

نمذجة وباء فيروس نقص المناعة البشرية / الإيدز بين متعاطي المخدرات والعاملين في مجال الجنس في كونمينغ ، الصين

Bull. Math. Biol. 68 (2006) 525 – 550
<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01378034>

Nicolas Bacaër

Institut de Recherche pour le Développement ، بوندي ، فرنسا
 nicolas.bacaer@ird.fr

Xamxinur Abdurahman

قسم الرياضيات وعلوم النظم
 جامعة شينجيانغ ، أورومتشي ، الصين

Jianli Ye

مركز مراقبة الصحة العامة ، CCDC ، بكين ، الصين

ملخص

تقدم هذه المقالة نموذجًا رياضيًا لوباء فيروس نقص المناعة البشرية / الإيدز في كونمينغ ، عاصمة مقاطعة يوننان ، الصين. ينقسم السكان إلى عدة مجموعات ، مع الأفراد الذين يمكنهم تغيير المجموعات. هناك طريقتان للانتقال لفيروس نقص المناعة البشرية: تقاسم الإبر بين متعاطي المخدرات والانتقال الجنسي بين المشتغلين بالجنس وعملاتهم. يشمل النموذج متعاطي المخدرات الذين هم أيضا عملاء ومستخدمو المخدرات الذين يعملون في مجال الجنس. تنقسم المجموعات إلى مجموعتين فرعيتين ، في خطر أو محمية ، اعتمادًا على استخدام الواقي الذكري وتقاسم الحقن. تم صياغة نظام المعادلات التفاضلية الجزئية لوصف انتشار المرض. للمحاكاة ، نقوم بتعديل المعلمات قدر الإمكان للبيانات المتاحة على كونمينغ. نقدم خصائص رياضية معينة للنموذج ، ولا سيما عتبة الوباء R_0 الذي يحدد هدف تدخلات الصحة العامة. على الرغم من أن النموذج يجمع بين وضعين للانتقال لفيروس نقص المناعة البشرية ، إلا أن التقريب التالي يبدو جيدًا إلى حد ما: $R_0 \simeq \max\{R_0^{\text{drogue}}, R_0^{\text{sexe}}\}$ ، مع صيغ صريحة لـ R_0^{drogue} و R_0^{sexe} . وبالتالي يمكن تحديد المستويات الحرجة لاستخدام المحاقن والواقيات الذكرية الضرورية لوقف كل من انتقال المخدرات بين متعاطي المخدرات والانتقال الجنسي بشكل مستقل عن بعضها البعض.

1 المقدمة

نما وباء فيروس نقص المناعة البشرية / الإيدز بسرعة كبيرة في السنوات الأخيرة في الصين. في نهاية عام 2003 ، قُدر العدد التراكمي للمصابين بفيروس نقص المناعة البشرية بحوالي 840,000 [44]. على الصعيد الوطني ، كان تعاطي المخدرات وجمع الدم غير الآمن والانتقال الجنسي هي الطرق الرئيسية للعدوى بترتيب تنازلي. لكن هناك اختلافات بين المحافظات. بالنسبة لانتقال فيروس نقص المناعة البشرية بين متعاطي المخدرات ، يبدو أن مقاطعة يوننان هي الأكثر تضرراً. يوننان قريبة من ميانمار ، وهي دولة منتجة للهيروين. تشير بعض التقديرات إلى أن 100,000 شخص مصابون حالياً في هذه المقاطعة [1]. ينتشر الوباء بين متعاطي المخدرات مجموعات الخطر الأخرى مثل المشتغلين بالجنس وعملاتهم ، لأن بعض متعاطي المخدرات هم أيضاً عملاء أو عاملين بالجنس. نحاول في هذا المقال إعادة إنتاج ديناميكيات الوباء في كونمينغ ، عاصمة مقاطعة يوننان. نقوم بتطوير نموذج وبائي يربط بين انتقال فيروس نقص المناعة البشرية من خلال مشاركة الإبر والجنس التجاري.

كانت الخطوة الأولى هي جمع البيانات المتاحة بشأن وباء فيروس نقص المناعة البشرية / الإيدز في كونمينغ. إليك ما وجدناه أكثر فائدة:

- خلال النصف الثاني من عام 2001 ، أُجريت مسوحات سلوكية في عدة مدن في يوننان: كونمينغ ، وكوجينغ ، ويوكسي ، وبوشان ، ودالي ، وشوكسيون. بالنسبة لمسح الرجال البالغين [21] ، تم طرح الأسئلة على 388 رجلاً تتراوح أعمارهم بين 18 و 50 عاماً. خلال الاثني عشر شهرًا الماضية ، كان 21.4٪ منهم عملاء لمشتغلات بالجنس [21] ، جدول [149]. كان هؤلاء العملاء على اتصال مع المشتغلين بالجنس بمعدل 2.4 مرة شهرياً [الجدول 174] ؛ 46٪ لم يستخدموا الواقي دائماً [الجدول 181] ؛ أفاد 0.9٪ من جميع هؤلاء الرجال عن حقن المخدرات [الجدول 136]. بالنسبة لمسح المشتغلين بالجنس [22] ، تم طرح 403 من المشتغلين بالجنس على الأسئلة: كان لكل منهم في المتوسط 3 عملاء في الأسبوع [الجدول 78] وعملوا في المتوسط لمدة 2.5 عامًا [الجدول 63]. 35٪ لم يستخدموا الواقي الذكري في الشهر السابق [الجدول 84]. لم يشر أي عامل في الجنس إلى أنه قد تم حقن المخدرات [الجدول 46]. لم يمثل العاملون في الجنس في الشوارع سوى 6.6٪ من المجموع ، ويعمل معظمهم بترتيب تنازلي من حيث الأهمية في صالونات التجميل والنوادي الليلية والفنادق والحانات والكاريوكي والساونات والحمامات العامة [الجدول 178].
- تشير دراسة أخرى [36] إلى أنه من بين 505 عاملة في الجنس اعتقلتهم الشرطة في كونمينغ في أوائل عام 2000 ، كان 52 مصاباً بفيروس نقص المناعة البشرية من بين 292 الذين استخدموا المخدرات. بالإضافة إلى ذلك ، فإن 86٪ من هؤلاء المشتغلين بالجنس لديهم عدوى واحدة على الأقل تنتقل عن طريق الاتصال الجنسي.
- يلخص الجدول 1 البيانات المتعلقة بفيروس نقص المناعة البشرية / الإيدز في كونمينغ من مصادر مختلفة: عدد حالات الإصابة الجديدة بفيروس نقص المناعة البشرية ، العدد التراكمي للحالات المبلغ عنها ، انتشار فيروس نقص المناعة البشرية بين متعاطي المخدرات ، المشتغلين بالجنس والعملاء. أرقام مختلفة لنفس العام والمجموعة نفسها تتوافق مع عينات مختلفة. للحصول على عرض ثابت ، تم تقريب جميع الأرقام إلى أقرب 0.1٪. أبلغ [45] عن 13 حالة إصابة بالإيدز في عام 1999. [46] أبلغ عن 17 حالة وفاة مرتبطة بالإيدز حتى عام 2002.

الجدول 1. بيانات فيروس نقص المناعة البشرية في كونمينغ. مصادر: a : [37] ، b : [47] ، c : [29] ، d : [52] ، e : [51] ، f : [45] ، g : [46] ، h : [50] ، i : [12].

عام	حالات جديدة	إجمالي الحالات	معدل الانتشار بين متعاطي المخدرات (%)	معدل الانتشار بين المشتغلين بالجنس (%)	معدل الانتشار بين العملاء (%)
1990	g_4	g_4	$g_0.6$	g_0	g_0
1991	g_5	g_9	$g_0.1$	$g_0.1$	$g_0.1$
1992	g_5	g_{14}	$g_0.1$ ؛ h_0	$g_0.1$	$g_0.1$
1993	g_6	g_{20}	$g_0.2$ ؛ h_0	$g_0.1$	$g_0.1$
1994	g_4	g_{24}	$a-g-h_0$	$g_0.3$ ؛ c_0	$g_0.1$
1995	g_{24}	g_{48}	$g_1.4$ ؛ $h_0.8$ ؛ $a-i_0.7$	$g_0.3$ ؛ $g_0.5$ ؛ $a-c_0.7$	$i_0.2$ ؛ c_0

1996	g_{189}	g_{237}	$g_{14.0}^{a-h} ; g_{9.3}$	$c^{1.5} ; a-g_{0.8}$	$g_{0.1} ; c_0$
1997			$h_{27.5} ; g_{26.7}$	$g_{1.9} ; c_{1.5}$	$g_{1.6} ; c_0$
1998			$b-h_{23.4}$	$c_{2.4}$	$c_{0.3}$
1999	f_{384}	f_{1251}	$f_{24.7} ; b_{24.4}$	$f_{2.9} ; b-c_{2.2}$	$f_{1.3} ; c_{1.1}$
2000				$c_{2.9}$	
2001	e_{165}		$e_{30.0}$	$c-e_{2.0}$	$c-e_{1.8}$
2002		g_{1433}		$c_{1.3}$	$c_{0.3}$
2003	d_{226}		$d_{18.6}$	$c-d_{2.5}$	$c-d_{0.8}$

- قدر خبراء من معهد يونان للمخدرات في عام 2002 وجود 7000 من متعاطي المخدرات بالحقن في كورنمينغ. انخفض عدد المستخدمين المسجلين في يونان من 67000 في عام 1990 إلى 44245 في عام 2001 ، بينما في الصين ككل ، ارتفع هذا العدد من 70.000 إلى 860.000 [39].
- وقدرت نسبة مدمني المخدرات الذين يشاركون الإبر في كورنمينغ بـ 20.4% في عام 1994 [49]. في عام 2003 ، أعاد 32 % من عينة من 150 مدمناً للمخدرات في كورنمينغ استخدام المحاقن [27].
- نما عدد سكان كورنمينغ بشكل مطرد على مدى العقد الماضي ، كما هو موضح في الجدول 2 [35]. وتستند تقديرات عام 1998 إلى تعداد عام 1990. وتستند تقديرات عام 1999 إلى تعداد عام 2000.

الجدول 2. كورنمينغ السكان.

عام	1993	1995	1998	1999	2000	2002
السكان (بالملايين)	1.608	1.645	1.731	2.063	2.108	2.200

كانت الخطوة الثانية هي تطوير نموذج رياضي للهيكل السكاني وانتقال فيروس نقص المناعة البشرية في كورنمينغ ، مع هدفين متضاربين:

- معقدة بما يكفي لتكون قادرة على محاكاة إعادة بناء واقعية للوباء حتى الوقت الحاضر ؛
- بسيطة بما يكفي لتكون قادرة على تقدير معظم المعلمات بالبيانات وتكون قادرة على دراسة عتبة الوباء رياضياً ، مما يجعل من الممكن فهم الهدف الذي يجب أن تحدده الوقاية لنفسها.

من بين الدراسات المماثلة التي ركزت على المحاكاة ، أربع منها ذات أهمية خاصة. حاول الأولين [48 ، 7] التنبؤ بمستقبل وباء يونان. حاول الثالث [32] نفس الشيء ولكن لكل الصين. استخدم الرابع [8] نموذجاً يحتوي على بيانات من مدن مختلفة في جنوب شرق آسيا مثل جاكارتا. تستخدم الدراسة الأولى نموذجاً خطياً بسيطاً للغاية ، يمكنه فقط التنبؤ بالنمو الأسي. والثاني يستخدم برنامج EPP الذي طورته برنامج الأمم المتحدة المشترك لمكافحة الإيدز لمحاكاة الأوبئة مع الانتقال الجنسي المعمم. لاحظ ، مع ذلك ، أن الوباء في يونان لا يزال يتركز في الفئات المعرضة للخطر مثل متعاطي المخدرات. تستخدم الدراسة الثالثة نموذجاً أكثر تعقيداً ،

بالنسبة لهذه الدراسات الثلاث الأولى ، تخفي المستويات الجغرافية التي تعمل فيها العديد من التغيرات ، إما بين مقاطعات الصين [44] ، أو حتى من مدينة إلى أخرى داخل نفس المقاطعة. في يونان ، تعد المسافة إلى الحدود مع ميانمار والطرق التي يتم من خلالها الاتجار بالمخدرات أساسية. هذا ما دفعنا إلى النظر فقط إلى مدينة كورنمينغ وليس منطقة أوسع.

دراستنا أقرب من الدراسة الرابعة [8] ، على الرغم من أننا نعتبر طرقاً أقل لانتقال فيروس نقص المناعة البشرية. على وجه الخصوص ، احتفظنا بفكرة أنه في النماذج السكانية مع عدة مجموعات ، يجب أن يكون الأفراد قادرين على تغيير المجموعات. على سبيل المثال ، غالباً ما يعمل العاملون في مجال الجنس لفترة أقصر بكثير من متوسط فترة حضانة الإيدز. من الضروري أيضاً ذكر الجدول حول كل هذه المحاكاة ، خاصة فيما يتعلق بقدرتها التنبؤية [43 ، 14 ، 16 ، 34]. ومن العيوب الأخرى لهذه المحاكاة أنها غالباً ما تعطي القليل من المؤشرات على عتبة الوباء وسلوك النموذج على المدى الطويل ، ونوع المعلومات اللازمة لتحديد أهداف الصحة العامة.

