

## REVUE

# Estimation de la fraction des cancers de la tête et du cou attribuable aux effets combinés du tabac et de l'alcool

Catherine Hill<sup>1,\*</sup><sup>1</sup> Institut Gustave Roussy, Villejuif, France.<sup>\*</sup> Correspondance : Institut Gustave Roussy, Villejuif, France. Institut Gustave Roussy, 114 Rue Edouard Vaillant, 94800 Villejuif, France  
[Catherine.hill9417@gmail.com](mailto:Catherine.hill9417@gmail.com)

**Résumé :** Le tabac et l'alcool sont les deux premières causes de cancer en France. Les estimations publiées de la fraction attribuable globale à l'ensemble ne tiennent pas compte de l'association entre les deux expositions et supposent que les risques sont multiplicatifs. L'objectif de la présente étude est d'explorer la sensibilité de l'estimation à des écarts par rapport à ces deux hypothèses. Les conséquences de ces écarts sont analysées formellement dans le cas d'expositions binaires et des analyses empiriques du risque de cancer de la tête et du cou attribuable à l'alcool et au tabac en France sont présentées. Les calculs exacts pour les expositions binaires montrent que l'erreur est inférieure à 10 % pour des associations importantes entre les expositions et pour des risques non multiplicatifs. Environ la moitié des décès par cancer du pharynx, de l'œsophage ou du larynx sont attribuables à l'effet combiné de l'alcool et du tabac en France. Le résultat obtenu en ignorant l'association des expositions et en supposant que les risques sont multiplicatifs sous-estime l'effet des deux expositions de 0,2 % pour l'ensemble des cancers de la tête et du cou en France.

En conclusion, les estimations obtenues sur la base d'hypothèses simplificatrices sont robustes.

**Mots-clés :** Fraction attribuable, Alcool, Tabac

**Abstract:** Tobacco and alcohol are the two leading causes of cancer in France. Published estimates of the overall attributable fraction for both exposures often overlook their association and assume multiplicative risks. The objective of this study is to assess the sensitivity of these estimates to deviations from these two assumptions. The consequences of such deviations are formally analyzed in the case of binary exposures, and empirical analyses of the risk of head and neck cancer attributable to alcohol and tobacco in France are presented. Exact calculations for binary exposures show that the estimation error remains below 10%, even in the presence of strong associations between the exposures and non-multiplicative risks. Approximately half of the deaths from pharyngeal, esophageal, or laryngeal cancer in France are attributable to the combined effect of alcohol and tobacco. Ignoring the association between exposures and assuming multiplicative risks leads to an underestimation of the joint effect by only 0.2% for all head and neck cancers in France. In conclusion, the estimates derived from simplified assumptions prove to be robust.

**Key-words :** Attributable fraction, Alcohol, Tobacco

## 1. INTRODUCTION

La population française a une forte consommation d'alcool (1) et la prévalence du tabagisme régulier est d'environ 25 % (2), par conséquent le tabac et l'alcool sont les facteurs de risque de cancer les plus importants en France (3). Ces deux facteurs augmentent le risque de cancer de la tête et du cou, et le nombre de décès par cancer de la tête et du cou attribuables à chaque facteur a été estimé séparément. Les estimations sont de 5 800 décès par cancer de la bouche, du pharynx ou de l'œsophage attribuables à l'alcool en 2015 (4) et de 6 500 décès par cancers des voies aéro-digestives supérieures (bouche, pharynx, œsophage et larynx) attribuables au tabagisme en 2015 (5). Cependant, les deux habitudes sont associées, de nombreux individus combinant les deux expositions. Les estimations publiées de la fraction attribuable globale ignorent l'association entre les deux expositions et supposent que les risques sont multiplicatifs (3). L'objectif de la présente étude est d'explorer la sensibilité de l'estimation à des écarts par rapport à ces deux hypothèses.

En relâchant chaque hypothèse à tour de rôle, nous comparons la fraction attribuable globale estimée en tenant compte de la dépendance des expositions ou de la non-multiplication des risques à la fraction attribuable estimée en ignorant l'association. Le document est organisé comme suit : dans la section Méthodes, nous présentons les formules permettant d'estimer la fraction attribuable globale et l'erreur relative en fonction des hypothèses. Dans la section Résultats, nous décrivons la distribution conjointe des consommations d'alcool et de tabac et des risques de cancers de la tête et du cou par catégories d'expositions associées à ces facteurs. Les conséquences de l'écart aux hypothèses sont analysées formellement dans le cas d'expositions binaires et des analyses empiriques sont menées sur données françaises. Dans la dernière section, les résultats sont discutés.

