式，因此在设法重置习惯之前，他们的不满意程度应该会不断加深。

3.2 模拟器界面

模拟器[1] 允许用户通过不同方式与模型交互：

- 可以使用连续滑块调整城市规划，以促进汽车（值为 0）、自行车（值为 100），或选择介于两者之间的任意设置。
- 一个开关用于控制决策中是否采用习惯：禁用时，公民只会理性地选择出行方式；启用后，他们便开始形成习惯，而这些习惯最终会影响其决策（如上文所述）。
- 一个按钮可以立即重置所有习惯，迫使公民重新理性地做出选择。这模拟了危机的影响（例如新冠肺炎封锁措施，迫使每个人养成新的习惯）。

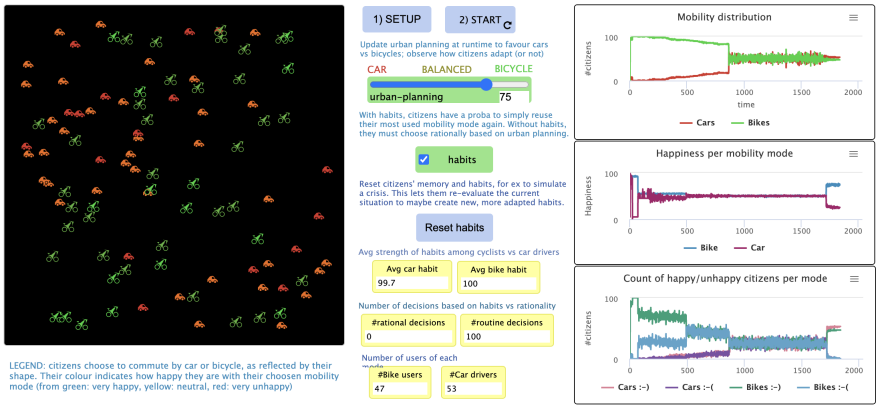

图1：习惯模拟器界面

模拟器界面（见图1）会针对这些操作提供各种反馈：

[1]可访问： https://nausikaa.net/wp-content/uploads/2023/01/habits-mobility.html

- 窗口中会显示公民四处移动，他们的形状（自行车或汽车）表示其出行方式，颜色（从红色到绿色的渐变）表示其满意度（红色代表非常不满意，绿色代表完全满意）

- 上方图表展示了公民在两种可选出行方式中的分布：自行车（绿色线条）和汽车（红色线条）。

- 中间图表展示了各出行方式用户的平均幸福感（范围为 0 到 100）。
- 下方图表展示了各出行方式中满意度较高（满意度 ¿ 50）和满意度较低（满意度 ¡ 50）的用户数量。

- 监视器显示以下数值：骑行习惯和驾车习惯的平均强度（在相应用户中）；理性决策与习惯性决策的智能体数量；各出行方式的用户数量。

3.3 结果

基线情景。我们首先运行了一个不考虑习惯的基线情景，城镇起初非常有利于汽车（城市规划滑块设为 10）。因此，大多数智能体都使用汽车，并且对此非常满意（汽车用户的平均满意度约为 80%）。随后，我们逐步调整城市规划，使其更加有利于自行车（最终值为 85）。汽车用户的比例从约 95% 大幅降至仅 5%，而剩余用户的平均满意度仍然较高（约为 70%）。这证实了在没有习惯的情况下，用户的方式分布反映了当前的城市规划，而且无论选择哪种出行方式，他们的平均满意度都不错（否则他们就会转向另一种出行方式）。

场景2：养成习惯。我们从同一个非常有利于汽车出行的城市环境开始，不过这次启用了习惯机制。随着我们调整城市环境，使其更有利于自行车出行，汽车驾驶者的数量有所减少，但下降速度不如之前快：习惯使公民对城市规划变化的反应产生了惯性。此外，随着新基础设施的出现，汽车驾驶者的平均满意度下降了。事实上，强烈的习惯促使他们继续选择汽车，尽管他们现在显然对此并不满意。这在最后一张图表中也很明显：大多数自行车使用者感到满意，而大多数汽车使用者则感到不满意。

场景3：危机时期。从上一个场景的最终状态出发，我们按下“重置习惯”按钮。这会立即清除所有公民过去出行的记录，以及由此形成的习惯。因此，所有公民都必须重新对可用的出行方式进行理性评估。由于现在的基础设施显然更有利于骑自行车，这将反映在他们的出行方式选择上。事实上，大多数个体立即改用自行车，幸福感也随之提升。随后，他们开始养成新的习惯，促使自己今后继续骑自行车。这个场景展示了危机时期（例如 COVID-19大流行及相关封锁措施）如何为重置旧习惯、养成可能更好的新习惯创造机会。

3.4 讨论

这个模型有意进行了大幅简化，以便更容易理解其输出。具体而言，公民随机出行，模型中没有建筑物或道路；实际上，行程规划与此无关，我们只关注习惯对交通方式选择的影响。此外，这些习惯应当与特定情境相关联（一天中的时段、天气、出行所对应的活动等）。例如，还可以扩展这个模型，将日益增长的不满与重新考虑自身习惯的概率上升联系起来。不过，我们认为，要呈现习惯所造成的惯性，这种细节程度并无必要，只会徒增无用的复杂性。这个模型的目标只是说明习惯的力量，以及如何利用能够重置习惯的危机时期，为未来养成新的、更好的习惯。

4 模拟器2：逆反偏差

逆反是指当人们感到受到强制时，倾向于采取与劝服尝试相反反应的一种心理倾向。因此，个体可能会强化自己不服从的观点或意图，以维护未受威胁的自由意志。劝服信息因而可能产生与预期相反的效果，因为它们会令接收者感到痛苦。我们认为，这种偏差会影响人们对支持绿色出行或生态的宣传活动的反应：部分人口可能会对这些试图迫使他们采取受约束行为的做法感到愤怒，并通过主张自己有权按意愿行事来作出回应。