من بين الدراسات الرياضية ، حصرنا اهتمامنا بالأشخاص ذوي الخصائص التالية ، على مقربة من [28]:

- يمكن للأفراد المرور بثلاث ولايات: S (صحي) ، I (فيروس نقص المناعة البشرية إيجابي ولكن بدون الإيدز) و R (الإيدز). بتعبير أدق ، يُفترض أن أولئك في الدولة R ليس لديهم اتصال معدني بالآخرين.
- الدولة الأولى مبنية على الوقت المنقضي منذ الإصابة بفيروس نقص المناعة البشرية ؛ يتم إعطاء فترة الحضانة من فيروس نقص المناعة البشرية إلى الإيدز بموجب قانون الاحتمال.
- لا يظهر الهيكل العمري بشكل صريح في النموذج. يتم تجنيد الأشخاص الأصحاء بمعدل معين. يترك الأفراد السكان بسبب الوفاة "الطبيعية" أو الوفيات بسبب الإيدز أو بسبب التدفق المستمر "للشيخوخة".
- يحدث انتقال فيروس نقص المناعة البشرية من خلال الاتصال العشوائي. نحن لا نأخذ في الاعتبار تشكيل الأزواج.

مع هذه القيود ، يمكن تصنيف النماذج الرياضية وفقاً لعدد المجموعات المتجانسة في السكان: واحدة [4 ، 10 ، 40 ، 41] ، اثنتان [25 ، 26] أو ن [20 ، 11 ، 24 ، 38]. يقدم نموذج مقالنا n للمجموعات $n=18$ للتطبيق في كورنمينغ. بالمقارنة مع العمل الذي تم الاستشهاد به للتو ، هناك تحسينان: إدراج طريقتين لانتقال فيروس نقص المناعة البشرية (تقاسم الإبر بين متعاطي المخدرات والانتقال الجنسي بين المشتغلين بالجنس والعملاء) وإمكانية للأفراد لتغيير المجموعات كما في محاكاة [8]. علاوة على ذلك ، هناك تشابه رسمي معين بين سكان مدينة مقسمة إلى عدة مجموعات مختلفة ، مع بعض الأشخاص الذين يغيرون المجموعة خلال حياتهم ، وتوزع السكان على عدة مدن مع الهجرة بين المدن. لجهات الاتصال ، تم استخدام "المزيج النسبي" لتقاسم الإبر والمتغير بين الجنسين من المزيج النسبي للعلاقات بين المشتغلين بالجنس والعملاء. يفترض أن طلب العميل يحدد مستوى نشاط المشتغلين بالجنس.

في مقالنا ، لا ندرس الخصائص الرياضية للنموذج بدقة كما هو الحال في بعض الأعمال المذكورة أعلاه ؛ نحصر انتباهنا على التكاثر وبعض الخصائص الأولية الأخرى. ومع ذلك ، يتم إيلاء المزيد من الاهتمام لتقدير المعلمات من البيانات. باختصار ، بالمقارنة مع أحد النماذج الأكثر استخداماً لوباء فيروس نقص المناعة البشرية / الإيدز المركزة في المجموعات المعرضة للخطر في آسيا ، نموذج [8] ، يتميز نموذجنا بميزة تؤدي إلى التعبير عن التكاثر مع الحفاظ على واقعية معينة.

في الفقرة 2 ، نقدم النموذج الرياضي لعدد عشوائي من المجموعات ومع المعلمات التي يمكن أن تعتمد على الوقت. يناقش § 3 بعض الخصائص الرياضية للنموذج عندما لا تعتمد المعلمات على الوقت ، أو بشكل أكثر واقعية عندما تستقر المعلمات بعد وقت معين (هذا بالطبع تجريدي رياضي حيث لا يمكن للمرء أن يقول أن المجتمع الصيني في حالة توازن اليوم ، حتى في مقاطعة محيطية مثل يونان). يظهر أن التكاثر ، الذي يحدد أهداف تدخلات الصحة العامة ، هو ذلك $R_0 \geq \max\{R_0^{drogue}, R_0^{sexe}\}$ و R_0 هي النسبة التي يمكن حسابها بسهولة والمترتبة بمشاركة الإبر والانتقال الجنسي. يتم إعطاء هذه النسخ من خلال نصف القطر الطيفي لمصفوفات الرتبة 1 أو 2. القسم 4 متخصص في النموذج في حالة ثمانية عشر مجموعة ويناقش مصفوفات الاتصال وتغيير المجموعة § 5 بحسب النسخ R_0^{drogue} و R_0^{sexe} لهذا النموذج بالذات. وأخيراً ، يقدر القسم 6 المعلمات بالبيانات المتاحة لكورنمينغ ويظهر محاكاة لعام 1994 حتى نهاية عام 2004. ويحلل الاستنتاج عددياً اعتماد قابلية التكاثر فيما يتعلق بنسبة استخدام الواقي الذكري ومعدلات تقاسم الإبر لمتعاطي المخدرات. التقريب التالي يبدو جيداً جداً

$$R_0 \simeq \max\{R_0^{\text{drogue}}, R_0^{\text{sexe}}\}.$$

وبالتالي يمكن تحديد المستويات الحرجة لاستخدام المحاقن والواقيات الذكرية الضرورية لوقف كل من انتقال المخدرات بين متعاطي المخدرات والانتقال الجنسي بشكل مستقل.

2. النموذج

نحدد

- n : عدد المجموعات في المجتمع.
- $S_i(t)$: عدد من الأشخاص الأصحاء في مجموعة ط في وقت t .
- $I_i(t, x)$: كثافة السكان في مجموعة ط في وقت t ، الذين أصيبوا بفيروس نقص المناعة البشرية ل s سنوات، ولكن من دون الإيدز.

$$I_i(t) = \int_0^\infty I_i(t, x) dx$$

- هو عدد هؤلاء الأشخاص في المجموعة i في الوقت t .
- $R_i(t)$: عدد الأشخاص المصابين بمرض الإيدز في الوقت t في المجموعة i قبل ظهور الأعراض السريرية للإيدز.
- $N_i(t) = S_i(t) + I_i(t)$: السكان النشطون في المجموعة i في الوقت t .
- $\Lambda_i(t)$: تدفق واردة من الأشخاص الأصحاء الجدد في مجموعة ط في وقت t .
- $\mathbb{A}(t)$: مصفوفة مربعة بحجم n ، والتي تعتمد على الوقت،

$$\mathbb{A}_{i,j}(t) = \begin{cases} -\alpha_{i \leftarrow j}(t) & \forall i \neq j, \\ \alpha_i + \sum_{k \neq i} \alpha_{k \leftarrow i}(t) & i = j. \end{cases}$$

- $\alpha_k > 0$ هو المعدل الذي يموت فيه الأفراد في المجموعة k لأسباب أخرى غير الإيدز أو ترك السكان بسبب الشيخوخة. $\alpha_{i \leftarrow j}(t) \geq 0$ يمثل المعدل الذي ينتقل به الأفراد في المجموعة j إلى المجموعة i ($i \neq j$).
- $\mathbb{B}^{\text{sexe}}(t, N)$: مصفوفة مربعة بحجم n مع

$$\begin{aligned} \mathbb{B}_{ij}^{\text{sexe}}(t, N_1, \dots, N_n) N_j &= A_i(t) \frac{a_j(t) N_j}{\sum_k a_k(t) N_k} [1 - c_{ij}(t)] \pi_2(t) \\ &+ a_i(t) \frac{A_j(t) N_j}{\sum_k a_k(t) N_k} [1 - c_{ji}(t)] \pi_1(t) \end{aligned} \quad (1)$$

- $A_k(t)$ هو المعدل الذي يدفع عنده الأفراد في المجموعة k مقابل الاتصال الجنسي. $A_k = 0$ لجميع المجموعات النسائية.
- $a_k(t)$ هو السعر الذي يبيع به الأفراد في المجموعة k الاتصال الجنسي. $a_k = 0$ لجميع مجموعات الذكور.
- $c_{ij}(t)$ هو احتمال أن الواقي الذكري وسوف تستخدم أثناء الجماع الجنسي بين فرد من جماعة i وفرد من مجموعة j .
- $\pi_1(t)$ و $\pi_2(t)$ هي احتمالات انتقال فيروس نقص المناعة البشرية من رجل إلى امرأة ومن امرأة إلى رجل، على التوالي، من خلال الاتصال الجنسي إذا لم يتم استخدام الواقي الذكري؛
- $\mathbb{B}^{\text{drogue}}(t, N)$: مصفوفة مربعة بحجم n مع

$$\mathbb{B}_{ij}^{\text{drogue}}(t, N_1, \dots, N_n) N_j = B_i(t) \frac{B_j(t) N_j}{\sum_k B_k(t) N_k} \pi(t).$$

- $B_k(t)$ هو معدل مشاركة الحقنة (شهريا) للأفراد في المجموعة k ، و $\pi(t)$ هو احتمال انتقال فيروس نقص المناعة البشرية في كل مرة تشارك فيها حقنة.
- $\mathbb{B}(t, N) = \mathbb{B}^{\text{sexe}}(t, N) + \mathbb{B}^{\text{drogue}}(t, N)$.
- $\gamma(t, x)$: معدل إصابة الأشخاص المصابين بفيروس نقص المناعة البشرية لمدة x سنوات بالإيدز؛
- $\delta(t)$: وفيات المصابين بمرض الإيدز.

النموذج هو

$$\frac{dS}{dt} = \Lambda(t) - \mathbb{A}(t) S(t) - S(t) \odot [\mathbb{B}(t, N(t)) I(t)], \quad (2)$$

$$\frac{\partial I}{\partial t} + \frac{\partial I}{\partial x} = -\mathbb{A}(t) I(t, x) - \gamma(t, x) I(t, x), \quad (3)$$

$$I(t, 0) = S(t) \odot [\mathbb{B}(t, N(t)) I(t)]. \quad (4)$$

في هذه المعادلات، \odot يشير إلى منتج ناقلات الأعمدة: $(u_i) \odot (v_i) = (u_i v_i)$. من جهة أخرى،

$$\frac{dR}{dt} = \int_0^\infty \gamma(t, x) I(t, x) dx - \delta(t) R(t).$$

هنا بعض الملاحظات على شكل $\mathbb{B}(t, N)$. يتبع المصطلح الذي يمثل مشاركة الإبر "الخط النسبي" القياسي. هذا يتجاهل تشكيل أماكن الاستهلاك أو مجموعات الصداقات حيث يتم مشاركة الحقن. النماذج النظرية بهذا المستوى من التفاصيل تم تطويرها بالفعل [19,9]. ومع ذلك، لا توجد بيانات متاحة لمثل هذه الأماكن في كورنمينغ أو مدن أخرى في يوننان. يتم إعطاء تقديرات فقط لإجمالي عدد متعاطي المخدرات، والنسبة المئوية لمتعاطي المخدرات الذين يتشاركون الإبر، وانتشار فيروس نقص المناعة البشرية بين متعاطي المخدرات. لذا فإن الخلط النسبي مع افتراض التجانس (انظر الفقرة 4) يتجنب إدخال الكثير من المعلمات غير المعروفة في النموذج.

للشروط التي تمثل انتقال الغيرية، والنظر في الرجل السليم من مجموعة ط. افترض أن الخليط متناسب. احتمال مقابلة عاملة جنس من المجموعة i هو $a_j N_j / \sum_k a_k N_k$. في هذه الحالة، احتمال عدم استخدام الواقي الذكري $1 - c_{ij}$. احتمال إصابة المرأة بالفعل I_j / N_j . احتمال انتقال فيروس نقص المناعة البشرية من النساء إلى الرجال هو π_2 . وبالتالي فإن احتمال الإصابة الجنسي في وحدة الزمن لرجل صحي في مجموعة ط هو نتاج كل هذه العوامل، كما في (1) و (2).

الآن النظر في امرأة سليمة من مجموعة ط. يمكن أن تكون عاملة جنس أو مدمنة مخدرات تقوم أحياناً بممارسة البغاء لشراء المخدرات. مع مزيج نسبي، فإن عدد العملاء الذين ستحصل عليهم يومياً هو حاصل طلب الرجال والعاملون في تجارة الجنس

$$\frac{\sum_k A_k N_k}{\sum_k a_k N_k}.$$

احتمال أن ينتمي العميل إلى المجموعة z هو $A_z N_j / \sum_k A_k N_k$. في هذه الحالة، احتمال عدم استخدام الواقي الذكري $c_{ji} - 1$. احتمال إصابة العميل بالفعل I_j / N_j . احتمال انتقال فيروس نقص المناعة البشرية من رجل إلى امرأة π_1 . وبالتالي فإن احتمال الإصابة الجنسي في وحدة الزمن للمرأة صحية في مجموعة ط هو نتاج كل هذه العوامل، كما في (1) و (2).

كان من المفترض أن جميع المعلمات تعتمد بدهاءة على الوقت لتعكس التغييرات المحتملة في السلوك أو زيادة الوصول إلى الأدوية المضادة للفيروسات القهقرية. π_1 و π_2 قد يعتمد أيضاً على الوقت إذا كان يجب مراعاة الزيادة في العدوى الأخرى المنقولة جنسياً، والتي تعزز انتقال فيروس نقص المناعة البشرية. قد يعكس الاعتماد على الوقت π ، على سبيل المثال، زيادة في استخدام الحقن النظيفة بين متعاطي المخدرات.

3. الخصائص الرياضية للنموذج

ضع في اعتبارك النموذج في القسم 2، ولكن مع معلمات مستقلة عن الوقت. دعنا نقدم بعض المفردات التي تبسط العبارات. ضع في اعتبارك المجموعات n كعقد للرسم البياني الرياضي بنوعين من الحواف:

- يتم ربط المجموعتين i و z بواسطة "حافة العدوى" ($i \leftarrow z$) إذا $\mathbb{B}_{ij}(N_1, \dots, N_n) > 0$ عندما تكون جميع N_k هي > 0 ، وبعبارة أخرى، إذا كان الأفراد في مجموعة ط يمكن أن يصاب الأفراد في مجموعة i (ط = i ممكن). في ما يلي، نفترض ذلك دائماً $i \leftarrow i$ إذا فقط إذا $i \leftarrow z$.
- ترتبط المجموعتان i و z ($i \neq z$) بـ "حافة الترحيل" ($i \leftarrow z$) إذا $\alpha_{i \leftarrow z} > 0$ بمعنى آخر، إذا كان بإمكان الأفراد في المجموعة z الهجرة إلى المجموعة i .