## 2. MATERIELS ET METHODES

Dans le cas d'une exposition binaire unique, le calcul de la fraction attribuable est expliqué sur la figure 1. En supposant un effet multiplicatif de l'alcool et du tabac sur le risque et en supposant que les expositions sont indépendantes, la fraction attribuable globale est égale à la somme des deux fractions attribuables respectivement à l'alcool et au tabac moins le produit des deux fractions attribuables. On peut assouplir ces hypothèses et estimer la fraction attribuable à l'alcool et au tabac si l'on dispose à la fois de données sur l'association des deux expositions et de risques relatifs pour les différentes combinaisons d'expositions conjointes.

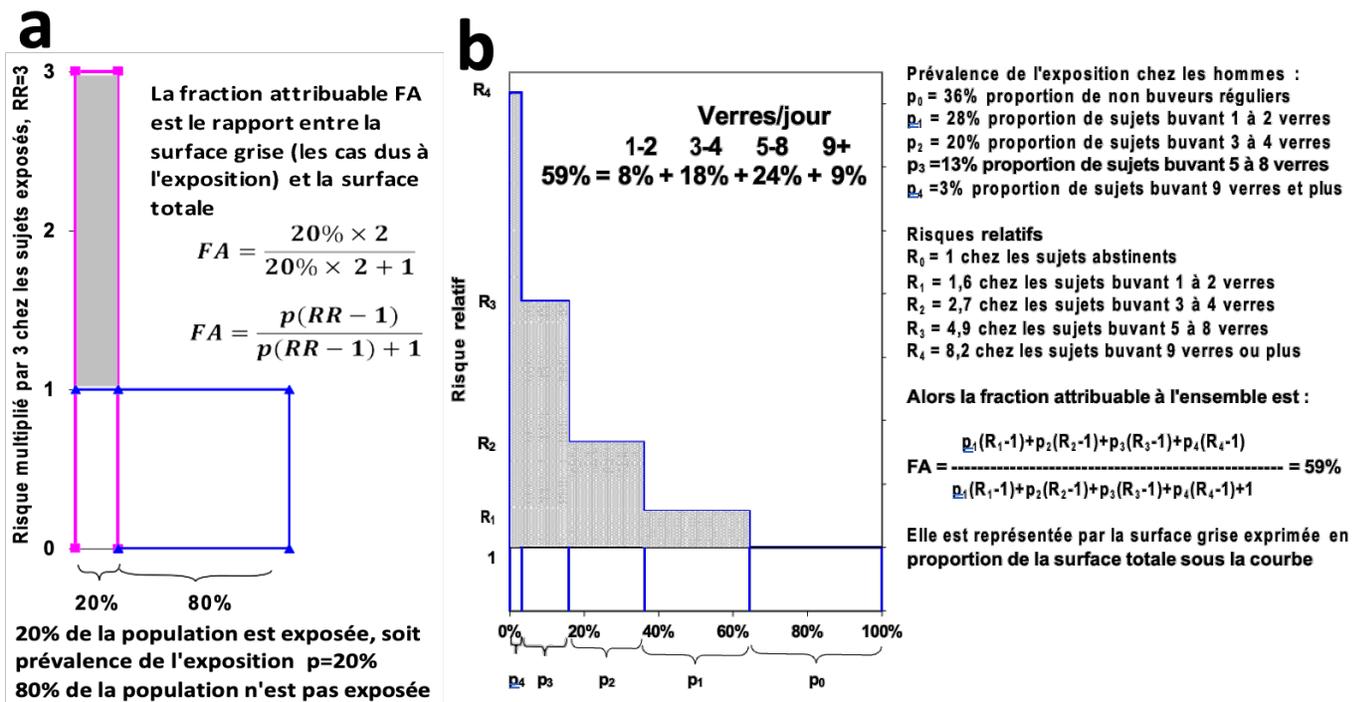


Figure 1a : Deux niveaux d'exposition

Figure 1b : Cinq niveaux d'exposition

Figure 1 : Illustration graphique du calcul des fractions attribuables

La plupart des enquêtes récentes publiées sur des échantillons représentatifs de la population française ne présentent pas la prévalence des usagers pour des niveaux combinés de consommation de tabac et d'alcool. Nous avons obtenu du Centre Quetelet (6) les données détaillées sur la consommation de tabac et d'alcool de l'enquête 2002-2003 de l'Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE).