4.1 概念模型

意见扩散模型。 我们的概念模型关注智能体如何对官方信息作出反应。我们考察关于单一事实的观点，并将其建模为连续区间 [0, 1] 上的实数，表示对该事实的认同程度。每个智能体对这一事实都有自己的观点（例如“应该骑自行车而不是开汽车通勤”），且各智能体的观点彼此不同。

当两个智能体相遇时，它们会“分享”各自的观点，因此每个智能体的观点都会略微向对方的观点靠拢。具体来说，我们将新观点计算为一种非对称平均值，其中自身观点的权重高于收到的观点（具体权重值可在代码中配置）。在这种意见扩散模型中，如果让智能体彼此接触一段时间，最终的观点就会趋向于连续区间中间的平均值或折中值。

确认偏差。 在第一个模型中，智能体可能带有确认偏差。在这种情况下，与另一个智能体相遇时，只有当对方赞同时，它们才会调整自己的观点；相反，它们会摒弃不符合自身观点的意见。因此，观点只会得到强化，并会逐渐趋向两端。经过多次互动后，会出现两个观点相反的群体，人口也随之极化。

逆反偏差。 基于这一意见扩散的初始模型，我们设计了一个新模型，其中官方传播者（一种不同类型的个体）向人口传播一则劝服信息。这则信息可以是例如倡导生态、绿色出行或有益健康的体育活动的宣传。当个体遇到传信者时，就会接触到其观点。

此外，个体可能易受逆反偏差影响，也可能不受其影响。如上所述，不易受影响的个体会逐渐被信息说服。易受影响的个体可能会根据距离条件触发逆反偏差：当个体接触到另一种观点时，它会评估该观点与自己当前观点之间的距离。如果距离足够小，新观点是可以接受的，个体就会趋向于这一观点（如上所述，采用非对称加权平均）。相反，如果这一距离“太远”，即 超过某个阈值（可配置），个体就会激活逆反偏差。在这种情况下，个体会使自己的观点偏离官方信息，进一步强化自身的不认同。

消息目标。 基于该模型，对于给定的消息内容和给定的逆反触发阈值，个体可分为以下三类：

- 已被说服的主体，其观点与信息内容一致；
- 目标内主体，即正向目标：他们尚未被说服，但仍有可能被说服。他们要么不易受逆反偏差影响，要么虽然会受到影响，但信息与其自身观点足够接近，因而可以接受，不会触发该偏差。
- 目标外主体或负向目标：由于他们容易受到逆反偏差的影响，且当前观点与目标相距甚远，足以触发这种偏差，因此当前信息永远无法说服他们。结果，他们会朝相反的方向作出反应。

4.2 模拟器

模拟器[2] 使用 NetLogo 实现，其界面如图2所示。

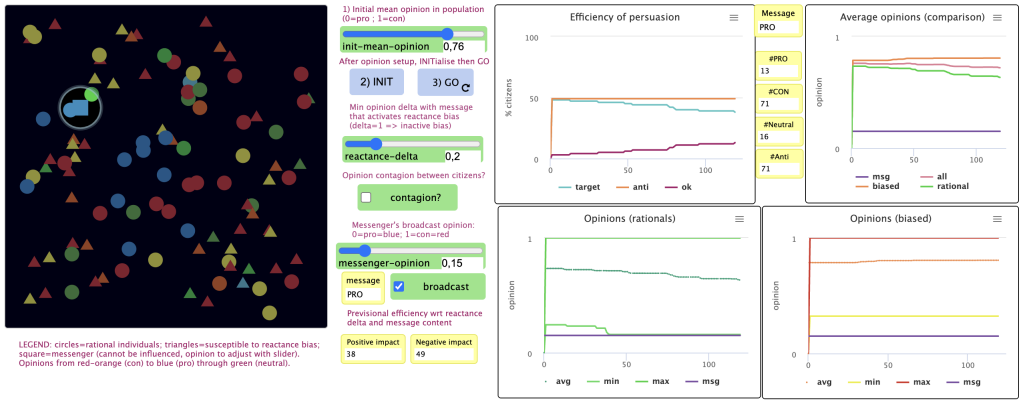

图2：逆反偏差模拟器界面

种群初始化 用户可以使用滑块，在从 0 到 1 的连续区间内选择人口的初始平均意见。按下“INIT”按钮后，将创建人口，其观点将按照以该平均值为中心、高斯分布的方式分布，方差为 0.25。观点始终保持在 0 到 1 之间。每个个体的观点都通过颜色直观表示，颜色渐变范围从蓝色（值为 0）到红色（值为 1），而未决定的个体则呈现从黄色到绿色的颜色范围。

每个个体还有另一个属性，用于确定其是否对逆反偏差敏感。该属性通过个体的形状表示：圆形个体是“理性的”，即 不具有逆反偏差；三角形个体容易受到该偏差影响，即 当条件满足时（信息与其能够接受的内容相差太远），可能会激活该偏差。创建人口后，用户可以使用“GO”按钮启动模拟：个体随后开始在窗口中随机移动，并可能遇到其他个体或传信者（以正方形表示）。当广播信息不再产生任何影响时，模拟会自动停止（即 其正向目标为空）。

输入参数 运行时，用户可以修改若干参数，包括与信息有关的参数，以及与意见扩散机制有关的参数。首先，用户可以使用滑块，在同一观点连续区间上选择希望广播的官方信息的取值，并使用开关暂停或恢复广播。只要正在广播，传信者（显示为方形）就会以与信息内容相匹配的颜色（同一颜色渐变）显示；暂停广播时则会隐藏。