المجموعة ط يقال ان مجموعة أساسية إذا كان ينتمي إلى حافة واحدة على الأقل من العدوى. تم تكييف هذا التعريف مع النموذج الحالي ولا يتطابق مع التعريفات الأخرى الموجودة في الأدبيات العلمية (كما يشير [17، ص 165])، لا يوجد تعريف موحد للمجموعة الأساسية، لذلك لا نتردد في استخدامه في سياقتنا. نقول أن المجموعة z هي مصدر، على التوالي، إذا لم تكن مجموعة أساسية وإذا كانت هناك مجموعة أساسية z ومسار حواف الترحيل في الرسم البياني الرياضي من i إلى z ، على التوالي من z إلى i . نقول أن مجموعة المجموعات الأساسية متصلة إذا لم تكن فارغة وإذا كان لكل المجموعات الأساسية z ، يوجد مسار حواف (من العدوى و / أو الهجرة) من i إلى z . نفترض الآن أن

$$(H_1) \quad \Lambda_i > 0, \forall i = 1 \dots n \text{ أو يوجد مسار حافة الترحيل } (j_0, \dots, j_p) \text{ مع } \Lambda_{j_0} > 0 \text{ و } j_p = i.$$

من الناحية الفنية، يمكن كتابة الجزء الثاني:

$$\exists p \geq 1, \exists (j_0, \dots, j_p), \forall q = 1 \dots p, \alpha_{j_q \leftarrow j_{q-1}} > 0, \Lambda_{j_0} > 0, j_p = i.$$

الفرضية (H_1) يعني ببساطة أن الأفراد في المجموعة i "يأتون من مكان ما": إما أنهم دخلوا السكان مباشرة في المجموعة i ، أو دخلوا مجموعة j_0 وذهب من خلال المجموعات j_1, \dots, j_{p-1} قبل الوصول إلى المجموعة i .

الاقتراح 1 يتم إعطاء التوازن بدون مرض بواسطة $S^0 = \mathbb{A}^{-1} \Lambda$ و $I^0 = 0$. بالإضافة إلى ذلك، لدينا $S_i^0 > 0 \forall i = 1 \dots n$.

إثبات. لاحظ أولاً أن المصفوفة \mathbb{A} هو المسيطر بشكل صارم قطرياً مع عناصر غير قطرية موجبة أو صفر. لذا فهو غير قابل للانعكاس وعكسه هو مصفوفة ذات معاملات $0 \leq$ [6]. مع $\Lambda \geq 0$ (ذلك بالقول $\forall i \Lambda_i \geq 0$)، نملك $S^0 = \mathbb{A}^{-1} \Lambda \geq 0$. نختار (j_0, \dots, j_{p-1}) كما في الفرضية (H_1). المعادلة (2) مع $I = 0$ يؤدي إلى

$$0 = \Lambda_k - \left(\alpha_k + \sum_{j \neq k} \alpha_{j \leftarrow k} \right) S_k^0 + \sum_{j \neq k} \alpha_{k \leftarrow j} S_j^0, \quad \forall k = 1 \dots n.$$

نفترض بالبعث $S_i^0 = 0$. بالمعادلة أعلاه حيث $k = i$ نحصل $\Lambda_i = 0$ و $S_{j_{p-1}}^0 = 0$. من خلال التكرار، نأخذ $k = j_{p-1}, \dots, k = j_0$ ، وصلنا أخيراً $\Lambda_{j_0} = 0$ و $S_{j_0}^0 = 0$. هذا يتناقض $\Lambda_{j_0} > 0$.

قبل تقديم التخمين الرئيسي المتعلق بحالات التوازن، دعنا ندرس استقرار التوازن بدون مرض. نحدد $S = S^0 + I$ و $I = i$. المعادلات الخطية (3) - (4). نحصل

$$\frac{\partial i}{\partial t} + \frac{\partial i}{\partial x} = -\mathbb{A} i(t, x) - \gamma(x) i(t, x), \quad i(t, 0) \simeq \text{diag}(S^0) \mathbb{B}(S^0) \int_0^\infty i(t, x) dx.$$

$\text{diag}(S^0)$ هي مصفوفة قطرية شديدة مع عناصر المتجه S^0 . لمثل هذا النظام (انظر على سبيل المثال [5])، نعلم أن الاستقرار يعتمد على نصف القطر الطيفي R_0 المصفوفة

$$\Omega = \text{diag}(S^0) \mathbb{B}(S^0) \int_0^\infty e^{-\Lambda t} e^{-\int_0^t \gamma(x) dx} dt \quad (5)$$

ادعى أن $R_0 < 1$ أو $R_0 > 1$. يتم تفسير ذلك على النحو التالي. $P_{ij}(t)$ هو احتمال بالنسبة للفرد ليكون في مجموعة ط في وقت t علماً أنه كان مصاباً في وقت $t = 0$ ، وأنه بعد ذلك ينتمي إلى مجموعة i . المصفوفة $P(t)$ هو حل

$$\frac{dP}{dt} = -\mathbb{A} P(t) - \gamma(t) P(t), \quad P(0) = \mathbf{1}. \quad (6)$$

1 هي مصفوفة هوية الحجم n . لاحظ أن

$$P(t) = e^{-\Lambda t} e^{-\int_0^t \gamma(x) dx}.$$

نحدد T_{ij} توقع الوقت الذي سوف يقضيه حامل فيروس نقص المناعة البشرية في المجموعة i وأما أعلم أنه كان ينتمي إلى المجموعة i في وقت الإصابة. لدينا بعد ذلك

$$T = \int_0^{\infty} P(t) dt.$$

لذا نرى ذلك

$$\Omega_{ij} = S_i^0 \sum_{k=1}^n \mathbb{B}_{ik}(S^0) T_{kj}.$$

لكن $S_i^0 \mathbb{B}_{ik}(S^0)$ هو عدد الأفراد في مجموعة ط المصابين في وحدة الزمن من قبل فرد المصاب في مجموعة ك فقط بعد عرضه في عدد السكان دون مرض التوازن. Ω_{ij} ولذلك توقع عدد الأفراد في مجموعة ط عند الإصابة أن الفرد الذي ينتمي إلى جماعة ي في وقت العدوى سوف تصيب خلال حياتهم، على افتراض أن عدد السكان لا يزال بالقرب من حالة توازنه بدون مرض. بمعنى آخر، Ω هي "مصفوفة الجيل التالي" من [17، صفحة 74].

دعونا الآن نقدم تخميناً مستوحى من عمل [38] للحالة الخاصة لمصفوفة قطرية \mathbb{A} . ربما يمكن تعميم الأدلة المقدمة في هذا المرجع على الإطار الحالي، ولكن العمل الإضافي ضروري للتحقق منه. في كل ما يلي، من المفترض أن مجموعة المجموعات الأساسية متصلة.

التخمين. إذا كان نصف القطر الطيفي للمصفوفة $such$ هكذا $R_0 < 1$ ثم حالة التوازن بدون مرض (S^0, I^0) هي حالة التوازن الوحيدة وجانب عالمي. هناك حالتان من التوازن إذا $R_0 > 1$: حالة التوازن بدون مرض والتوازن المتوطن (S^*, I^*) مع $I^* \neq 0$. في هذه الحالة الثانية، تكون حالة التوازن المتوطن جاذبة عالمية لأي حالة مبدئية $I_k \neq 0$ لمجموعة واحدة على الأقل k وهي مصدر أو مجموعة أساسية. تبقى حالة التوازن بدون مرض جاذباً لجميع الحالات الأولية الأخرى.

تقدم الاقتراحات التالية بعض المعلومات عن حالة التوازن المتوطن:

الاقتراح 2. لتحقيق التوازن المتوطن (S^*, I^*) ، نملك

$$I^*(x) = e^{-\mathbb{A}x} e^{-\int_0^x \gamma(t) dt} I^*(0).$$

ثلاثة أبعاد S^* و $I^*(0)$ هي حلول $0 \leq$ و $0 \neq$ النظام

$$S^* = \mathbb{A}^{-1}(\Lambda - I^*(0)), \quad (7)$$

$$I^*(0) = S^* \odot \left[\mathbb{B}(N^*) \int_0^{\infty} e^{-\mathbb{A}t} e^{-\int_0^t \gamma(x) dx} dt I^*(0) \right], \quad (8)$$

$$N^* = S^* + \int_0^{\infty} I^*(x) dx$$

يتم الحصول على هذه المعادلات من خلال التكامل والاستبدال البسيط في النظام (2) - (3) - (4). إن إثبات وجود وتفرد حالة التوازن المتوطنة في هذا التخمين معادل لإثبات وجود وتفرد الحل $(S^*, I^*(0))$ للنظام (7) - (8).

الاقتراح 3. $S_i^* > 0$ ، $\forall i = 1, \dots, n$.

إثبات. نختار Λ و (j_0, \dots, j_{p-1}) كما في الفرضية (H_1) . نملك $\forall k = 1, \dots, n$

$$0 = \Lambda_k - \left(\alpha_k + \sum_{j \neq k} \alpha_{j \leftarrow k} \right) S_k^* + \sum_{j \neq k} \alpha_{k \leftarrow j} S_j^* - I_k^*(0), \quad (9)$$

$$I_k^*(0) = S_k^* \sum_j \mathbb{B}_{kj}(N^*) \int_0^{\infty} I_j^*(x) dx. \quad (10)$$

نفترض بالبعث $S_i^* = 0$. مع (10) حيث $k = i$ لدينا $I_i^*(0) = 0$ مع (9) حيث $k = i$ نحصل عليها $0 = \Lambda_i$ et $S_{j_{p-1}}^* = 0$ من خلال التكرار، على التوالي $\Lambda_{j_0} > 0$ و $S_{j_0} = 0$ و $\Lambda_{j_0} = 0$ وصلنا أخيراً $k = j_{p-1}, \dots, k = j_0$. هذا يتناقض $\Lambda_{j_0} > 0$.

المقترح 4 إذا كانت المجموعة i مجموعة أساسية، عندها $I_i^*(x) > 0$ للجميع x . إذا كانت المجموعة i مجموعة بالوعة، فعندئذٍ $I_i^* \neq 0$ لكن $I_i^*(0) = 0$. إذا كانت المجموعة i ليست مجموعة أساسية ولا مغسلة، فعندئذٍ $I_i^*(x) = 0$ للجميع x .

إثبات. إذا كانت المجموعة i ليست مجموعة أساسية، فعندئذٍ $B_{ij}(N^*) = 0$ للجميع j . إذا لدينا $I_i^*(0) = 0$ بسبب (10) مع $k = i$. نملك

$$I^*(x) = e^{-\mathbb{A}x} e^{-\int_0^x \gamma(t) dt} I^*(0)$$

و $I^* \neq 0$. لذلك هناك مجموعة أساسية مع $I_j^*(0) > 0$ بالنسبة لمجموعة أساسية أخرى i ، ضع في الاعتبار المواقف المختلفة:

- في القضية $j \leftarrow i$ ، نملك $B_{ij}(N^*) > 0$ ويترتب على ذلك من (10) مع $k = i$ ذلك $I_i^*(0) > 0$.
- في القضية $j \leftarrow i$ ، نملك $\alpha_{i \leftarrow j} > 0$ وبالتالي،

$$I_i^*(x) = \sum_k [e^{-\mathbb{A}x} e^{-\int_0^x \gamma(t) dt}]_{ik} I_k^*(0) \geq [e^{-\mathbb{A}x} e^{-\int_0^x \gamma(t) dt}]_{ij} I_j^*(0) > 0 \quad \forall x > 0$$

لان $[e^{-\mathbb{A}x} e^{-\int_0^x \gamma(t) dt}]_{ij}$ هو احتمال إصابة الفرد بالعدوى وفي المجموعة i في الوقت x ، مع العلم أنه كان في المجموعة j في وقت الإصابة. لكن جماعة i هو مجموعة الأساسية. لذلك يوجد ح مع $i \leftarrow h$. نستخدم (10) مع h بدلاً من k و i بدلاً من j : لدينا $I_h^*(0) > 0$. أخيراً، لدينا أيضاً $i \leftarrow h$ ، وبالتالي $I_i^*(0) > 0$ نتأخر من (10). وبعبارة أخرى، ينتقل بعض الأشخاص في المجموعة i إلى المجموعة h وبصيب الأشخاص في المجموعة i الأشخاص في المجموعة h وأخيراً الأشخاص في المجموعة h يصابون الأشخاص في المجموعة i .

- بشكل عام، نظراً لأن المجموعات الأساسية مرتبطة ببعضها البعض، هناك مسار من الحواف (العدوى أو الهجرة) i_1, \dots, i_p مع $i_1 = i$ و $i_p = j$. مع الحالتين السابقتين، نحصل $I_i^*(0) > 0$.

$$\varepsilon_i(x) = \alpha_i + \sum_{j \neq i} \alpha_{j \leftarrow i} + \gamma(x).$$

ثم يصبح (3)

$$\frac{dI_i^*}{dx} = -\varepsilon_i(x) I_i^*(x) + \sum_{j \neq i} \alpha_{i \leftarrow j} I_j^*(x).$$

مع $I_i^*(0) > 0$ ، نملك

$$I_i^*(x) = e^{-\int_0^x \varepsilon_i(t) dt} I_i^*(0) + \sum_{j \neq i} \alpha_{i \leftarrow j} \int_0^x e^{-\int_\xi^x \varepsilon_i(t) dt} I_j^*(\xi) d\xi > 0. \quad (11)$$

لقد فعلنا ذلك $I_i^*(x) > 0$ لجميع x لأي مجموعة أساسية i .