Plusieurs auteurs ont publié des risques de cancer de la tête et du cou pour des niveaux combinés de consommation d'alcool et de tabac (7-17). Pour utiliser conjointement les données de prévalence et les estimations de risque relatif, il faut utiliser les mêmes niveaux de consommation. Nous avons sélectionné les estimations de risque publiées par Zeka et al (7), disponibles pour des combinaisons de trois niveaux de consommation pour chaque produit. Les données de prévalence ont été estimées à partir de l'enquête 2002-2003 pour les mêmes catégories de consommation.

La fraction attribuable pour un sous-site donné du cancer de la tête et du cou est estimée par :

$$AF = \frac{\sum_{ij} p_{ij}(R_{ij} - 1)}{\sum_{ij} p_{ij}(R_{ij} - 1) + 1}$$

où  $p_{ij}$  est la prévalence de l'exposition au niveau  $i$  d'alcool et au niveau  $j$  de tabac et  $R_{ij}$  est le risque relatif pour ces niveaux d'exposition par rapport à l'absence d'exposition.

Dans le cas où les deux facteurs sont à deux niveaux : buveurs oui/non et fumeurs oui/non, les calculs sont détaillés en annexe successivement dans le cas général et dans le cas où les expositions sont indépendantes et où les risques sont multiplicatifs. Ceci permet de mesurer les conséquences des écarts à ces deux hypothèses.

### 3. RESULTATS

#### 3.1. Association entre la consommation de tabac et d'alcool

Sexe	Alcool en unités/jour*	Cigarettes/jour			Total
		0	]0-30]	30 +	
<b>Hommes</b>					
	0	950	319	14	1 283
	[0-4[	4 866	226	124	5 216
	4 +	636	448	57	1 141
	<b>Total</b>	6 452	3 027	195	9 674
<b>Femmes</b>					
	0	2 628	558	11	3 197
	[0-4[	5 405	2 005	38	7 448
	4 +	86	59	8	153
	<b>Total</b>	8 119	2 622	57	10 798

\* 1 unité = 12 grammes d'alcool pur

**Tableau 1** : Consommations d'alcool et de tabac déclarées, Enquête INSEE 2002-2003 (6)

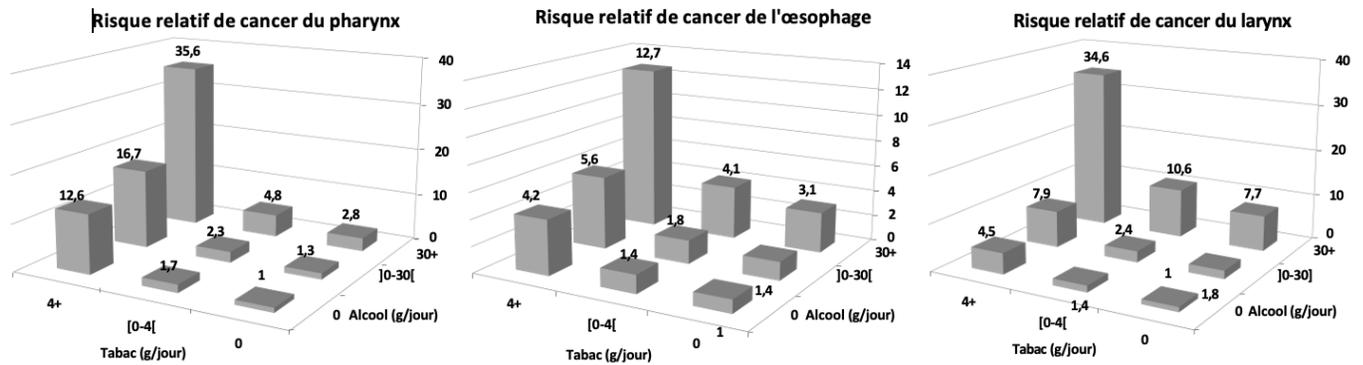
L'analyse des données détaillées sur le tabac et l'alcool de l'INSEE 2002-2003 (6) a permis d'estimer l'exposition conjointe aux deux produits sur un échantillon de 9.674 hommes et 10 798 femmes, le tableau 1 résume les résultats. Les expositions sont associées : la proportion d'hommes buvant au moins 4 unités par jour est de 10 % chez les non-fumeurs et de 29 % chez les hommes fumant 30 cigarettes ou plus par jour et la proportion de femmes buvant au moins 4 unités par jour est de 1 % chez les non-fumeurs et de 14 % chez les femmes fumant 30 cigarettes ou plus par jour. De même, chez les hommes, les fumeurs de 30 cigarettes ou plus représentent 1,1 % des non-buveurs et 5,0 % des hommes buvant 4+ unités, les femmes fumant 30 cigarettes ou plus représentent 0,3 % des non-buveurs et 5,2 % des femmes buvant 4+ unités.