意见扩散机制可以通过两种方式进行调整。首先，传染开关可用于决定标准个体（传信者之外的其他个体）是否也彼此分享观点。启用后，智能体既会受到传信者的影响，也会受到邻居的影响。禁用后，只有传信者能够影响智能体的观点。其次，用户可以通过滑块设置触发逆反偏差的意见差值（针对易受影响的个体，即 三角形）。具体来说，如果该值设为 1，就意味着只有与自身观点相差超过 1 的观点才会触发偏差，因此实际上相当于禁用了偏差。该值越小，偏差就越容易被触发，传信者也就越难在不令目标痛苦的情况下说服对方。

输出与反馈 界面会以各种形式显示有用的信息：

[2]可在此处获取： `https://nausikaa.net/wp-content/uploads/2023/02/reactance-v2-en.html`

• 用户选择触发偏差的意见差值和信息内容后，两个监测框会实时更新目标群体的规模：正向目标是指能够被说服的智能体，而负向目标则由因逆反偏差而产生相反反应的智能体组成。用户应尽量缩小负向目标的规模，以免信息产生反效果。当正向目标的规模降至 0 时，信息便不再产生影响，模拟也会停止。

• 左上方的图表展示了当前劝服信息的效果。蓝线表示目标群体中个体所占的百分比；随着这些个体被说服，该比例会随时间下降。粉线表示已被说服的个体所占的百分比；随着传信者说服更多个体，该比例会随时间上升。最后，橙线表示无法被说服的个体所占的百分比；只要用户不修改消息内容或逆反阈值，该比例就不会变化。

• 右上方的图表将官方信息（紫线）与三组人的平均意见进行比较：总人口（粉线）、不易受逆反影响的理性群体（绿线）以及偏见群体（橙线）。

• 底部的两张图进一步详细展示了理性群体（左图）和偏见群体（右图）的意见动态：除了平均意见，还显示了最低和最高意见。这有助于观察各群体观点的完整范围及其同质性。如果劝服有效，这些线应逐渐趋近于信息所表达的观点。

4.3 场景

We 我们运行了多个场景，以展示模拟器的解释力 r.

情景1：基线。我们将人口的平均观点初始化为 0.8，并将信息内容设为 0.2，两者相差甚远。在这个基线情景中，我们将逆反差值设为 1，因此没有个体会触发偏差。我们关闭智能体之间的意见传染，以隔离传信者的影响。随后，我们开始广播，让传信者四处移动并尝试说服公民。意见动态曲线图（见图3）显示，所有平均意见都逐渐趋向官方信息。

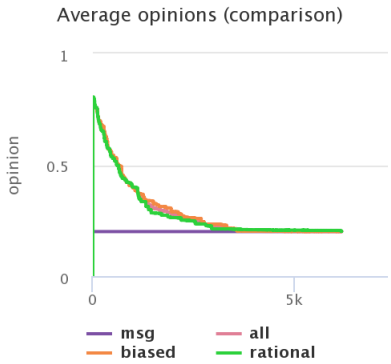

图3：无逆反偏差时的平均意见动态：趋同

情景2：逆反。我们将人口和传信者初始化为与上述相同的值，并仍然关闭传染，但这次将逆反差值设为0，因此所有易感个体都会触发偏差。因此，我们观察到两组（理性组与偏见组）的反应有所不同，如

平均意见图（图4）所示。平均理性意见逐渐趋近于信息的内容，而平均偏见意见则逐渐偏离信息。

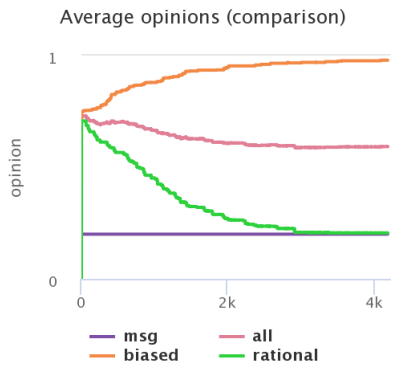

图4：存在逆反偏差时的平均意见动态：发散

场景3：高效劝服。 现在，我们将初始意见设为 0.75，将逆反差值设为 0.25，使得一些个体会触发偏差，而另一些则不会。这里的思路是，传信者会尝试逐步将平均意见引导至 0.25；但为了不让持不同意见的公民感到苦恼，传信者会先发送较为温和的信息，将数值设为 0.5，再逐步将内容调整至 0.25。当数值为 0.5 时，一些有偏个体的意见足够接近，因此愿意接受劝服，而意见最极端的个体则会变得更加极端。随着平均意见逐渐接近 0.5，传信者可以将信息中的数值依次降至 0.4、0.3，最后降至 0.25。如图5所示，由于只有部分个体会触发偏差，而另一些个体则会受到官方信息的影响，平均意见的发散程度有所减小。

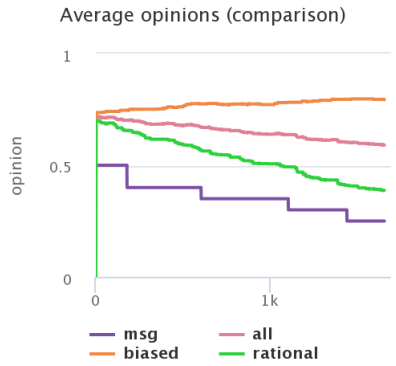

图5：逐步调整信息内容，以避免引发逆反

这符合经典说服策略中的“登门槛效应”，即鼓励人们先做一些小事，而不是要求他们做出重大改变，因为后者更可能让他们气馁或感到痛苦。例如，为应对全球变暖而采取节能行为（关闭设备，而非让设备处于待机状态）；改变出行方式（每周骑一次自行车）；或恢复体育活动（走楼梯而不是乘电梯，提前一站下公交车并步行等）。

场景4：个体间传染。在前几个场景中，公民之间不存在传染，因此只有传信者会影响其他公民。如果现在开启传染，结果会出现更多

观点差异，因为传信者在窗口的另一部分活动时，公民可能会受到邻居（无论其观点如何）的影响。如果有许多有偏个体持有极其强烈且相反的观点，他们可能会比信息传播得更快地抵消它的影响。