ضع في اعتبارك المجموعة i التي هي بالوعة. هناك مجموعة أساسية j ومسار حافة الترحيل i_1, \dots, i_p مع $i_1 = i$ و $i_p = j$. نحن نستخدم (11) مع ط استبدال تباعا i_1, \dots, i_{p-1} و $I_i^* \neq 0$ للجميع s . نحصل $I_j^*(x) > 0$

نفترض الآن أن أرقام المجموعة مرتبة

- المجموعات $1, \dots, N_c$ هي المجموعات الأساسية،
- المجموعات $N_c + 1, \dots, N_c + N_s$ هي المصارف،
- المجموعات $N_c + N_s + 1, \dots, n$ هم المجموعات الأخرى.

\mathbb{A} ثم تكون مصفوفة مثلثة عليا مع كتلة من الأصفار على الخط $N_c + N_s + 1$ إلى الصف n ومن العمود 1 إلى العمود $N_c + N_s$. المصفوفة $e^{-\mathbb{A}x}$ له نفس الشكل المثلث العلوي. نملك

$$I^*(x) = e^{-\mathbb{A}x} e^{-\int_0^x \gamma(t) dt} I^*(0).$$

نحصل $I_i^*(x) = 0$ للجميع $i > N_c + N_s$ ، أي لجميع المجموعات التي ليست مجموعات أساسية ولا مغاسل.

الاقتراح 5 نحدد

$$\Omega^{\text{drogue}} = \text{diag}(S^0) \mathbb{B}^{\text{drogue}}(S^0) \int_0^\infty e^{-\mathbb{A}t} e^{-\int_0^t \gamma(x) dx} dt$$

و

$$\Omega^{\text{sexe}} = \text{diag}(S^0) \mathbb{B}^{\text{sexe}}(S^0) \int_0^\infty e^{-\mathbb{A}t} e^{-\int_0^t \gamma(x) dx} dt.$$

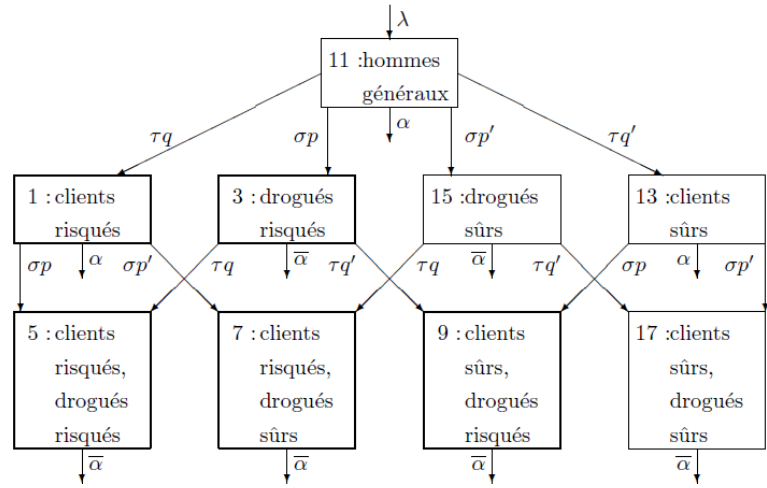
R_0^{drogue} نصف القطر الطيفي للمصفوفة Ω^{drogue} . R_0^{sexe} نصف القطر الطيفي للمصفوفة Ω^{sexe} . لدينا بعد ذلك

$$R_0 \geq \max\{R_0^{\text{drogue}}, R_0^{\text{sexe}}\}.$$

إثبات. أذكر أنه إذا مصفوفتين M و M' مع المعاملات $0 \leq M \leq M'$ ، ذلك بالقول $M_{ij} \leq M'_{ij}$ لجميع i و j ، فإن الأشعة الطيفية تكون هكذا $R_0(M) \leq R_0(M')$ [23، الفقرة 8.1.18]. $e^{-\mathbb{A}x}$ هي مصفوفة معاملات $0 \leq \Omega^{\text{drogue}}$ و Ω^{sexe} وبالتالي هي أيضًا مصفوفات بمعامل $0 \leq$ مع $\Omega = \Omega^{\text{sexe}} + \Omega^{\text{drogue}}$ ، نملك $\Omega \geq \Omega^{\text{drogue}}$ و $\Omega \geq \Omega^{\text{sexe}}$ ، ومن هنا الاستنتاج.

4. مثال محدد مع 18 مجموعة

دعنا نعود إلى النموذج مع المعاملات التي يمكن أن تعتمد على الوقت. لدينا بالفعل وضع كونمينغ ونوع البيانات المتاحة لإجراء بعض التبسيط. يشمل السكان الذين تم النظر فيهم الرجال والنساء الذين تتراوح أعمارهم بين 18 و 50 سنة. نحن نتصل $1/32$ عام⁻¹ معدل شيوخة السكان ($32 = 50 - 18$). لنفترض أن هؤلاء السكان مقسمون إلى ثمانية عشر مجموعة، مع تسع مجموعات من الرجال (الشكل 1) وتسع مجموعات من النساء (الشكل 2). يتعرض العاملون في مجال الجنس والعملاء للخطر إذا لم يستخدموا الواقي دائمًا، وأمنون إذا كانوا يستخدمون الواقي دائمًا. وبالمثل، فإن متعاطي المخدرات معرضون للخطر إذا قاموا في بعض الأحيان بإعادة استخدام الحقن، وأمنين إذا لم يفعلوا ذلك أبدًا.



الشكل 1. مقصورات نموذجية للسكان الذكور.

النظر في المخططات للرجال (الشكل 1). نحدد

- λ : تدفق الشباب إلى السكان.
- α : مجموع الوفيات ومعدل الشيخوخة بين الرجال الذين لم يتم تخديرهم.
- τ : المعدل الذي يصبح فيه الرجال عملاء.
- s : احتمال تعرض عميل جديد للخطر؛ $q' = 1 - q$.
- σ : معدل تخدير الرجال.
- $p' = 1 - p$: احتمال تعرض مدمني المخدرات الجدد للخطر؛
- $\bar{\alpha}$: مجموع الوفيات ومعدل الشيخوخة لدى الرجال المدمنين على المخدرات.

كل هذه المعلمات يمكن أن تعتمد على الوقت t . من المفترض أن الرجال الذين أصبحوا عملاء يواصلون زيارة العاملين في مجال الجنس حتى يتركوا السكان قيد النظر بسبب الشيخوخة. وفقاً للجدول 173 من تقرير [21] ،

- 25.6% من الرجال الذين تتراوح أعمارهم بين 18 و 30 عامًا كان لديهم اتصال جنسي مع عاملة الجنس في الأشهر الـ 12 الماضية ،
- 25.2% من الرجال الذين تتراوح أعمارهم بين 30 و 34 سنة ،
- 20.2% من الرجال الذين تتراوح أعمارهم بين 35 و 39 عامًا ،
- 19.1% من الرجال الذين تتراوح أعمارهم بين 40 و 44 عامًا ،
- 8.8% من الرجال الذين تتراوح أعمارهم بين 45 و 50.

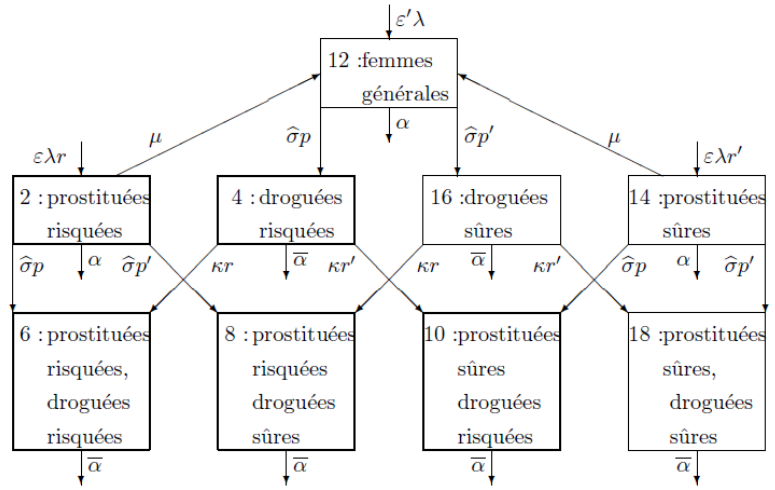
على عكس بعض البلدان في جنوب شرق آسيا ، لا توجد ذروة في الجنس التجاري في أصغر مجموعة. يبدو أن كونك عميلاً هو مسألة دخل. يمكن أن يسمح النموذج الأكثر واقعية للعملاء بالتوقف عن زيارة العاملين في مجال الجنس ، لكن البيانات المتاحة لـ يونان ليست كافية حقاً لفهم تناوب فترات النشاط والخمول المتعلقة بالجنس التجاري . يفترض النموذج أيضاً أن العملاء لا يزالون معرضين للخطر أو آمنين ، وبعبارة أخرى فإن الترويج للواقعي الذكري يؤثر فقط على العملاء الجدد.

من المفترض أيضاً أن مدمني المخدرات يواصلون حقن المخدرات طوال حياتهم وأنهم لا يزالون في خطر أو آمن. هذا التبسيط يتجاهل تأثير مراكز إزالة السموم الطوعية ، ومراكز إعادة التأهيل الإلزامية ، ومراكز إعادة التأهيل في العمل والبرامج التجريبية للحد من المخاطر للفترة الزمنية التي يتم فيها استخدام النموذج في الفقرة 6 ، وهذا يعني من عام 1994 إلى عام 2004. وبالفعل ، تم إنشاء مركز إعادة التأهيل في كونيغ في عام 1989 ، ولكن أظهر تحقيق أن 80% من مدمني المخدرات الذين مروا هناك تراجع قبل عامين [31]. مع نتائج أفضل قليلاً ، يوجد مركز تجريبي طوعي للتخلص من السموم يحتوي على سبع عيادات في كونيغ [39] ، عرضت العلاج بالميتادون منذ عام 1996 لمدمني المخدرات الذين يستطيعون تحمل تكاليفه ولكن بنسبة عائد 70% [15]. قد تكون هذه المعدلات المرتفعة ، التي تبرر بطريقة ما نموذجنا المبسط ، بسبب قرب مناطق إنتاج الهيروين ، ولا سيما ميانمار ، التي تجلب بشكل خاص هيروين نقي إلى كونيغ. هذا يسبب إدمان أقوى وأكثر ديمومة [31].

الآن فكر في الرسم البياني للنساء (الشكل 2). نحدد

- λ : تدفق الشبابات (يساوي تدفق الشباب).
- ε : احتمال تحول المرأة الشابة إلى عاملة جنسية ؛ $\varepsilon' = 1 - \varepsilon$.
- ν : احتمال تعرض عاملة جنسية جديدة للخطر ؛ $\nu' = 1 - \nu$.
- μ : المعدل الذي يتوقف عنده العاملون في مجال الجنس الذين لم يتم تخديرهم عن العمل.
- κ : المعدل الذي تصبح عنده النساء المخدرات عاملات الجنس.
- δ : معدل تخدير النساء.
- α : مجموع الوفيات ومعدل شيخوخة النساء غير المخدرات (مطابق للرجال).
- $\bar{\alpha}$: مجموع الوفيات ومعدل الشيخوخة لدى النساء المخدرات (مطابق للرجال المخدرات).

يعكس تقسيم الإناث إلى حد ما هيكلها العمري: يمكن للشابات دخول مجموعة المشتغلات بالجنس مباشرة. [22 ، جدول 1] يشير متوسط عمر 22.3 سنة للعاملين في الجنس. هناك أيضاً اختلاف طفيف في اتجاه الأسهم مقارنة بالشكل 1: يمكن لممارسي الجنس الذين لا يتم تخديرهم إيقاف هذا العمل. ومع ذلك ، فمن المفترض أن العاملين في مجال الجنس الذين يتم تخديرهم لا يتوقفون عن عملهم لأنهم مضطرون لدفع ثمن إدمانهم.



الشكل 2. مقصورات نموذجية للسكان الإناث.

لا يأخذ هذا النموذج في الاعتبار انتقال فيروس نقص المناعة البشرية من خلال جمع الدم غير الآمن ، والجنس غير التجاري ، والأم إلى الطفل والمثليين. وهي تتمحور حول النقطة التي يبدأ فيها فيروس نقص المناعة البشرية في الانتشار من متعاطي المخدرات إلى المشتغلين بالجنس وعملاتهم بسبب وجود المجموعتين 5 و 6: متعاطي المخدرات المعرضين للخطر والذين هم أيضا العملاء المعرضين للخطر ، المشتغلين بالجنس. المعرضين للخطر. مكونات المتجه $\Lambda(t)$ ومصفوفة $\mathbb{A}(t)$ وهي غير صفيرية يتم استنتاجها من الشكلين 1 و 2. على سبيل المثال ، $\Lambda_2 = \varepsilon \lambda r$ ، $\Lambda_{1,1} = \alpha + \sigma$ و $\Lambda_{1,11} = -\tau q$.