#### 3.2. Risque de cancer en fonction de l'exposition conjointe au tabac et à l'alcool

##### 3.3.

Cancer	Alcool en unités/jour	Cigarettes par jour			Alcool marginal
		0	]0-30[	30 +	
<b>Pharynx</b>					
	0	1	1,3	2,8	1,0
	[0-4[	1,7	2,3	4,8	1,7
	4 +	12,6	16,7	35,6	12,7
	<b>Cigarettes marginal</b>	1,0	1,3	2,8	
<b>Œsophage</b>					
	0	1	1,4	3,1	1,0
	[0-4[	1,4	1,8	4,1	1,4
	4 +	4,2	5,6	12,7	4,1
	<b>Cigarettes marginal</b>	1,0	1,3	3,0	
<b>Larynx</b>					
	0	1	1,8	7,7	1,0
	[0-4[	1,4	2,4	10,6	1,4
	4 +	4,5	7,9	34,6	4,5
	<b>Cigarettes marginal</b>	1,0	1,7	7,6	

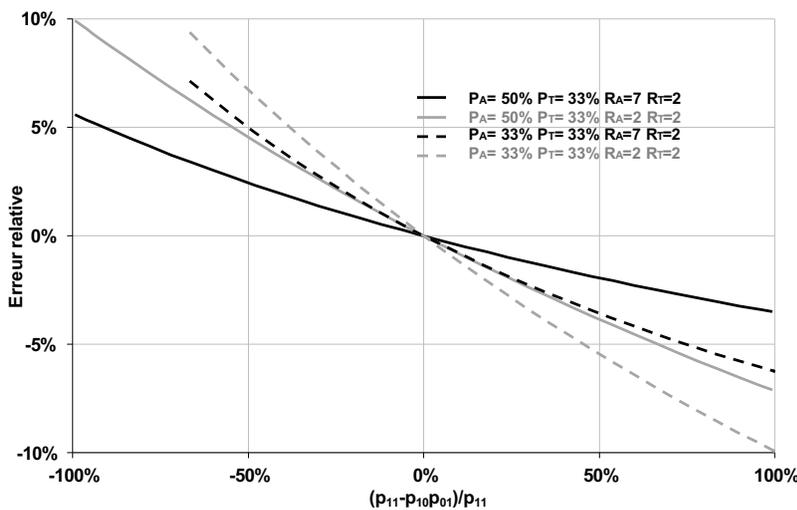
**Tableau 2** : Risques relatifs en fonction des consommations associées d'alcool et de tabac (7)