这与社交网络的影响类似：人们总能与同样不认同“官方”意见的人建立联系，从而强化自己的怀疑或反对态度，最终可能陷入阴谋论的漩涡。这迫使当局寻找有效的沟通策略，以打击假新闻和虚假信息。

4.4 讨论

总之，这个模拟器表明，广播信息与个人当前信念之间的距离越大，越有可能引发逆反偏差：人们会通过采取与建议相反的行动来彰显自己的自由意志（例如 “我想开车通勤就开车通勤”）。建议应当更加循序渐进，以免引起公民的反感。许多倡导“小小举动”的宣传活动也是如此。需要注意的是，如果失去公民的信任，他们对官方沟通的猜疑和不满会不断加深，并影响之后的所有互动。我们将逆反建模为由观点之间的距离所触发，这种做法值得商榷。具体而言，另一种思路是将逆反建模为由重复引发：信息重复得越多（回音室），就越可能让听众感到厌倦，进而引发负面反应。

模拟器还展示了打击网络虚假信息和假新闻的困难（启用意见传染选项时）。可以通过游戏化来呈现这一点：允许用户创建多名传播者，统计投入的总时间和资源，并将其与实际被说服的人口比例结果进行对照。

5 模拟器 3：光环偏差

我们的第三个模拟器探讨光环偏差，即在评估某个对象时，如果某些负面方面与积极的第一印象不一致，人们便会忽略这些方面。这种偏差由此使人们得以维持原有印象。在出行方面，这可能导致人们忽视自己惯常出行方式的新缺点，例如汽油价格上涨或交通拥堵，以免不得不付出代价去重新审视自己的习惯。

5.1 概念模型

理性多准则决策模型 该模型基于一个现有的出行方式理性多准则评估模型 [20]，其中 4 种出行方式（汽车、自行车、公交车、步行）根据 6 项准则（时间、成本、舒适度、安全、生态、实用性）及其对每个人的重要程度进行评估。具体而言，每个人都由其对这 6 项准则的个人优先级来定义（例如，一个人可能非常重视生态，但不太在意舒适度；另一个人则可能非常重视时间，却不太关注价格）。这些优先级被假定为静态。

每种出行方式都会根据具体情境（城镇环境、天气等）在每项准则上获得相应的评价分数。例如，自行车和步行始终非常环保，而汽车则完全不是；它们的安全性取决于自行车道或限速；它们的舒适度取决于温度，而汽车或公交车则始终更加舒适；等等。这些评价分数会随着环境的变化而变化（新的公共政策、一天中的时段、天气.....）。

随后，每个个体都会计算每种可选出行方式的全局评分，即将全部 6 项准则的评价分数与相应优先级相乘后取加权平均。这样一来，由于优先级不同，不同个体在相同情境下可能会对同一种出行方式给出不同评价。智能体完全理性，会选择全局评分最高的出行方式。因此，随着城市规划的变化（例如新建自行车道，或汽油价格上涨），公民可能会调整出行方式，以适应新的环境。

光环偏差模型 我们的模型在这一理性决策模型的基础上加入了光环偏差。具体而言，智能体对 6 项准则分别设有优先级，并且可能受到光环偏差的影响，也可能不受影响。不受影响的智能体会采用上述理性决策算法。受到影响的智能体在重新评估当前出行方式时，可能会触发光环偏差。是否触发取决于该出行方式在某项准则上的**评价** 与该准则对该智能体的**优先级** 之间的差距。如果这一差距大于某个特定的 delta，智能体就会激活光环偏差，并在计算新的评价分数时将该准则的优先级设为 0，从而完全忽略这项准则。这会导致已经采用某种出行方式的智能体忽略当前出行方式评价不佳的准则，以维持整体上的正面看法。其背后的想法是，质疑自己的优先级比改变出行方式代价更小。光环偏差不会影响对其他出行方式的评价。

最后，个体还具有一定的满意度或幸福感，该数值根据其当前出行方式的评价分数计算得出。预计理性个体在对当前出行方式感到不满时会改用其他方式，而有偏个体则会忽略负面准则，以恢复满意度，而不必改变出行方式。

5.2 模拟器

该模拟器[3] 使用 NetLogo 实现，其界面截图如图6所示。

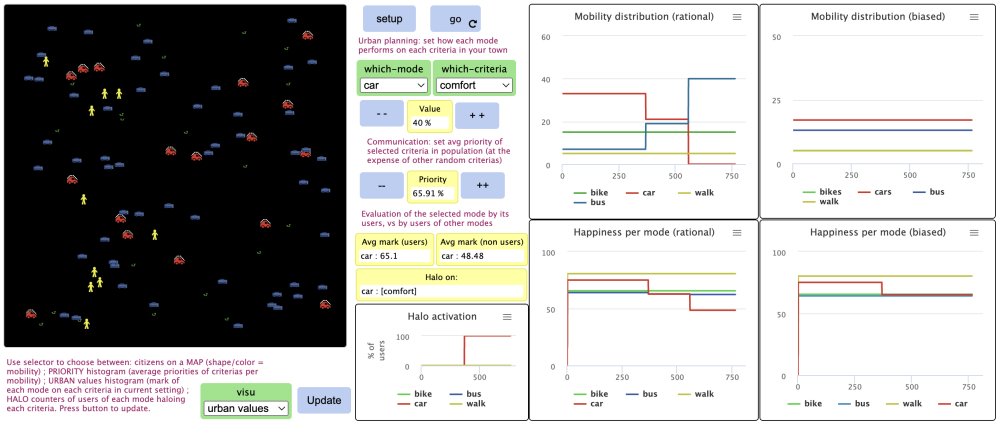

图6：光环偏差模拟器界面截图

初始化初始城市规划（4种出行方式在6项准则上的得分）根据经验设定，使其符合典型城镇的情况：自行车和步行比公交车更环保，而汽车则完全不环保；汽车和公交车比自行车或步行更舒适（例如较少受到天气影响）；步行是速度最慢的出行方式，等等。具体初始值可在代码中查看和配置。