دعونا ننقل إلى شكل الاتصالات:

- من المفترض أن تكرر الزيارات للعاملين في مجال الجنس بين مجموعات العملاء المختلفة (المجموعات 1 ، 5 ، 7 ، 9 ، 13 ، 17) هو نفسه ، بحيث $A_i = A$ لهذه المجموعات و $A_i = 0$ لجميع المجموعات الأخرى. وهذا يعادل قانون الاحتمالات المذكور في [21 ، جدول 175] بتكرار الزيارات التي يقوم بها ثنائي / غير ثنائي بين العملاء بمتوسط تكرار للعملاء. بالإضافة إلى ذلك ، لا توجد بيانات عن يونان تربط بين تعاطي المخدرات وتواتر زيارات العاملين في مجال الجنس.
- من المفترض أن تواتر بيع العملات بالجنس (المجموعات 2 ، 6 ، 8 ، 10 ، 14 ، 18) لخدماتهم هو نفسه ، بحيث $a_i = a$ لهذه المجموعات و $a_i = 0$ لجميع المجموعات الأخرى. مع كل هذه الافتراضات ، المعلمة α يختفي من النموذج بسبب شكله $\mathbb{B}_{ij}^{\text{sex}}$ في (1). مرة أخرى ، لا توجد بيانات تربط بين تعاطي المخدرات وتواتر بيع الخدمات الجنسية في يونان.
- من المفترض أن يتم استخدام الواقي إذا كان أحد الشريكين "أمناً". لذلك المعامل c_{ij} ، التي تحتاج إلى أن تعرف فقط عندما ط هو مجموعة من العملاء و i مجموعة من العاملين في مجال الجنس ، تساوي 0 ل $i = 1, 5, 7$ و $j = 2, 6, 8$ ، وتساوي 1 خلاف ذلك.
- من المفترض أن معدل إعادة استخدام الحقن هو نفسه بين المجموعات المختلفة المعرضة لخطر مدمني المخدرات (المجموعات 3 ، 4 ، 5 ، 6 ، 9 ، 10) ، بحيث $B_i = B$ لهذه المجموعات و $B_i = 0$ لجميع المجموعات الأخرى. لا توجد بيانات متاحة حول هذا المعدل في يونان ، لذلك يجب اختيار B لضبط بيانات انتشار فيروس نقص المناعة البشرية.

أخيرا ، في حال $\gamma(t, x)$ لا يعتمد على t (أي قبل إدخال العلاج المضاد للفيروسات الرجعية) ، ثم هناك قانون احتمالية ثابت T_I لفترة حضانة الإيدز. $\exp(-\int_0^x \gamma(t) dt)$ هو احتمال أن شخصاً مصاباً بفيروس نقص المناعة البشرية لن يكون مصاباً بالإيدز بعد x سنوات من الإصابة. نملك

$$1 - \int_0^x T_I(t) dt = \exp\left(-\int_0^x \gamma(t) dt\right).$$

حتى مع صيغة ل $T_I(x)$ ، $\gamma(x)$ يتم حسابه بالصيغة

$$\gamma(x) = T_I(x) / \left(1 - \int_0^x T_I(t) dt\right).$$

5. عتبة الوباء

في هذا القسم ، نناقش عتبة الوباء للنموذج مع 18 مجموعة ومعلمات زمنية مستقلة ونحسب مصفوفة الجيل التالي Ω المعطاة بواسطة (5). لاحظ أن المجموعات من 1 إلى 10 هي مجموعات أساسية ، وأنهم مرتبطون ، وأن المجموعتين 12 و 16 مصادر ومصارف ، وأن المجموعات 11 و 13 و 14 و 15 هي مصادر وأن المجموعة 18 بنر. المجموعة 17 ليست مجموعة أساسية ، ولا مصدر ولا حوض. نرى أولاً أن حالة التوازن بدون مرض للسكان الذكور تعطي من قبل

$$\begin{aligned} S_{11}^0 &= \frac{\lambda}{\alpha + \sigma + \tau} , & S_1^0 &= \frac{\tau q}{\alpha + \sigma} S_{11}^0 , & S_{13}^0 &= \frac{\tau q'}{\alpha + \sigma} S_{11}^0 , \\ S_3^0 &= \frac{\sigma p}{\alpha + \tau} S_{11}^0 , & S_{15}^0 &= \frac{\sigma p'}{\alpha + \tau} S_{11}^0 , \\ S_5^0 &= \frac{\sigma p \tau q}{\alpha} \left(\frac{1}{\alpha + \sigma} + \frac{1}{\alpha + \tau} \right) S_{11}^0 , & S_7^0 &= \frac{\sigma p' \tau q}{\alpha} \left(\frac{1}{\alpha + \sigma} + \frac{1}{\alpha + \tau} \right) S_{11}^0 , \\ S_9^0 &= \frac{\sigma p \tau q'}{\alpha} \left(\frac{1}{\alpha + \sigma} + \frac{1}{\alpha + \tau} \right) S_{11}^0 , & S_{17}^0 &= \frac{\sigma p' \tau q'}{\alpha} \left(\frac{1}{\alpha + \sigma} + \frac{1}{\alpha + \tau} \right) S_{11}^0 . \end{aligned}$$

بالنسبة للإناث ، يتم إعطاء حالة التوازن دون مرض من قبل

$$\begin{aligned}
S_2^0 &= \frac{\varepsilon \lambda r}{\alpha + \hat{\sigma} + \mu}, & S_{14}^0 &= \frac{\varepsilon \lambda r'}{\alpha + \hat{\sigma} + \mu}, & S_{12}^0 &= \frac{\varepsilon' \lambda + \mu(S_2^0 + S_{14}^0)}{\alpha + \hat{\sigma}} \\
S_4^0 &= \frac{\hat{\sigma} p S_{12}^0}{\bar{\alpha} + \kappa}, & S_{16}^0 &= \frac{\hat{\sigma} p' S_{12}^0}{\bar{\alpha} + \kappa}, \\
S_6^0 &= \frac{\hat{\sigma} p S_2^0 + \kappa r S_4^0}{\bar{\alpha}}, & S_8^0 &= \frac{\hat{\sigma} p' S_2^0 + \kappa r S_{16}^0}{\bar{\alpha}}, \\
S_{10}^0 &= \frac{\hat{\sigma} p S_{14}^0 + \kappa r' S_4^0}{\bar{\alpha}}, & S_{18}^0 &= \frac{\hat{\sigma} p' S_{14}^0 + \kappa r' S_{16}^0}{\bar{\alpha}}.
\end{aligned}$$

المعاملات غير الصفريّة الوحيدة للمصفوفة $\mathbb{B}^{\text{drogue}}(N)$ هم

$$\mathbb{B}_{i,j}^{\text{drogue}}(N) = \frac{B \pi}{N_{\text{drogués à risque}}} \quad i, j = 3, 4, 5, 6, 9, 10,$$

مع $N_{\text{drogués à risque}} = N_3 + N_4 + N_5 + N_6 + N_9 + N_{10}$ نحدد

$$\beta_0 = \int_0^\infty e^{-\alpha t - \int_0^t \gamma(x) dx} dt,$$

مع تعبيرات مماثلة لـ $\beta_\sigma, \beta_\tau, \beta_{\sigma+\tau}$ و $\beta_{\sigma+\mu}$. نستبدل $\alpha + \sigma \rightarrow \alpha + \hat{\sigma}$ و $\alpha + \sigma + \tau$ و $\alpha + \hat{\sigma} + \mu$. نحدد بنفس الطريقة $\bar{\beta}_0, \bar{\beta}_\tau, \bar{\beta}_\kappa$ مع $\bar{\alpha}$ الذي يحل محل α . نحصل على مصفوفة الاقتراح 5:

$$\frac{\Omega_{i,j}^{\text{drogue}} S_{\text{drogué à risque}}^0}{B \pi S_i^0} = \sum_{k=3,5,9} T_{k,j} + \sum_{k=4,6,10} T_{k,j} \quad (12)$$

مع $\Omega_{i,j}^{\text{drogue}} = 0$ للمؤشرات الأخرى. أذكر أن تعريف $T_{i,j}$ بعد (6). لاحظ أن الجانب الأيمن من (12) هو توقع الوقت الذي يقضيه الشخص المصاب بفيروس نقص المناعة البشرية في الإصابة في مجموعة من متعاطي المخدرات المعرضين للخطر، إذا كانوا ينتمون إلى المجموعة ز أثناء الإصابة. باستخدام (6)، نصل إلى

$$\sum_{k=3,5,9} T_{k,j} + \sum_{k=4,6,10} T_{k,j} = \begin{cases} \bar{\beta}_0 & j = 3, 4, 5, 6, 9, 10, \\ p \sigma \frac{\bar{\beta}_0 - \beta_\sigma}{\alpha + \sigma - \bar{\alpha}} & j = 1, 11, 13, \\ p \hat{\sigma} \frac{\bar{\beta}_0 - \beta_{\hat{\sigma}}}{\alpha + \hat{\sigma} - \bar{\alpha}} & j = 2, 12, 14, \end{cases}$$

و $\Omega^{\text{drogue}} = 0$ لـ $j = 7, 8, 15, 16, 17, 18$ له نصف قطر طيفي

$$R_0^{\text{drogue}} = B \pi \bar{\beta}_0.$$

في الواقع، دعونا نكتب المعادلة المميزة لقيم eigenvalues Ω^{drogue} كمحدد ودعونا نطور المحدد على طول الخطوط المليئة بالأصفار. يتم تقليل المشكلة لإيجاد القيم الذاتية لمصفوفة من الدرجة 1 من النموذج

$$(S_3 \ S_4 \ S_5 \ S_6 \ S_9 \ S_{10})^T (1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1) B \pi \bar{\beta}_0 / S_{\text{drogués à risque}}^0.$$

T^T يشير إلى تبديل ناقلات. لكن نصف القطر الطيفي لمصفوفات الشكل

$$(y_1 \ \dots \ y_k)^T (z_1 \ \dots \ z_k)$$

اعطي من قبل

$$\sum_{i=1}^k y_i z_i,$$

كما يمكن التحقق منه بسهولة، وإلا انظر [17، ص. 80].

المعاملات غير الصفريّة الوحيدة للمصفوفة $\mathbb{B}^{\text{sexe}}(N)$ هم

$$\mathbb{B}_{i,j}^{\text{sexe}}(N) = \begin{cases} \frac{A \pi_2}{N_{\text{prostituées}}} & i = 1, 5, 7; j = 2, 6, 8, \\ \frac{A \pi_1}{N_{\text{prostituées}}} & i = 2, 6, 8; j = 1, 5, 7, \end{cases}$$

مع $N_{\text{prostituées}} = N_2 + N_6 + N_8 + N_{10} + N_{14} + N_{18}$ نحصل على المصفوفة Ω^{sexe}

$$\frac{\Omega_{i,j}^{\text{sexe}} S_{\text{prostituées}}^0}{A S_i^0} = \begin{cases} \pi_2 \sum_{k=2,6,8} T_{k,j}, & i = 1, 5, 7, j = 2j', \\ \pi_1 \sum_{k=1,5,7} T_{k,j}, & i = 2, 6, 8, j = 2j' + 1, \end{cases}$$

و $\Omega_{i,j}^{\text{sexe}} = 0$ وإلا لاحظ أن $\sum_{k=2,6,8} T_{k,j}$ (ريب. $\sum_{k=1,5,7} T_{k,j}$) هو توقع الوقت الذي يقضيه الشخص المصاب بفيروس نقص المناعة البشرية في الإصابة في مجموعة من المشتغلين بالجنس المعرضين للخطر (يتعاملون مع العملاء المعرضين للخطر)، إذا كانوا ينتمون إلى المجموعة ز أثناء الإصابة. باستخدام (6)، نصل إلى

$$\begin{aligned}
\sum_{i=2,6,8} T_{i,12} &= \frac{\kappa r \hat{\sigma}}{\alpha + \hat{\sigma} - \bar{\alpha} - \kappa} \left[\frac{\bar{\beta}_0 - \bar{\beta}_\kappa}{\kappa} - \frac{\bar{\beta}_0 - \beta_{\hat{\sigma}}}{\alpha + \hat{\sigma} - \bar{\alpha}} \right] \\
\sum_{i=2,6,8} T_{i,14} &= \sum_{i=2,6,8} T_{i,12} - \frac{\kappa r \hat{\sigma}}{\alpha + \hat{\sigma} + \mu - \bar{\alpha} - \kappa} \left[\frac{\bar{\beta}_0 - \bar{\beta}_\kappa}{\kappa} - \frac{\bar{\beta}_0 - \beta_{\hat{\sigma}+\mu}}{\alpha + \hat{\sigma} + \mu - \bar{\alpha}} \right] \\
\sum_{i=2,6,8} T_{i,2} &= \sum_{i=2,6,8} T_{i,14} + \beta_{\hat{\sigma}+\mu} + \hat{\sigma} \frac{\bar{\beta}_0 - \beta_{\hat{\sigma}+\mu}}{\alpha + \hat{\sigma} + \mu - \bar{\alpha}}, \\
\sum_{i=2,6,8} T_{i,4} &= \sum_{i=2,6,8} T_{i,16} = r(\bar{\beta}_0 - \bar{\beta}_\kappa), \\
\sum_{i=2,6,8} T_{i,6} &= \sum_{i=2,6,8} T_{i,8} = \sum_{i=1,5,7} T_{i,5} = \sum_{i=1,5,7} T_{i,7} = \bar{\beta}_0, \\
\sum_{i=1,5,7} T_{i,1} &= \beta_\sigma + \sigma \frac{\bar{\beta}_0 - \beta_\sigma}{\alpha + \sigma - \bar{\alpha}}, \\
\sum_{i=1,5,7} T_{i,3} &= \sum_{i=1,5,7} T_{i,15} = q(\bar{\beta}_0 - \bar{\beta}_\tau), \\
\sum_{i=1,5,7} T_{i,11} &= \sigma q \left[\frac{\bar{\beta}_0 - \beta_\sigma}{\alpha + \sigma - \bar{\alpha}} - \frac{\bar{\beta}_0 - \beta_{\sigma+\tau}}{\alpha + \sigma + \tau - \bar{\alpha}} \right] \\
&\quad + \frac{\tau q \sigma}{\alpha + \sigma - \bar{\alpha}} \left[\frac{\bar{\beta}_0 - \bar{\beta}_\tau}{\tau} - \frac{\bar{\beta}_0 - \beta_{\sigma+\tau}}{\alpha + \sigma + \tau - \bar{\alpha}} \right], \\
\sum_{i=1,5,7} T_{i,9} &= \sum_{i=1,5,7} T_{i,13} = \sum_{i=1,5,7} T_{i,17} = \sum_{i=2,6,8} T_{i,10} = \sum_{i=2,6,8} T_{i,18} = 0.
\end{aligned}$$

Ω^{sexe} له نصف قطر طيفي

$$R_0^{\text{sexe}} = \frac{A}{S_0^{\text{prostituées}}} \left\{ \pi_1 \pi_2 \left[\sum_{j=1,5,7} \left(\sum_{i=1,5,7} T_{i,j} \right) S_j^0 \right] \left[\sum_{j=2,6,8} \left(\sum_{i=2,6,8} T_{i,j} \right) S_j^0 \right] \right\}^{1/2}.$$

في الواقع ، نكتب كمحدد المعادلة المميزة للقيم الذاتية Ω^{sexe} . نقوم بتطوير المحدد على طول الخطوط الملينة بالأصفر. نأخذ الخطوط بالترتيب 1-5-7-2-6-8. تعود المشكلة لإيجاد القيم الذاتية لمصفوفة من الرتبة 2 من النموذج

$$M = \begin{pmatrix} 0 & M_2 \\ M_1 & 0 \end{pmatrix}.$$

M_1 و M_2 هي مصفوفات 3×3 معطى بواسطة

$$\begin{aligned}
M_1 &= \pi_1 \text{ colonne}(S_i)_{i=2,6,8} \text{ ligne} \left(\sum_{i=1,5,7} T_{i,j} \right)_{j=1,5,7}, \\
M_2 &= \pi_2 \text{ colonne}(S_i)_{i=1,5,7} \text{ ligne} \left(\sum_{i=2,6,8} T_{i,j} \right)_{j=2,6,8}.
\end{aligned}$$

$\bar{\omega}$ هو قيمة ذاتية غير صفرية لـ M إذا وفقط إذا $\bar{\omega}^2$ قيمة ذاتية غير صفرية للمصفوفة $M_1 M_2$. يتم حساب نصف القطر الطيفي على النحو الوارد أعلاه لأنه مصفوفة من الرتبة الأولى. انظر على سبيل المثال [42 ، ص. 415].