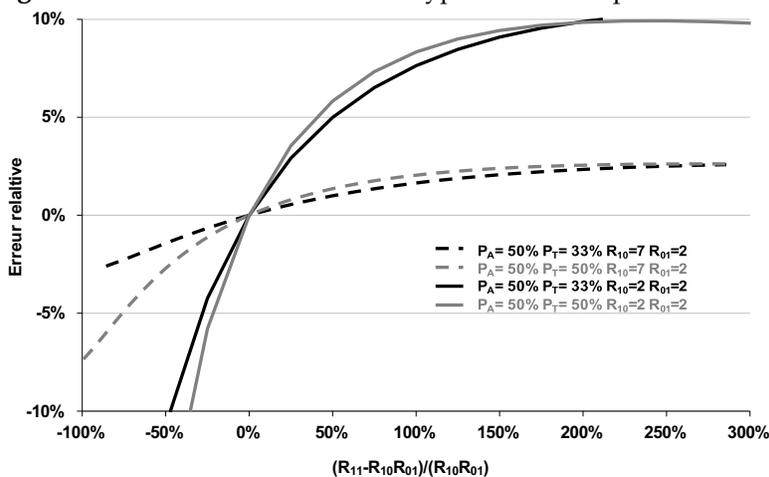
**Figure 2 :** Risques relatifs de cancer du pharynx, de l'œsophage et du larynx en fonction des consommations d'alcool et de tabac.

Les risques relatifs publiés par Zeka et al (7) sont présentés dans le tableau 2 et dans la figure 2. Les risques relatifs marginaux pour l'une ou l'autre exposition, obtenus en pondérant les risques relatifs par la prévalence dérivée du tableau 2, sont aussi présentés dans le tableau 3.

### 3.3. Fraction attribuable globale aux deux expositions dans le cas d'expositions binaires



**Figure 3a :** En fonction de l'écart à l'hypothèse d'indépendance des expositions



**Figure 3b :** En fonction de l'écart à l'hypothèse de la multiplication des risques

Lorsque les expositions sont résumées par un indicateur binaire, les conséquences des écarts par rapport à chacune des deux hypothèses, indépendance des exposition et multiplication des risques, peuvent être analysées de manière formelle. Lorsque les risques sont multiplicatifs, la comparaison des estimateurs simplifiés FAs et exacts FAe montre que l'erreur n'atteint 10 % que pour un niveau élevé d'association entre les deux expositions (figure 3a). Lorsque les expositions sont indépendantes, l'erreur est inférieure à 10 % tant que l'écart à la multiplication des risques ne dépasse pas un facteur 2 (figure 3b).

### 3.4. Exemple pour les données de 2022 en France

Sexe	Cancer (Classification Internationale des Maladies)	Décès en 2022 (1)	Fraction attribuable (FA)				Erreur relative (FA <sub>s</sub> -FA <sub>e</sub> )/FA <sub>e</sub> [(4)-(5)]/(5)	Décès attribuables	
			Marginale alcool (3)	Marginale tabac (2)	Globale simplifiée FA <sub>s</sub> (4)=(2)+(3)- (2)x(3)	Global exact FA <sub>e</sub> (5)		Formule simplifiée (1)x(4)	Formule exacte (1)x(5)
<b>Hommes</b>									
	Pharynx (C9-C14)	1 470	63,9%	12,4%	68,4%	68,1%	0,4%	1 005	1 001
	Œsophage (C15)	2 793	35,8%	12,1%	43,6%	43,4%	0,4%	1 218	1 213
	Larynx (C32)	719	37,8%	26,7%	54,4%	53,3%	2,1%	391	383
	<b>Total</b>	<b>4 982</b>					<b>0,6%</b>	<b>2 615</b>	<b>2 598</b>
<b>Femmes</b>									
	Pharynx (C9-C14)	411	40,0%	8,3%	45,0%	45,2%	-0,6%	185	186
	Œsophage (C15)	914	22,3%	8,0%	28,5%	30,6%	-6,9%	261	280
	Larynx (C32)	127	23,3%	17,6%	36,9%	38,7%	-4,9%	47	49
	<b>Total</b>	<b>1 452</b>			<b>33,9%</b>	<b>35,5%</b>	<b>-4,4%</b>	<b>492</b>	<b>515</b>
<b>Total</b>		<b>6 434</b>			<b>48,3%</b>	<b>48,4%</b>	<b>-0,2%</b>	<b>3 107</b>	<b>3 113</b>

**Tableau 3 :** Mortalité en 2022, fractions attribuables selon les formules simplifiées et exacte et calcul de l'erreur relative

Les données nécessaires à la comparaison empirique des estimateurs pour l'année 2022 et au calcul de l'estimation simplifiée sont décrites dans le tableau 3. En utilisant la formule exacte, on estime le nombre de décès par cancer du pharynx, de l'œsophage ou du larynx attribuables au tabac et à l'alcool à 3 113 en France en 2022 (2 598 chez les hommes et 515 chez les femmes). Cela représente 48% des décès dus à ces cancers en France en 2022. L'estimateur simplifié FAs conduit à des erreurs entre 0,2% et 4,9% selon le type de cancer et le sexe, et l'erreur globale pour le total des trois sites et des deux sexes est de 0,2 %.