随后，为人口设定了公民使用4种出行方式的合理分布（50%汽车、20%自行车、20%公交车、10%步行），并设置其初始优先事项，使其在当前城市环境中的理性选择确实是自己所选的出行方式，同时加入一定的随机变化，因此每种出行方式的使用者并非都具有完全相同的优先事项。同样，这些设置也可以在代码中配置；不过，我们旨在呈现偏差的影响，因此无需让这一分布与现实完全一致。

最后，半数智能体容易受到光环偏差的影响，另一半则不受影响。触发阈值设为 15：这意味着，当当前出行方式在某项标准上的得分（范围为 0 到 100%）至少低于该智能体对该标准的优先级 15 分时，该智能体就会激活光环偏差，并开始完全忽略这项标准。光环偏差不会影响对其他可选出行方式的评估，这些出行方式仍会得到理性评价。

[3]获取地址： `https://nausikaa.net/wp-content/uploads/2023/01/switch-halos-en.html`

用户交互界面允许用户：

- 通过直接设置虚拟城镇中每种出行方式在各项准则上的得分，来修改**城市规划**（例如，通过不同的城市设计来提高公交车频率，或降低道路上的最高限速）。界面中可以进行所有更改，尽管其中有些在语义上并不可能实现（例如，没有任何城市政策能让步行变得不再环保），因此用户需要自行谨慎选择。

- 修改人口中各项准则的**优先级**（这可能是宣传或广告活动所能产生的影响）。同样，现实并没有这么简单，没有任何广告活动能确保生态突然成为所有人的最高优先级，但此选项可以让人们探索可能由此产生的结果。

输出与可视化 界面分为三个部分。左侧主窗口下方的下拉菜单可让用户从四种可视化选项中进行选择。在主地图上，智能体以不同形状和颜色显示其出行方式（自行车——绿色；公交车——蓝色；步行——黄色；汽车——红色）。当智能体受到光环偏差影响时，周围还会出现白色光环。其他选项则是各种直方图，可一目了然地显示：当前城市环境中每种出行方式在各项准则上的**数值**，从而展示哪些出行方式更受青睐；每种出行方式用户对各项准则的平均**优先级**，以呈现不同的用户画像；以及在各项准则上产生**光环效应**（因而忽略该准则）的各出行方式用户数量，从而找出每种出行方式的“弱项”准则（数值与优先级之间的差异）。

在中间部分，用户可以在下拉菜单中选择一种出行方式和一项准则。系统将自动显示当前城镇中该出行方式在该准则上的最新**数值**（随后可使用按钮进行编辑），以及该出行方式在人口中的最新**优先级**（所有公民的平均值）。在这些参数下方，还会显示几个额外的监测指标：该出行方式用户对其的平均评价分数；其他出行方式用户对其的平均评价分数；以及其用户赋予光环效应的准则列表（详情可在左侧的光环直方图中查看）。这两个评价分数可能有所不同，因为不同出行方式的用户具有不同的优先级（可通过优先级直方图进行可视化），同时也因为存在偏差公民在评价自己的出行方式时所激活的光环偏差。

最后，在界面右侧，4 个图表展示了每种出行方式的出行分布（上方）和平均幸福感（下方）的变化：理性用户（左侧）与存在偏差的用户（右侧）分别对应各自的图表（每种出行方式以一条不同颜色的线表示）。这会向用户反馈其行为（城市规划或沟通）对出行分布和/或满意度的影响。

5.3 场景

可以测试各种场景，以展示该模拟器的潜力。

通过城市规划鼓励绿色出行。我们从默认设置开始模拟，然后使用城市规划按钮，逐步降低汽车在时间准则上的得分（这意味着汽车出行时间增加）。这模拟了许多城镇当前的趋势：将更多空间用于自行车或公交车，减少汽车设施（车道、停车位），从而加剧交通拥堵或延长停车时间。同样的效果也可能由较低的限速（30 而非 50 千米/小时）造成，这会略微延长总行程时间。

由于新的设置，理性汽车驾驶者降低了自己的评价分数。随后，他们可能会根据其他优先事项，转换到另一种更快的出行方式（例如公交车或自行车）。我们确实观察到，公交车的方式份额有所上升，因为它最符合汽车驾驶者的优先事项特征，同时还能保持舒适度。相反，偏见汽车驾驶者会对如今变成负面的时间准则启动光环效应，以维持他们对汽车的正面看法。他们继续开车上班，而由于忽略了最负面的方面，他们的满意度甚至有所提高。

生态危机。 我们再次使用默认初始化来启动模拟，这次则通过沟通按钮提高人口对生态的平均优先级。这旨在模拟当前的能源短缺，以及欧洲媒体对生态问题的关注。由此产生的出行方式转换如图7所示。在理性市民中，最先发生的变化是：通常乘公交车通勤的公民改乘更具生态效益的自行车，或在较小程度上改为步行（由于步行慢得多，只有对时间的优先级很低的公民才会选择步行）。汽车驾驶者一开始对生态的优先级较低，因此需要更长时间，生态才会真正影响他们的决定。当生态开始影响他们时，他们会改乘公交车，因为公交车更符合生态要求，同时还能在一定程度上保持舒适度和安全性（这两项是他们接下来最看重的准则）。