ضع في اعتبارك الحالة التي يكون فيها قانون احتمالية حضانة الإيدز هو قانون غاما

$$T_I(x) = \omega^\nu x^{\nu-1} e^{-\omega x} / \Gamma(\nu).$$

ω و ν مرتبطان بالمتوسط M_I والتباين V_I من T_I بالعلاقات $\omega = M_I / V_I$ و $\nu = (M_I)^2 / V_I$. من خلال دمج الأجزاء ، نحصل على

$$\beta_0 = \int_0^\infty e^{-\alpha x} \left(1 - \int_0^x T_I(t) dt \right) dx = \frac{1}{\alpha} \left(1 - \int_0^\infty e^{-\alpha x} T_I(x) dx \right) = \frac{1 - (1 + \alpha/\omega)^{-\nu}}{\alpha}$$

وتعابير مماثلة لـ β_σ ، $\beta_{\hat{\sigma}+\mu}$ ، $\beta_{\sigma+\tau}$ ، β_0 ، $\bar{\beta}_\tau$ و $\bar{\beta}_\kappa$.

يبدو من الصعب حساب نصف القطر الطيفي للمصفوفة الكاملة explicit. يمكننا بالطبع حساب هذا نصف القطر الطيفي رقمياً لجميع قيم المعلمات بالصيغ السابقة. نتذكر ذلك $R_0 \geq \max\{R_0^{\text{sexe}}, R_0^{\text{drogue}}\}$. يقدم هذا القسم صيغ واضحة لـ R_0^{sexe} و R_0^{drogue} .

6. تقدير ومحاكاة كونمينغ

بالنسبة للمحاكاة ، أخذنا قيم المعلمات من الجدول 3.

الجدول 3. المعلمات والقيم العددية المختارة للمحاكاة.

1994-2004	فترة
-----------	------

α	معدل الشيخوخة	1/32 سنة ⁻¹
$\bar{\alpha}$	معدل خروج المخدرات	1/18 سنة ⁻¹
$1/\delta$	متوسط العمر المتوقع للإيدز	سنة واحدة
M_I	متوسط مدة الحضانة	12.6 سنة
$\sqrt{V_I}$	الانحراف المعياري لفترة الحضانة	9.4 سنة
λ	تيار الإدخال	27000 سنة ⁻¹
σ	معدل بدء المخدرات من الذكور	9×10^{-4} عام ⁻¹
$\hat{\sigma}$	معدل بدء المخدرات للإناث	3×10^{-4} عام ⁻¹
τ	معدل ليصبح العميل	$1,2 \times 10^{-2}$ عام ⁻¹
A	زيارات العملاء	2.4 شهر ⁻¹
$1/\mu$	وقت العمل	2.5 سنة
ϵ	تصبح الشباب عاملات الجنس	30%
ν	مدمنو المخدرات الجدد المعرضون للخطر	25% ↗ 50%
π	عملاء جدد في خطر	70% ↘ 10%
ν	عاملات الجنس الجدد في خطر	70% ↘ 10%
π_1	احتمالية انتقال المرض من رجل إلى آخر	0.7%
π_2	احتمالية انتقال المرض من امرأة إلى رجل	1.4%
$B\pi$	سعر صرف حقنة × احتمالية انتقال المرض	4 سنوات ⁻¹
κ	النساء المخدرات البيغاء أنفسهن	0.1 سنة ⁻¹

بعض التعليقات ضرورية:

- نختار التاريخ $r = 0$ في منتصف عام 1994. على الرغم من أنه تم بالفعل الإبلاغ عن بعض حالات الإصابة بفيروس نقص المناعة البشرية قبل ذلك التاريخ في كورمينغ ، فإن هذا الاختيار لنقطة البداية يسمح بتعديل أفضل للنمو السريع للعدوى. بين متعاطي المخدرات في 1995-1996.
- نظرًا لأن عمر السكان الذين تمت دراستهم يتراوح بين 18 و 50 عامًا وبما أن معدل الوفيات منخفض في هذه الفئة العمرية للأشخاص غير المدمنين ، فقد حافظنا فقط على معدل الشيخوخة α .
- في الجدول 2 ، ربما يكون عدد السكان لعام 1999 هو الرقم الأكثر موثوقية لأنه يأتي من التعداد. تشير تقديرات السنوات اللاحقة (2000 و 2002) إلى أن عدد السكان ينمو بنحو 45000 سنويًا خلال هذه الفترة. وبالتالي نحصل عكسًا على التقدير 1.838 مليون لمجموع السكان في 1994 وحوالي 0.92 مليون في 18-50 سنة إذا افترضنا أنهم يمثلون حوالي 50% من مجموع السكان.
- أخذنا كشرط أولي

$$S(t = 0) = (63784, 11662, 711, 118, 215, 157, 645, 472, 92, 67, 361635, 440899, 27336, 4998, 2133, 354, 276, 202)$$

بالإضافة إلى فرد مصاب حديثًا في المجموعة 5 ، وهو من متعاطي المخدرات المعرضين للخطر والذين هم أيضًا عملاء. هناك بعض التعسف في هذه الاختيارات (نحن لا نفصل كيف اخترنا هذه الأرقام) ، لكنهم يقدمون تقديرات معقولة:

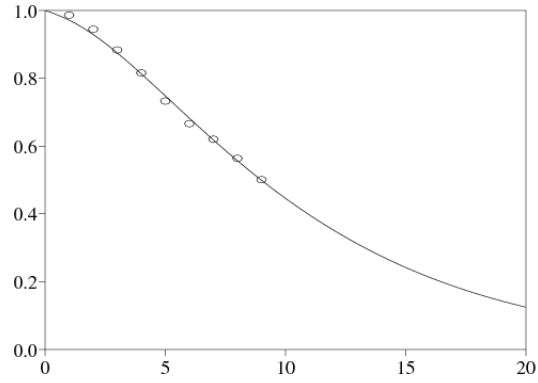
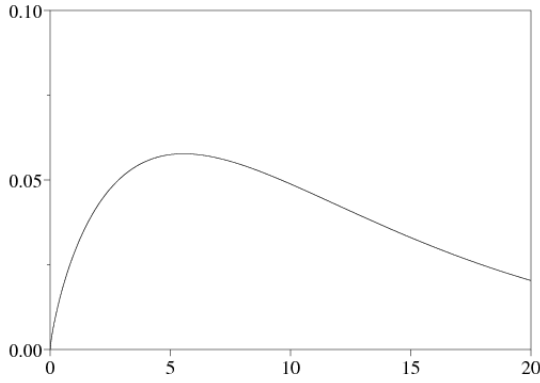
- السكان الذين تتراوح أعمارهم بين 18 و 50 من 0.92 مليون ،
- حوالي 20% من الرجال عملاء ،
- 70% من العملاء معرضون للخطر ،
- عمال الجنس لديهم حوالي 3 عملاء في الأسبوع ،
- 70% من المشتغلين بالجنس معرضون للخطر ،
- يمثل الرجال المخدرون 0.9% من السكان الذكور
- 25% من مدمني المخدرات معرضون للخطر.
- للمعلمة $\bar{\alpha}$ تمت إضافة معدل الوفيات لمتعاطي المخدرات المقدر ب [18] إلى معدل الشيخوخة. في نهاية دراسة استمرت أربع سنوات على 192 مدمنًا سلبيًا لفيروس نقص المناعة البشرية ، مات 18. نحدد δ^{drogue} ، الوفيات السنوية لمدمني المخدرات. لدينا بعد ذلك $18/192 = 1 - \exp(-4\delta^{\text{drogue}})$ ، وبالتالي $\delta^{\text{drogue}} \simeq 0,0246$ سنويًا. أخيرًا $\bar{\alpha} = \alpha + \delta^{\text{drogue}}$.
- متوسط العمر المتوقع للمصابين بالإيدز يأتي من دراسة أجريت في جزء آخر من يونان [53]. تعطي هذه الدراسة نفسها احتمالات بقاء مدمني المخدرات الإيجابيين لفيروس نقص المناعة البشرية كدالة للوقت المنقضي منذ الإصابة. لتقدير متوسط وتنوع قانون جاما الذي يمثل فترة حضانة الإيدز ، نحدد
 - $Z_I(t)$ احتمال أن يكون مدمن المخدرات إيجابي في وقت t إذا حدثت العدوى في الوقت $t = 0$.
 - $Z_R(t)$ احتمال أن يكون مدمن المخدرات إيجابي في وقت t إذا حدثت العدوى في الوقت $t = 0$.

$$\frac{dZ_I}{dt} = -(\delta^{\text{drogue}} + \gamma(t)) Z_I(t), \quad \frac{dZ_R}{dt} = \gamma(t) Z_I(t) - \delta Z_R(t)$$

مع الشروط الأولية $Z_I(0) = 1$ و $Z_R(0) = 0$. نحل هذا النظام ونستخدم العلاقة بين $\gamma(t)$ و $T_I(t)$. نحصل

$$Z_I(t) = e^{-\delta^{\text{drogue}} t} \left(1 - \int_0^t T_I(x) dx \right), \quad Z_R(t) = \int_0^t T_I(x) e^{-\delta^{\text{drogue}} x} e^{-\delta(t-x)} dx.$$

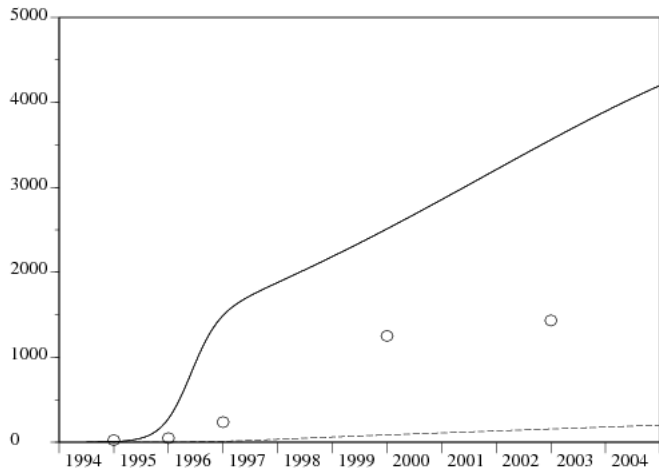
لذلك من السهل نسبيًا حساب احتمالية بقاء مدمني المخدرات $Z_I(t) + Z_R(t)$ كدالة للوقت منذ الإصابة تحت هذا النموذج. الأنسب في المربعات الصغرى للبيانات في [53] يعطي $M_I = 12,6$ سنوات و $\sqrt{V_I} = 9,4$ سنوات (الشكل 3). بطريقة [33] ، ص. 113 ، منطقة ثقة 95% ($M_I, \sqrt{V_I}$) هي منطقة ضيقة داخل المستطيل $[18.7 9.9] \times [17.9 5.8]$. هذه التقديرات لا تأخذ في الاعتبار فترات الثقة في بيانات [53] ، الذين يستخدمون طريقة كابلان وماير لمنحنى البقاء. تذكر أن العلاج بمضادات الفيروسات القهقرية لم يكن متاحًا بسهولة في يونان خلال فترة المحاكاة.



الشكل 3. اليسار: احتمال بقاء متعاطي المخدرات الإيجابية لفيروس نقص المناعة البشرية كدالة للوقت منذ الإصابة (الخط الصلب): $Z_I(t) + Z_R(t)$ مع الخيار الأمثل M_I و V_I . الدوائر: بيانات من [53]. على اليمين: قانون احتمالية فترة حضانة الإيدز T_I .