## 4. Discussion

Dans cet article, nous avons estimé l'erreur associée à l'utilisation de l'estimateur simplifié de la fraction attribuable dans deux analyses : une analyse théorique dans le cas d'une exposition binaire et une analyse des données françaises sur le cancer de la tête et du cou avec plusieurs niveaux d'exposition au tabagisme et à la consommation d'alcool. Les calculs exacts pour les expositions binaires montrent que l'erreur est inférieure à 10 % pour les associations importantes entre les expositions et l'écart par rapport à la multiplication des risques. La consommation d'alcool et de tabac n'étant pas indépendante, notre analyse théorique montre que l'hypothèse d'indépendance n'induit pas d'erreur majeure dans l'estimation de la FA globale aux deux expositions.

La méthode peut être étendue à d'autres combinaisons d'écart par rapport aux hypothèses.

En utilisant la formule simplifiée de la FA et les estimations disponibles des risques relatifs de cancer de la tête et du cou pour différents niveaux d'expositions conjointes au tabac et à l'alcool, nous avons estimé qu'environ la moitié des décès par cancer du pharynx/œsophage/larynx en France sont attribuables aux effets combinés de l'alcool et du tabac. Nous montrons que les résultats obtenus en ignorant l'association des expositions et en supposant que les risques sont multiplicatifs sous-estiment l'effet des deux expositions de 0,2 % pour l'ensemble des cancers de la tête et du cou

en France en 2022. Les erreurs sont inférieures à 5% pour chaque sous-site et chaque sexe. Ainsi, notre estimation pour l'ensemble des cancers de la tête et du cou à l'aide de la formule simplifiée semble être fiable. En outre, la formule simplifiée pourrait être utilisée lorsque les données détaillées concernant les expositions et les risques relatifs sont rares ou biaisées.

Les données sur les expositions conjointes au tabac et à l'alcool ne sont pas facilement disponibles en France, car l'Institut national de la statistique ne publie pas les résultats des enquêtes sur le tabac et l'alcool.

De plus, même lorsque ces données sont disponibles, les consommations déclarées de tabac et d'alcool sont très inférieures aux quantités disponibles (18, 19), la nécessité de corriger la déclaration pour tenir compte des quantités disponibles est une question ouverte.

Les estimations des risques relatifs de cancer de la tête et du cou pour les expositions associées au tabac et à l'alcool sont rares, en particulier si l'on limite la recherche aux estimations avec les non-consommateurs comme catégorie de référence. Par exemple, les estimations très citées de Tuyns (17), en France, incluaient les petits buveurs et les petits fumeurs dans la catégorie de référence. De même, les estimations d'Anantharaman et al (20) résument l'exposition à l'alcool par un indicateur binaire : moins de 28 grammes d'alcool par jour Oui/Non, ce qui conduit à une catégorie de référence avec une exposition significative.

## 5. Conclusion

En conclusion, le tabac et l'alcool sont des causes importantes de cancers de la tête et du cou en France et l'estimation du risque est importante pour justifier les politiques de santé publique. Nous avons montré que les estimations obtenues sur la base d'hypothèses simplificatrices étaient robustes. C'est un résultat important.