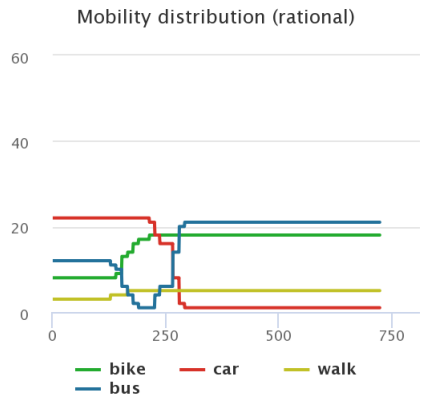

图7：生态意识宣传活动后的理性出行方式转换

存在偏差的用户则有所不同（见图8）。汽车驾驶者对生态的优先级很高，但在他们所选出行方式中，生态评价分数却很低，两者之间的差距最大。随着差距扩大，他们越来越清楚地意识到，当前的出行方式与新的优先级并不一致。当差距扩大到一定程度时，所有易受影响的汽车驾驶者都会产生光环偏差。因此，他们在评估时不再考虑生态标准，对汽车仍保持较高的满意度，并继续开车。起初，这似乎有悖直觉：提高生态的优先级，最终却让一些公民忽视生态；但这符合光环偏差的作用机制。相反，其他出行方式的大多数用户不会产生光环偏差，因为他们所选出行方式在生态方面的评价分数与其对生态的优先级（原本就很高）足够接近。因此，只要他们所用的出行方式足够环保，就会继续使用；否则就会转向更好的出行方式。我们尤其观察到，公交车用户会转而骑自行车或步行。

5.4 讨论

切合实际的初始值。 在这个模型中，我们为城镇和人口设定了可信但基于经验的初始值（初始城市规划和优先事项）。我们可以找到真实的统计数据（例如法国国家统计与经济研究所提供的法国数据），但本研究的目标并非追求如此细致的程度。此外，不同城镇或不同时期的具体数据也各不相同。这个模拟器旨在展示光环偏差的机制及其影响，因此无需对这些值进行如此精确的校准。

具体行动。 在上述场景中，我们研究了“积极”传播的影响，试图强化生态在人口中的优先级。然而，汽车仍然受益于非常正面的总体舆论，而广告传达了这种舆论：汽车制造商经常将汽车宣传为与自主性、安全性或冒险等正面价值相关联。研究如何采取行动来遏制这种（通常具有误导性的）传播，也将很有意义。

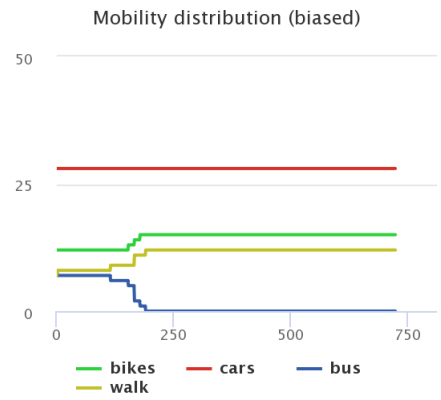

图8：生态意识宣传活动后偏见驱动的出行方式转换

此外，用户在当前模拟器中的所有操作都非常抽象。通过将抽象操作（提高某项准则的数值或优先级）与能够修改公共政策或传播的实际具体行动相匹配（例如，“宣传道路安全”、“提高对气候变化的认知”、“将市中心设为仅限步行区域”、“实行公共交通免费”、“提高汽油价格”等），可以让模拟器变得更具趣味性和沉浸感。然而，在列举这些行动时很难做到面面俱到，而且多个行动可能对底层价值产生相同的具体效果，因此当前界面提供了更强的表达力和抽象能力。

认知偏差与应对策略。我们的智能体可以采取两种策略，恢复出行方式与优先事项之间的认知协调：改变出行方式选择，或调整优先事项（为负面标准加上光环效应）。这与个体感受到负面情绪时所采取的应对策略类似。根据 Lazarus [23], 的观点，应对负面情绪的策略分为两类：在可能的情况下，针对刺激本身采取行动（问题聚焦型应对）；若无法控制刺激，则调整个体对刺激的评估（情绪聚焦型应对）。例如，当某人遭遇丧亲之痛时，常会采取“否认”这一策略：负面刺激无法控制且过于强烈，因此个体可能会否认其真实性，拒绝相信亲人确实已经去世。在这里，面对当前出行方式选择与日益增强的生态优先级之间认知失调的智能体，也可能觉得自己无法控制问题（出行方式选择），因为他们（认为自己）依赖汽车（事实上可能没有其他选择，或者替代方案成本过高）。由于他们无法或不愿通过改变出行方式来消除这种差距，否认生态的重要性便成了一种代价较低的策略。于是，他们在不考虑这一标准的情况下重新评估当前的出行方式，从而恢复对它的正面看法和满意度。

6 讨论

本文介绍了三个模拟器，每个模拟器都聚焦于一种不同的心理因素，用以解释人们在适应生态危机时，为何会抗拒出行方式改变。所有模拟器均可在线使用，供人们体验。这些模拟器旨在解释这些偏差的运作机制，让人们意识到它们如何影响自己的推理。

6.1 简化

我们的模拟器并非旨在准确预测未来出行方式必将如何演变，而是用于解释某些认知偏差背后的机制，以及这些偏差可能如何影响我们的出行选择。因此，我们可以让模拟器保持相对简单。事实上，由于我们的目标是提供人们无需指导、便可独自体验的交互式模拟器，因此保持简单甚至是必要的。输入与输出之间的关系应当易于理解和直观呈现。

因此，每个模拟器都在多个方面进行了简化。首先，与其他现有模型（例如 [20]）不同，我们没有使用现有城镇的真实地图或其他地理数据（道路、建筑物），也没有使用实际的人口普查数据或出行统计数据来校准人口。逼真的人工人口合成是一个活跃的研究领域 [10], ，但在这里我们不需要达到那种有效性水平。此外，保持城镇的抽象性，能确保模拟器也足够通用。其次，每个模拟器只单独关注一种偏差，以便直观呈现其影响，避免与其他偏差相互作用而模糊信息。当然，现实再次要复杂得多。为了验证这些简化的建模选择，需要从两个相互独立的维度评估我们的模拟器：有效性和影响。