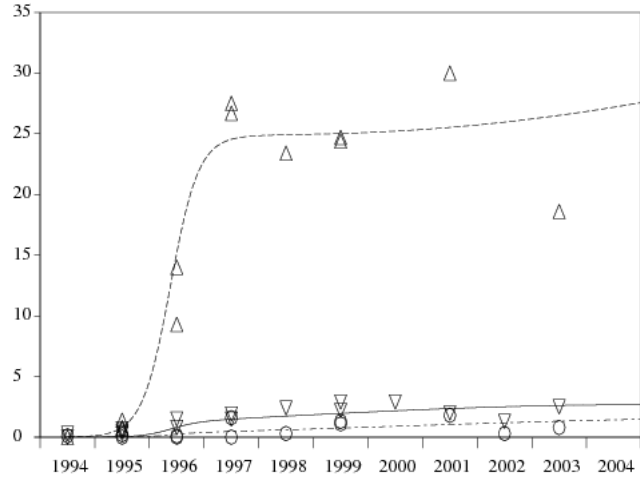
- تشمل الدراسات السلوكية التي أجرتها *Horizon Market Research and Futures Group Europe* الرجال والعاملين في مجال الجنس من عدة مدن رئيسية في يونان. من المفترض أنه لا يوجد فرق سلوكي كبير بين سكان هذه المدن ، لذلك يمكن أن تمثل المتوسطات الوضع في كونمينغ.
- لقد اخترنا المعلمة λ لزيادة عدد السكان الذين تتراوح أعمارهم بين 18 و 50 عامًا بمقدار 45000 سنويًا. الزيادة في مجموع السكان هي بلا شك بسبب وصول المهاجرين الذين تتراوح أعمارهم بين 18 و 50 من الريف (الزيادة الطبيعية بسبب المواليد صغيرة بسبب سياسة الطفل الوحيد). اخترنا المعلمة σ حتى $N_{\text{hommes drogués}}/N_{\text{hommes}} \simeq 0,9\%$ في نهاية عام 2001 ، على النحو المبين [21] ، الجدول [136].
- المُخدِّرين والنساء المُخدِّرات. العدد الإجمالي الناتج عن متعاطي المخدرات يقترب من تقدير [39] ، أي 7000 شخص قاموا بحقن المخدرات في كونمينغ في عام 2002. اخترنا المعلمة τ بحيث $N_{\text{clients}}/N_{\text{hommes}} \simeq 21,4\%$ في نهاية عام 2001 ، كما هو موضح في الجدول 149 من التقرير عن الرجال البالغين.
- أخذنا المعلمات A و $1/\mu$ مباشرة من التقارير [21] ، [22] ، الجداول 63 و 174. لقد اخترنا المعلمة ϵ بحيث يكون متوسط عدد العملاء لكل عامل جنس $A S_{\text{clients}}/S_{\text{prostituées}}$ في عام 2001 يتزامن مع التقدير الوارد في الجدول 78 من تقرير المشتغلين بالجنس. ونتيجة لذلك ، فإن تقدير عدد المشتغلين بالجنس في المحاكاة ، البالغ حوالي 20000 في نهاية عام 2001 ، يبدو معقولًا عند مقارنته بالتقديرات الغامضة المقدمة لمدن أخرى في الصين. [54]
- نأخذ $p(t)$ ، $q(t)$ ، ووظائف أفيني $r(t)$ طوال مدة المحاكاة. مثلاً ، $p(t) = p(0)(1 - t/T) + p(T)t/T$ هو الوقت في نهاية المحاكاة ، أي في نهاية عام 2004. لقد اخترنا القيم الأولية والنهائية لتعديل البيانات: 20.4% من المحاقن التي تمت مشاركتها في 1994 [49] ، 32% في عام 2003 [27] ، 46% من العملاء المعرضين للخطر في عام 2001 [22] ، الجدول [181] ، 35% من العاملين في الجنس المعرضين للخطر في عام 2001 [21] ، الجدول [84]. $p(t)$ ، $q(t)$ و $r(t)$ تمثل النسب المئوية لمتعاطي المخدرات الجدد والعملاء الجدد والعاملين الجدد في مجال الجنس. وبالتالي هناك فجوة بين قيمهم والنسب المئوية الحالية بين مدمني المخدرات والعملاء والمشتغلين بالجنس. التغيير أسرع بين العاملين في مجال الجنس لأنهم يعملون فقط قبل بضع سنوات من استبدالهم. بالنسبة لمدمني المخدرات ، يستغرق الأمر وقتًا أطول للعملاء أكثر.
- وفقًا لـ [30] ، الذي درس انتقال فيروس نقص المناعة البشرية في سياق مماثل ، أي بين المشتغلين بالجنس وعمالهم في تايلاند ، فإن احتمال انتقال العدوى من امرأة إلى أخرى أثناء الاتصال الجنسي يمكن أن يصل إلى 6% بسبب الانتشار العالي للأمراض المنقولة جنسياً بين المشتغلين بالجنس. على الرغم من أن العديد من المشتغلين بالجنس في كونمينغ يعانون أيضًا من هذه العدوى ، تميل المحاكاة العددية لدينا إلى إظهار أن احتمال انتقال العدوى مرتفع جدًا. π_1 و π_2 لذلك تم اختيارهم لتعديل معدل انتشار فيروس نقص المناعة البشرية بين العملاء والمشتغلين بالجنس ، بافتراض أن انتقال العدوى من امرأة إلى رجل أقل مرتين من رجل إلى آخر.
- لقد اخترنا المنتج $B \text{ adjust}$ لضبط انتشار فيروس نقص المناعة البشرية بين متعاطي المخدرات. لقد اخترنا المعلمة $have$ أن يكون لدينا ما يقرب من نصف النساء المخدرات اللواتي يمارسن البغاء.

شكل 4 هو نتيجة محاكاة النموذج مع قيم المعلمات على النحو الوارد أعلاه ؛ ويبين العدد الإجمالي للأشخاص المصابين بفيروس نقص المناعة البشرية والعدد الإجمالي للأشخاص المصابين بالإيدز. لم يتم تحديد العديد من الحالات لأن الناس يخشون التمييز في حالة اختبار فيروس نقص المناعة البشرية الإيجابي ؛ لذلك من الصعب الحصول على تقديرات لإجمالي عدد الحالات في كونمينغ. نحن نعلم أنه في سبتمبر 2003 ، تم الإبلاغ عن 13948 حالة إصابة بفيروس نقص المناعة البشرية و 841 حالة إصابة بالإيدز في يونان [1] وأنه في سبتمبر 2004 ، وصلت هذه الأرقام إلى 17390 و 1118 [2]. تقديرات العدد الإجمالي لحالات الإصابة بفيروس نقص المناعة البشرية في عام 2004 حوالي 100,000 للإقليم بأكمله [1]. تعطي هذه المحاكاة حوالي 4200 شخص مصاب بفيروس نقص المناعة البشرية أو الإيدز في نهاية عام 2004 في مدينة كونمينغ بين الأشخاص الذين تتراوح أعمارهم بين 18 و 50 عامًا ، والتي تشمل الغالبية العظمى من الإصابات. بما أن عدد سكان يوننان كان حوالي 43 مليون نسمة في عام 2004 (42.88 مليون في تعداد عام 2000) ، تم حساب معدل الانتشار لكل سكان كونمينغ ($4\ 200/2\ 290\ 000 \simeq 0,18\%$) قريبة من تلك المقدرة لجميع يوننان ($100\ 000/43\ 000\ 000 \simeq 0,23\%$). (المناطق القريبة من حدود ميانمار بها المزيد من الإصابات ، في حين أن المناطق الريفية المعزولة أقل.



الشكل 4: العدد الإجمالي للأشخاص المصابين بفيروس نقص المناعة البشرية أو الإيدز (الخط الصلب) والإيدز (الخط المنقط) وفقاً للمحاكاة. الحالات المبلغ عنها من الجدول 1 (الدوائر).

يوضح الشكل 5 انتشار فيروس نقص المناعة البشرية بين متعاطي المخدرات والعاملين في مجال الجنس والعملاء وفقاً للمحاكاة ويظهر أيضاً البيانات المقابلة في الجدول 1.



الشكل 5. انتشار فيروس نقص المناعة البشرية بين متعاطي المخدرات [الخط المنقط للمحاكاة والمثلثات التي تشير إلى البيانات في الجدول 1] ، والمشتغلين بالجنس [الخط الثابت والمثلثات التي تشير لأسفل] والعملاء [الخط المختلط والدوائر].

مثل معظم النماذج الوبائية ، تكون المنحنيات حساسة تماماً للتغيرات في المعلمات. من المؤكد أن هذا سيكون مشكلة إذا أردنا وضع توقعات لمستقبل الوباء ، ولكن من الأفضل عند التكيف مع البيانات. ومع ذلك ، من الصعب تحليل حساسية المعلمات المقدرة لأن 19 معلمة متورطة في النموذج (الجدول 3).

سبب آخر لعدم مواصلة المحاكاة للتنبؤ هو أن العديد من التدابير الهامة قد تم اعتمادها مؤخراً في كورنمينغ ويونان ، والتي يمكن أن تغير النقل بشكل عميق:

- قررت حكومة مقاطعة يونان بنشاط تعزيز الواقي الذكري [1]. وبحلول نهاية عام 2004 ، تم تركيب 620 آلة تبيع الواقي الذكري ، ولا سيما في جميع فنادق المدينة [2].
- بدأ برنامج جديد للحد من المخاطر (معلومات الإيدز في الصين ، 2004) ، قد يثبت أنه أكثر فعالية وبائية من المشاريع التجريبية الصغيرة ومراكز إعادة التأهيل ؛
- في مارس 2005 ، أصدر مكتب كورنمينغ لمكافحة الإيدز لوائح تتطلب اختباراً واحداً لفيروس نقص المناعة البشرية سنوياً لأي شخص يعمل في فندق وحمام عام وصالون تجميل وملهى ليلي وأماكن ترفيه أخرى في كورنمينغ [3]. لن يُسمح للعاملين في مجال الجنس المصابين بفيروس نقص المناعة البشرية بالعمل بعد الآن ، لذلك سيفقدون وظائفهم أو يضطرون إلى تغيير وظائفهم داخل نفس المؤسسة ولكن دون الاتصال الجنسي مع العملاء.

من المستحيل التنبؤ كمياً بكيفية تأثير هذه التدابير على معايير النموذج. لاحظ أيضاً أنه على عكس تايوان ، لم تُبذل أي محاولة حتى الآن لإثناء العملاء عن زيارة المشتغلين بالجنس.

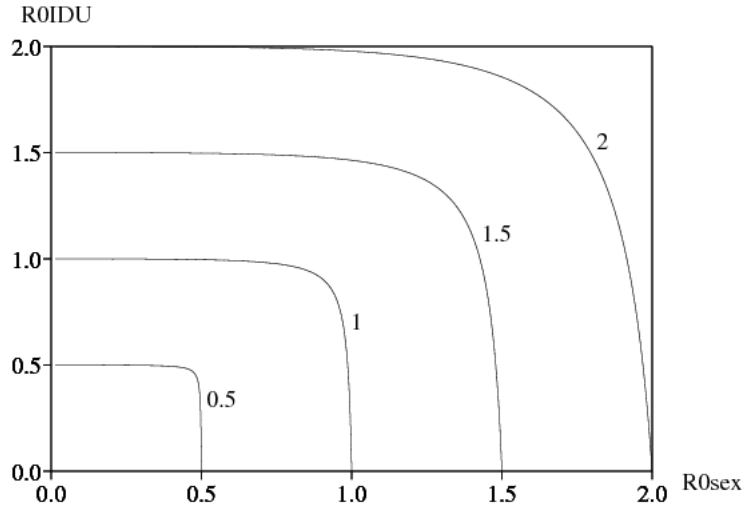
7. الخاتمة

الارقام R_0 ، R_0^{drogue} و R_0^{sexe} تم تحديدها فقط عندما تكون معلمات النموذج ثابتة. لكن p و q و r تختلف في محاكاة القسم السابق. ومع ذلك ، باستخدام المعلمات في الجدول 3 ، نحصل على ذلك $R_0^{\text{drogue}} = B \pi \bar{\beta}_0 \simeq 32$ وبالتالي ينبغي تقسيم ناتج سعر صرف الحقن B واحتمال انتقالها عن طريق الحقنة by على الأقل 32 لوقف الوباء بين متعاطي المخدرات. يمكن لبرامج تبادل الحقن أن تقلل من B ، بينما يمكن أن تقلل حملة حول كيفية تنظيف الحقن π . يجب أن تصل هذه التدابير $1 - 1/32 \simeq 97\%$ من متعاطي المخدرات. كان أحد الأهداف التي حددتها خطة العمل لوقف فيروس نقص المناعة البشرية / الإيدز والوقاية منه ومكافحته (2001-2005) في نهاية عام 2005 هو أن "95% من السكان في مراكز العلاج من تعاطي المخدرات ومراكز إعادة التأهيل والسجون لديهم معرفة أساسية بالوقاية من فيروس نقص المناعة البشرية".

حتى لو تم تحقيق هذا الهدف في هذه المؤسسات ، لا يمر بعض متعاطي المخدرات من خلال هذه المؤسسات. لذلك يبدو أن الوصول إلى 97% من الأشخاص المعرضين للخطر أمر صعب للغاية.

مع معلمات الجدول 3 ، نحصل أيضاً على ذلك $R_0^{\text{sexe}} \simeq 4,25\sqrt{qr}$. لقد فعلنا ذلك $R_0^{\text{sexe}} < 1$ بمجرد أن يكون الوسط الهندسي للسلوكيات الخطرة بين العملاء والعاملين في مجال الجنس من هذا القبيل $\sqrt{qr} < 23\%$. تذكر أنه في عام 2001 ، كان 46% من العملاء و 35% من العاملين في مجال الجنس معرضين للخطر $\sqrt{0,46 \times 0,35} \simeq 40\%$. وبالتالي ، سيكون كافياً تقسيم السلوكيات الخطرة على اثنين لوقف الوباء الجنسي.

يعتبر المنطق أعلاه طريقتي الإرسال بشكل منفصل. قد يتساءل المرء ما إذا كان هذا صحيحاً لأن النموذج يجمع بين القناتين. اختيار على سبيل المثال $f = v$ والقيام تختلف B . نحصل على الشكل 6 الذي يوضح خطوط المستوى R_0 يتم حسابها باستخدام صيغ القسم 5. بدلاً من وضع $q = r$ و B على المحاور ، نضع R_0^{sexe} و R_0^{drogue} التي تتناسب معها.