## 6. Références

1. Douchet M-A. (2024) La consommation d'alcool et ses conséquences en France en 2023. Note de bilan. Paris, OFDT, 10 p.
2. Douchet M-A. Tabagisme et arrêt du tabac en 2023. Paris, OFDT, coll. Notes de bilan, 17 p.
3. Soerjomataram I, Shield K, Marant-Micallef C, Vignat J, Hill C, Rogel A, Menvielle G, Dossus L, Ormsby J-N, Rehm J, Rushton L, Vineis P, Parkin DM, Bray F. Cancers related to lifestyle and environmental factors in France in 2015. *Eur J Cancer* 2018; 105: 103-113.
4. Bonaldi C, Hill C. La mortalité attribuable à l'alcool en France en 2015. *Bull Epidémiol Hebd.* 2019;(5-6):97-108. [http://invs.santepubliquefrance.fr/beh/2019/5-6/2019\\_5-6\\_2.html](http://invs.santepubliquefrance.fr/beh/2019/5-6/2019_5-6_2.html)
5. Bonaldi C, Boussac M, Nguyen-Thanh V. Estimation du nombre de décès attribuables au tabagisme, en France de 2000 à 2015. *Bull Epidémiol Hebd.* 2019;(15):278-84. [http://beh.santepubliquefrance.fr/beh/2019/15/2019\\_14\\_2.html](http://beh.santepubliquefrance.fr/beh/2019/15/2019_14_2.html)
6. Centre Maurice Halbwachs France. Réseau Quételet, French Data Archives for Social Sciences. 2012.
7. Zeka A, Gore R, Kriebel D. Effects of alcohol and tobacco on aerodigestive cancer risks: a meta-regression analysis. *Cancer causes control CCC.* 2003;14(9):897-906.
8. Flanders WD, Rothman KJ. Interaction of Alcohol and Tobacco in Laryngeal Cancer. 1982;115(3):371-9.
9. Brugere J, Guenel P, Leclerc A. Differential effects of tobacco and alcohol in cancer of the larynx, pharynx, and mouth. *Cancer.* 1986;57(2):391-5.
10. Friberg JT, Yuan J-M, Wang R, Koh W-P, Lee H-P, Yu MC. A prospective study of tobacco and alcohol use as risk factors for pharyngeal carcinomas in Singapore Chinese. *Cancer.* 2007;109(6):1183-91.
11. Hashibe M, Brennan P, Chuang S-C, Boccia S, Castellsague X, Chen C, et al. Interaction between tobacco and alcohol use and the risk of head and neck cancer: pooled analysis in the International Head and Neck Cancer Epidemiology Consortium. *Cancer epidemiology biomarkers prevention a publication of the American Association for Cancer Research cosponsored by the American Society of Preventive Oncology.* 2011;18(2):619-28.
12. Kjaerheim K, Gaard M, Andersen A. The role of alcohol, tobacco, and dietary factors in upper aerogastric tract cancers: a prospective study of 10,900 Norwegian men. *Cancer causes control CCC.* 1998;9(1):99-108.
13. McMichael A. Laryngeal cancer and consumption of alcohol and tobacco. *Lancet.* 1978;2(8099):1099-100.
14. Pelucchi C, Gallus S, Garavello W, Bosetti C, La Vecchia C. Alcohol and tobacco use, and cancer risk for upper aerodigestive tract and liver. *European journal of cancer prevention the official journal of the European Cancer Prevention Organisation ECP.* 2008 Aug;17(4):340-4.
15. Schottenfeld D, Gantt RC, Wyner EL. The role of alcohol and tobacco in multiple primary cancers of the upper digestive system, larynx and lung: a prospective study. *Preventive Medicine.* 1974;3(2):277-93.
16. Taylor B, Rehm J. When risk factors combine: the interaction between alcohol and smoking for aerodigestive cancer, coronary heart disease, and traffic and fire injury. *Addictive Behaviors.* 2006;31(9):1522-35.

17. Tuyns AJ, Estève J, Raymond L, Berrino F, Benhamou E, Blanchet F, et al. Cancer of the larynx/hypopharynx, tobacco and alcohol: IARC international case-control study in Turin and Varese (Italy), Zaragoza and Navarra (Spain), Geneva (Switzerland) and Calvados (France). *International journal of cancer Journal international du cancer*. 1988;41(4):483–91.
18. Hill C, Laplanche A. Le tabac en France : les vrais chiffres. *La documentation française* 2004 139 pages.
19. Hill C, Laplanche A. La consommation d'alcool est trop élevée en France. *La presse médicale* 2010 ; 39 : e158-e164.
20. Anantharaman D, Marron M, Lagiou P, Samoli E, Ahrens W, Pohlabein H, et al. Population attributable risk of tobacco and alcohol for upper aerodigestive tract cancer. *Oral Oncology*. Elsevier Ltd; 2011;47(8):725–31