6.2 解释人类行为

模型评估的第一个维度是其**心理有效性**，即模型所模拟的行为与真实行为的吻合程度。这会带来一些问题，因为很难获取人们真实想法和决策过程的数据。偏差并非出于自觉，因此人们在调查中报告的内容不一定与实际影响其决策的因素相符。此外，我们对这类数据的解读会带有主观性，也就是说，即使模拟行为与数据吻合，也不意味着底层模型就是正确的。事实上，不同的模型可能会产生相同的可观察行为。

事实上，研究人员在对澳大利亚黑色星期六森林大火幸存者进行的访谈中，发现了若干认知偏差 2009 [1], ，这些偏差或可解释他们为何决定不撤离；但作者也指出，同一种行为可以由多种偏差解释。另一些研究人员分析了飞机失事 [31] 后从飞行记录器（黑匣子）中提取的飞行员与副驾驶之间的对话，并提出自我欺骗偏差或可解释这起事故；但这同样取决于解读，也可以提出其他解释。近期的一项研究 [17] 甚至提出了一种逻辑方法，可自动推断错误决策过程中可能涉及哪些偏差；然而，同一事件仍可能得出多种不同的解释。

即便是本文提出的三个模拟器，也存在这种情况。它们都能解释人们在适应气候变化时表现出的惯性：人们不改变出行方式，是因为习惯绕过了理性评估；或者是因为光环偏差让他们对当前的出行方式感到满意；又或者是因为他们想主张自己的自由意志，随心所欲。所有这些解释都说得通，而且对于不同的人来说，很可能都正确，具体取决于他们的人格，以及他们对某种偏差的易感性。此外，可能还可以找到许多其他解释。这再次表明，我们的目标是提高人们的认知，启发他们思考，而不是给出一个确切的解释。

6.3 去偏的影响

评估的第二个维度是这些模拟器对人们的**影响**。我们声称它们可以用作一种去偏干预措施，但需要通过评估来证实这一说法。要做到这一点比较容易：我们计划开展一项在线调查，在人们使用模拟器前后分别对其进行询问。我们还在考虑记录他们在模拟器中的操作，以便直接分析他们意识到偏差对模拟人群的影响后，如何调整自己的策略。最后，我们可以比较不同类型干预措施的影响，例如使用我们的模拟器进行互动、阅读解释偏差的文本，或观看讲解视频。

这里需要重申的是，我们无意直接改变人们的行为。严肃游戏研究早已指出，复盘是通过游戏进行学习的重要组成部分 [12, 34, 13]。在当前的设置中，我们的模拟器以自主方式在线运行，因此不能指望人们能从中学到多少东西。不过，我们确实希望它能促使人们反思自己的出行方式和认知偏差。这种反思或许会在长期内促成改变，但无论如何，这种改变都很难追踪和证实。

6.4 公平性

此外，若认为仅仅意识到出行选择中潜在的认知偏差，就足以提高自行车或步行等绿色出行方式的方式份额，那未免过于乐观。实际上，个人限制因素（身体素质下降、家庭责任例如 接送孩子放学、时间安排紧张或预算有限）以及城市环境（许多农村地区缺乏公共交通、城镇中心的自行车设施较为集中）也在出行选择中发挥着重要作用。

事实上，许多旨在改变出行选择的公共政策往往忽视了那些无力承担这种改变的人。例如，低排放区将限制最老旧汽车的通行，但有些人无力购买全新的电动汽车。居住在远离市中心地区的人已经花费大量时间通勤，也无法承担改骑自行车或乘坐公交车通勤所增加的时间。老年人无法步行很远，因此依赖汽车或公共交通：除非有接驳车确保他们能够进入，否则将市中心进行步行化改造可能会将他们排除在外。相关准则仍然很多。为解决公平性问题，我们正在另一项工作中设计一个交互式模拟器，用户可以尝试调整用于不同出行方式的城市基础设施，以提高绿色出行的方式份额，同时保留一定数量的公平性指标，例如将可达性计算为拥有可用出行方式的公民所占的百分比。

7 结论

本文介绍了三个交互式模拟器，分别聚焦于在气候变化和城市规划不断演变的背景下，某一种特定认知偏差对出行惯性的影响。所有模拟器均可在线使用。我们的目标并非对出行惯性作出任何确定性的解释，而是让用户发现并直观了解偏差对出行的影响。我们希望借此引发他们的思考。

尽管本文通过若干场景展示了每个模拟器的解释力，但我们尚未进行实际评估。近期的工作将通过在线调查，评估每个模拟器对用户的实际影响。从更长远来看，我们将研究如何在 SWITCH 严肃游戏 [2] 中融入这些偏差。在这款游戏中，玩家扮演城市管理者的角色，必须修改城镇的城市规划，以适应气候变化：他们面临着减少污染和久坐倾向，同时保持可达性与满意度这一相互矛盾的目标。为了使游戏更加贴近现实，人口已经被赋予了习惯。未来的工作还将纳入认知偏差的影响，包括本文所建模的偏差（逆反和光环效应），以及其他相关偏差（例如社会压力）。这款游戏的目标是支持人们前瞻性地思考：如果我们克服对变化的抗拒，未来的出行可能会是什么样子。想象一个更美好的未来，或许是在将其变为现实之前迈出的第一步。

参考文献

[1] C. Adam 和 B. Gaudou. 根据访谈对灾害中的人类行为进行建模：应用于墨尔本丛林火灾。人工社会与社会模拟期刊, 20(3), 2017.[2] C. Adam 和 F. Taillandier. 一款旨在提高人们对出行习惯影响认知的严肃游戏。载于*GAMA Days*, 2022.[3] M. Arnaud, C. Adam, 和 J. Dugdale. 认知偏差在应对丛林火灾时所起的作用。载于 Tina Comes 等，编者，*ISCRAM*, 阿尔比，法国，2017年5月。