الشكل 6. خطوط الكنتور R_0 في الرسم البياني مع R_0^{sex} على الخراج و R_0^{drogue} على الإحداثي.

الجدير بالملاحظة هو أن التقريب $R_0 \simeq \max\{R_0^{\text{sex}}, R_0^{\text{drogue}}\}$ تبدو جيدة ، على الأقل بالقرب من العتبة $R_0 = 1$. هذا يبرر بطريقة أو بأخرى النظر في طريقتين للانتقال بشكل منفصل عند مناقشة عتبة الوباء.

نملك $R_0^{\text{sex}} \ll R_0^{\text{drogue}}$ من بين التدابير الجديدة المعتمدة في كونمينغ ويوننان ، فإن أولئك الذين يستهدفون متعاطي المخدرات أكثر إلحاحًا من أولئك الذين يستهدفون الانتقال الجنسي. ومع ذلك ، فإن المجموعة الضالعة في الانتقال الجنسي (العاملات في الجنس وعمالهم) أكبر بكثير من المجموعة الضالعة في نقل المخدرات بالحقن. بالإضافة إلى ذلك ، لا يأخذ النموذج في الاعتبار الانتقال الجنسي غير التجاري ، والذي يمكن أن يشمل مجموعة أكبر ولكن يمكن تقليله إذا ، على سبيل المثال ، يستخدم العملاء والعاملون في مجال الجنس (السابقون) أيضًا الواقي الذكري لعلاقاتهم غير التجارية. تتطلب المناقشة الدقيقة لفعالية الأشكال المختلفة للوقاية المزيد من المعلومات حول التكاليف. هذا خارج نطاق هذا المقال ،

شكر

تمت كتابة أجزاء من هذه المقالة أثناء زيارة N.Bacaër لمختبر علوم الكمبيوتر والأتمتة والرياضيات التطبيقية (LIAMA) في بكين ، بينما زار X. Abdurahman معهد البحوث للتنمية في فرنسا.

المراجع البيولوجية

1. Agence Xinhua (23/02/2004). Yunnan declares last – ditch war against AIDS. http://news.xinhuanet.com/english/2004-02/23/content_1326621.htm
2. Agence Xinhua (01/12/2004). Yunnan province reports progress in HIV/AIDS prevention. <http://english.sina.com/china/1/2004/1201/121616.html>
3. Agence Xinhua (21/03/2005). Kunming conducts AIDS, venereal disease test in service sector. www.sina.com.
4. Anderson, R. M., G. F. Medley, R. M. May et A. M. Johnson (1986). A preliminary study of the transmission dynamics of the human immunodeficiency virus (HIV), the causative agent of AIDS. *J. Math. Appl. Med. Biol.* 3, 229 – 263.
5. Bacaër, N. (2003). The asymptotic behavior of the McKendrick equation with immigration. *Math. Popul. Stud.* 10, 1 – 20.
6. Berman, A. et R. J. Plemmons (1994). *Nonnegative Matrices in the Mathematical Sciences*. Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphie.
7. Bignami – Van Assche, S. (2004). Estimates and projections of HIV/AIDS for Yunnan province, China. *Population Review* 43, No. 2, Section 1.
8. Brown, T. et W. Peerapatnapokin (2004). The Asian epidemic model : a process model for exploring HIV policy and programme alternatives in Asia. *Sex. Transm. Infect.* 80, i19 – i24.
9. Capasso, V., D. Morale, M. Di Somma, M. Villa, A. Nicolisi et F. Sicurello (1997). Multistage models of HIV transmission among injecting drug users via shared drug injection equipment, in O. Arino et al. (Eds), *Advances in Mathematical Population Dynamics – Molecules, Cells and Man*, World Scientific, Singapour, p. 511 – 527.
10. Castillo – Chavez, C., K. Cooke, W. Huang et S. A. Levin (1989a). On the role of long incubation periods in the dynamics of acquired immunodeficiency syndrome (AIDS) – part 1 : single population models. *J. Math. Biol.* 27, 373 – 398.
11. Castillo – Chavez, C., K. Cooke, W. Huang et S. A. Levin (1989b). On the role of long incubation periods in the dynamics of acquired immunodeficiency syndrome (AIDS) – part 2 : multiple group models, in C. Castillo – Chavez (Ed), *Mathematical and Statistical Approaches to AIDS Epidemiology*, Springer – Verlag, New York, p. 200 – 217.
12. Cheng, H., J. Zhang, J. Kou, Y. Zhang, X. Zhang, M. Jia, X. Bi, Y. Ma, Y. Liang, Z. Yang, S. Pan et X. An (1996). HIV infection tends to spread to whole Yunnan province. *Chin. J. STD/AIDS Prev. Cont.* 2, 54 – 57.

13. China AIDS Info (7 April 2004). Yunnan passes new AIDS policy, will provide clean needles to drug users. www.china-aids.org.
14. Cohen, J. (2004a). HIV/AIDS in China – Poised for takeoff? *Science* 304, 1430 – 1432.
15. Cohen, J. (2004b). HIV/AIDS in China – Changing course to break the HIV – heroin connection. *Science* 304, 1434 – 1435.
16. Cohen, J. (2004c). HIV/AIDS in Asia – Asia and Africa : on different trajectories? *Science* 304, 1932 – 1938.
17. Diekmann, O. et J. A. P. Heesterbeek (2000). *Mathematical Epidemiology of Infectious Diseases*. John Wiley & Sons, Chichester.
18. Duan, Y., X. Zheng et C. Zhen (1995). Investigation of mortality among HIV – infected intravenous drug users in Ruili region of Yunnan province. *Zhonghua Liu Xing Bing Xue Za Zhi* 16, 71 – 73.
19. Greenhalgh, D. et F. Lewis (2002). The general mixing of addicts and needles in a variable – infectivity needle – sharing environment. *J. Math. Biol.* 44, 561 – 598.
20. Hethcote, H. W. et H. R. Thieme (1985). Stability of the endemic equilibrium in epidemic models with subpopulations. *Math. Biosci.* 75, 205 – 227.
21. Horizon Market Research et Futures Group Europe (2002a). 2001 behavioural surveillance survey in Yunnan and Sichuan – adult male report. www.futuresgroup.com/Documents/2001BSSadultmale.pdf.
22. Horizon Market Research et Futures Group Europe (2002b). 2001 behavioural surveillance survey in Yunnan and Sichuan – sex worker report. www.futuresgroup.com/Documents/2001BSSsexworker.pdf.
23. Horn, R. A. et C. R. Johnson (1985). *Matrix Analysis*. Cambridge University Press, Cambridge.
24. Huang, W., K. L. Cooke et C. Castillo – Chavez (1992). Stability and bifurcation for a multiple – group model for the dynamics of HIV/AIDS transmission. *SIAM J. Appl. Math.* 52, 833 – 854.
25. Hyman, J. M. et E. A. Stanley (1988). Using mathematical models to understand the AIDS epidemic. *Math. Biosci.* 90, 415 – 473.
26. Iannelli, M., F. A. Milner, A. Pugliese et M. Gonzo (1997). The HIV/AIDS epidemics among drug injectors : a study of contact structure through a mathematical model. *Math. Biosci.* 139, 25 – 58.
27. Ka, K. (2004). Voluntary counseling and testing among injecting drug users in Kunming city, Yunnan Province. 15th International AIDS Conference, Bangkok, résumé no. WePeC5999.
28. Kermack, W. O. et A. G. McKendrick (1933). Contributions to the mathematical theory of epidemics – III. Further studies of the problem of endemicity. *Proc. Roy. Soc. London Ser. A* 141, 94 – 122. *Bull. Math. Biol.* 53 (1991), 89 – 118.
29. Lu, L., M. Jia, X. Zhang, H. Luo, Y. Ma, L. Fu et J. Lu (2004). Analysis for epidemic trend of acquired immunodeficiency syndrome in Yunnan Province of China. *Chin. J. Prev. Med.* 38, 309 – 312.
30. Mastro, T. D., G. A. Satten, T. Nopkesorn, S. Sangkharomya et I. M. Longini (1994). Probability of female – to – male transmission of HIV – 1 in Thailand. *Lancet* 434, 204 – 207.
31. McCoy, C. B., S. Lai, L. R. Metsch, X. Wang, C. Li, M. Yang et L. Yulong (1997). No pain no gain, establishing the Kunming, China, drug rehabilitation center. *Journal of Drug Issues* 27, 73 – 85.
32. Merli, M. G., S. Hertog, B. Wang et J. Li (2004). Modelling the course of the HIV/AIDS epidemic in China : an application of a bio – behavioral macrosimulation model of the spread of HIV/AIDS. Centre de Démographie et Écologie, manuscrit no. 2004 – 14, Université de Wisconsin – Madison.
33. Motulsky, H. J. et A. Christopoulos (2003). Fitting models to biological data using linear and nonlinear regression. A practical guide to curve fitting. GraphPad Software Inc., San Diego, www.graphpad.com.
34. Monitoring the AIDS Pandemic Network (2004). AIDS in Asia : face the facts – a comprehensive analysis of the AIDS epidemics in Asia. www.mapnetwork.org/docs/MAP_AIDSinAsia2004.pdf.
35. Bureau national des statistiques de Chine (1994 – 2003). *China Population Statistics Yearbook*. China Statistic Press, Pékin.
36. Office régional de l’OMS pour le Pacifique ouest et Ministère de la santé de la République populaire de Chine (2001). Prevalence survey of sexually transmitted infections among female sex workers and truck drivers in China 1999 – 2000. www.wpro.who.int.
37. Pan, S., H. Cheng, J. Zhang, M. Jia, X. Bi, Y. Zhang, X. Zhang, J. An, Y. Ma, Z. Yang, Y. Liang et J. Kou (1997). Survey of the current situation of the HIV infection epidemic in Yunnan province. *Chin. J. STD/AIDS Prev. Cont.* 3, 244 – 247.
38. Pugliese, A. (1992). Stationary solutions of a multigroup model for AIDS with distributed incubation and variable infectiousness, in G. Da Prato (Ed), *Mathematical aspects of human diseases*, Giardini, Pise, p. 110 – 125.
39. Razak, M. H. (2002). Situation assessment of injection drug users in Yunnan province – People’s Republic of China. Futures Group Europe Report.
40. Thieme, H. et C. Castillo – Chavez (1989). On the role of variable infectivity in the dynamics of the human immunodeficiency virus epidemic, in C. Castillo – Chavez (Ed), *Mathematical and statistical approaches to AIDS epidemiology*, Springer – Verlag, New York, p. 157 – 177.

41. Thieme, H. et C. Castillo – Chavez (1993).
How may infection – age – dependent infectivity affect the dynamics of HIV/AIDS?
SIAM J. Appl. Math. 53, 1447 – 1479.
42. Thieme, H. (2003). *Mathematics in Population Biology*. Princeton University Press, Princeton.
43. UN Theme Group on HIV/AIDS in China (2002). HIV/AIDS : China's Titanic Peril.
www.youandaids.org/unfiles/chinastitanicperillast.pdf.
44. UN Theme Group on HIV/AIDS in China et State Council AIDS Working Committee Office (2004).
A Joint Assessment of HIV/AIDS Prevention, Treatment and Care in China. www.unchina.org/unaid/JAREng04.pdf.
45. Wang, S., L. Li, L. Zhang, Z. Ni et L. Yang (2001). Surveillance and analysis of HIV/AIDS in Kunming in 1999.
Guangxi Prev. Med. 7, 157 – 158.
46. Wang, S. (2004). Surveillance and control of HIV/AIDS in Kunming. *Chin. J. STD/AIDS Prev. Cont.* 10, 216 – 217.
47. Yu, H., X. An, M. Jia, S. Pan, Y. Ma, G. Zhang, H. Li, X. Zhang, Y. Zhang, Y. Liang, J. Li, J. Zhang et H. Cheng
Report on HIV/AIDS surveillance in Yunnan province in 1999. *Chin. J. STD/AIDS Prev. Cont.* 7, 74 – 76.
48. Yuan, J., G. Ionita, Y. Xu, T. Jiang, J. Li et J. Zhang (2002). The HIV/AIDS projection in Yunnan.
Chin. J. STD/AIDS Prev. Cont. 8, 78 – 81.
49. Zhang, J., H. Cheng et S. Duan (1994).
Survey of the current situation of the HIV infection epidemic in Yunnan province. *Chin. J. Epidemiol.* 5, 259 – 262.
50. Zhang, J., H. Cheng, M. Jia et Y. Zhang (1999). Ten years of experience on AIDS control in Yunnan (1989 – 1998).
Chin. J. Epidemiol. 20, 377 – 380.
51. Zhang, X., Y. Ma, H. Yu, J. An, Y. Liang, G. Zhang, Z. Zhang, H. Li, W. Wang, S. Pan, Y. Zhang et M. Jia (2002)
Analysis on the surveillance result of HIV/AIDS in Yunnan in 2001. *Ji Bing Jian Ce* 17, 327 – 330.
52. Zhang, X., J. Lu, L. Fu, H. Luo et M. Jia (2004).
Analysis on survey results of HIV/AIDS in Yunnan Province in 2003. *Ji Bing Jian Ce* 19, 409 – 412.
53. Zheng, X., J. Zhang, X. Wang, S. Duan, S. Qu, Y. Duan et G. Zhang (2000).
The natural history of HIV infection among IDUs in Ruili, Yunnan province, China. *Chin. J. Epidemiol.* 21, 17 – 18.
54. Zhong, W. (2000). A close look at China's "sex industry". *Lianhe Zaobao*, Singapour, www.usembassy-china.org.cn/sandt/sex-industry.html.