**Annexe** : Détail des calculs de la fraction des cancers de la tête et du cou attribuable aux effets combinés du tabac et de l'alcool

Formulation générale

La fraction attribuable pour un sous-site donné du cancer de la tête et du cou est estimée par :

$$FA = \frac{\sum_{ij} p_{ij}(R_{ij} - 1)}{\sum_{ij} p_{ij}(R_{ij} - 1) + 1}$$

où  $p_{ij}$  est la prévalence de l'exposition au niveau  $i$  d'alcool et au niveau  $j$  de tabac et  $R_{ij}$  est le risque relatif pour ces niveaux d'exposition par rapport à l'absence d'exposition.

Formulation dans le cas de deux expositions binaires

Le tableau A1 présente les notations dans le cas où les expositions sont binaires :  $p$  est la proportion d'individus exposés à l'alcool et  $s$  la proportion d'individus exposés au tabac  $\delta$  mesure l'association entre les deux consommations et  $\gamma$  mesure la non multiplication des risques.

Tableau A1 : Notations dans le cas de deux expositions binaires

Tableau A1a : Prévalence des expositions

Exposition à l'alcool	Exposition au tabac		Total
	Non	Oui	
Non	$p_{00}=(1-s)(1-p)+\delta$	$p_{01}=s-ps-\delta$	$1-p$
Oui	$p_{10}=p-ps-\delta$	$p_{11}=ps+\delta$	$p$
Total	$1-s$	$s$	$1$

Tableau A1b : Risque Relatif (RR)

Exposition à l'alcool	Exposition au tabac	
	Non	Oui
Non	1	$R_T$
Oui	$R_A$	$R_{AT}=R_A R_T+\gamma$

La formule générale devient avec les notations du tableau A1 :

$$FA_e = \frac{(ps+\delta)(R_A R_T + \gamma - 1) + (p-ps-\delta)(R_A - 1) + (s-ps-\delta)(R_T - 1)}{(ps+\delta)(R_A R_T + \gamma - 1) + (p-ps-\delta)(R_A - 1) + (s-ps-\delta)(R_T - 1) + 1} = \frac{N}{N+1} \quad (1)$$

Formulation dans les cas où les expositions sont indépendantes et les risques multiplicatifs

Si les expositions sont indépendantes  $\delta=0$  et l'équation (1) devient :

$$FA = \frac{ps(R_A R_T + \gamma - 1) + (p - ps)(R_A - 1) + (s - ps)(R_T - 1)}{ps(R_A R_T + \gamma - 1) + (p - ps)(R_A - 1) + (s - ps)(R_T - 1) + 1}$$

Et si en plus les risques sont multiplicatifs  $\gamma=0$ . Cela conduit à :

$$FA_s = \frac{ps(R_A R_T - 1) + (p - ps)(R_A - 1) + (s - ps)(R_T - 1)}{ps(R_A R_T - 1) + (p - ps)(R_A - 1) + (s - ps)(R_T - 1) + 1} = \frac{D}{D+1} \quad (2)$$

Et on peut vérifier que ceci est égal à  $FA_A + FA_T - FA_A FA_T$

avec :

$$FA_A = \frac{p(R_A - 1)}{p(R_A - 1) + 1}$$

$$FA_T = \frac{s(R_T - 1)}{s(R_T - 1) + 1}$$

En comparant les expressions (1) et (2) on obtient l'erreur associée à la simplification E :

$$E = \frac{FA_s - FA_e}{FA_e} = \frac{D - N}{N(D + 1)}$$

Si les risques sont multiplicatifs, c'est-à-dire si  $\gamma=0$  on peut étudier la variation de l'erreur en fonction de  $\delta$  le paramètre qui mesure la distance à l'hypothèse d'indépendance des expositions. On a alors :

$$E = \frac{-\delta (R_A - 1)(R_T - 1)}{[\delta (R_A - 1)(R_T - 1) + X][X + 1]}$$

Avec :

$$X = ps(R_A R_T - 1) + (p - ps)(R_A - 1) + (s - ps)(R_T - 1)$$

Si les expositions sont indépendantes c'est-à-dire si  $\delta=0$ , on peut aussi facilement étudier la variation de l'erreur en fonction de  $\gamma$  qui mesure la non-multiplication des risques