[4] L. Barbarossa. 后疫情时代城市：非机动车城市环境面临的挑战与机遇——意大利案例概述。《可持续发展》, 12(17):7172, 2020.[5] A. Barr´e. 关于法国高速公路网形成的一些统计与空间数据。《地理学年鉴》, 106(593/594):229–240, 1997.[6] A. Biswas, P. I. Oh, G. E. Faulkner, R. R. Bajaj, M. A. Silver, M. S. Mitchell, 和 D. A. Alter. 久坐时间及其与成年人疾病发病率、死亡率和住院风险的关联：系统综述与荟萃分析。《内科学年鉴》, 162(2):123–132, 2015.[7] O. Brette, T. Buhler, N. Lazaric, 和 K. Mar´ec hal. 重新审视习惯的本质及其对城市交通行为的影响。《制度经济学杂志》, 10(3):399–426, 2014.[8] C. Brutel 和 J. Pages. 即使是短距离通勤，汽车仍是主要出行方式。《法国国家统计与经济研究所》首次发布, 835:19, 2021.[9] 法国汽车制造商委员会 . 法国汽车工业：2019 年分析与统计。技术报告，法国汽车制造商委员会，2019年。[10] K. Chapuis, P. Taillandier, B. Gaudou, F. Amblard, 和 S. Thiriot. Gen*：一种用于真实主体人口合成的集成工具。载于《社会仿真进展：第15届社会仿真会议（欧洲社会仿真协会）论文集》，第189–200页。施普林格，2019年9月23日至27日，2021年。[11] CovPrehension 集体. 了解当前 COVID-19 疫情：一个问题，一个模型。《人工社会与社会仿真评论》, 2020.[12] D. Crookall. 严肃游戏、复盘以及作为一门学科的仿真／游戏。《仿真与游戏》, 41(6):898–920, 2010.[13] H. Dieleman 和 D. Huisingh. 通过游戏学习和教授可持续发展：探索游戏与体验式学习对可持续发展的相关性。《清洁生产杂志》, 14(9-11):837–847, 2006.[14] T. S. Doherty 和 A. E. Carroll. 相信自己能够克服认知偏差。《美国医学会伦理学杂志》, 22(9):773–778, 2020.[15] N. Epprecht, T. Von Wirth, C. St¨unzi, 和 Y. B. Blumer. 预见当前出行体制之外的转型：可接受性为何重要。《未来》, 60:30–40, 2014.[16] S. M. 等. . 法国本土空气污染对死亡率的影响。技术报告，法国公共卫生局，2021年。[17] V. Fouillard, N. Sabouret, S. Taha, 和 F. Boulanger. 识别错误决策过程中的认知偏差。载于2021年IEEE系统、人类与控制论国际会议（系统、人类与控制论），第3121–3127页。电气电子工程师学会，2021年。[18] A. Innocenti, P. Lattarulo, 和 M. G. Pazienza. 汽车依赖性：出行选择中的启发式与偏差。《交通政策》, 25:158–168, 2013.[19] 法国国家统计与经济研究所. 截至2021年1月1日的法国汽车保有量数据。技术报告，生态转型部，2021年。[20] A. Jacquier 和 C. Adam. 出行选择：一种基于主体的方法。载于空间分析与地理信息学, 第127–138页, 2021年。[21] M. Kinsey, S. Gwynne, E. D. Kuligowski, 和 M. Kinateder. 火灾疏散决策中的认知偏差。《消防技术》, 55(2):465–485, 2019。

[22] P. Lanzini 和 S. A. Khan. 揭示出行方式选择的心理与行为决定因素：一项荟萃分析。*Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*，48:13– 27，2017。[23] R. S. Lazarus 和 S. Folkman. 压力、认知评估与应对。Springer Publishing Company，1984。[24] P. M. Luz、P. Nadanovsky 和 J. Leask. 启发式与认知偏差如何影响疫苗接种决策。公共卫生手册´´，36，2020。[25] D. Mazutis 和 A. Eckardt. 梦游般走向灾难：认知偏差与企业气候变化惰性。*California Management Review*，59(3):74–108，2017。[26] C. K. Morewedge、H. Yoon、I. Scopelliti、C. W. Symborski、J. H. Korris 和 K. S. Kassam. 减少决策偏差：通过一次培训干预改善决策。*Policy Insights from theBehavioral and Brain Sciences*，2(1):129–140，2015。[27] A. Murata、T. Nakamura 和 W. Karwowski. 认知偏差对决策的扭曲作用及其导致重大不利事件的影响。*Safety*，1(1):44–58，2015。[28] C. Pastorello 和 G. Mellios. 解释道路运输排放：非技术指南。技术报告，欧洲环境署，2016。[29] P. R´erat、L. Haldimann 和 H. Widmer. COVID-19时代的骑行：大流行与临时自行车道对骑行实践的影响。*Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*，15:100677，2022。[30]图卢兹。2013年出行家庭调查：出行对温室气体排放有何影响？技术报告，大图卢兹地区，2016。[31] R. L. Trivers 和 H. P. Newton. 90号航班的坠毁：是否注定要毁于自我欺骗？*Science Digest*，第66–67、111页，1982年11月。[32] A. Tversky 和 D. Kahneman. 不确定情境下的判断：启发式与偏差——判断偏差揭示了不确定情境下思维的某些启发式。*Science*，185(4157):1124–1131，1974。[33] J. Viard. ´赞美流动性´：论自由时间资本与劳动价值。Eds de l'Aube，2011。[34] K. A. Whalen、C. Berlin、J. Ekberg、I. Barletta 和 P. Hammersberg. "他们做什么都能赢"：运用严肃游戏开展循环经济教育的经验。资源、保护与回收，135:335–345，2018。[35]U. Wilensky. NetLogo。http://ccl.northwestern.edu/netlogo/，Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling，西北大学，埃文斯顿，IL，1999。