

La génétique des couleurs de robe des chiens

Merci au Dr M. Abitbol, maître de conférence et enseignante du service de génétique médicale et moléculaire de l'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, d'avoir accepté de relire cet article.

Il existe différents gènes régulant la couleur de la robe chez les chiens. Chaque gène est décliné en différents allèles, mais pour chaque gène, un chien ne possède que deux des différents allèles.

C'est l'ensemble de ces combinaisons d'allèles qui détermine la couleur de robe.

Les gènes impliqués dans les couleurs de robe sont situés sur des locus de l'ADN nommés: A, B, C, D, E, G, H, I, K, M, S, R, T et Tw. Ces gènes sont plus ou moins bien connus.

Un chien est dit homozygote pour un gène s'il possède les deux mêmes allèles, et hétérozygote si les deux allèles sont différents.

Il existe deux types de pigments impliqués dans la couleur des robes : l'eumélanine pour le noir/marron, et la phéomélanine pour le rouge/fauve. Les combinaisons et la répartition de ces pigments donneront les différentes robes.

Sur un même locus, un allèle est dit dominant sur un autre quand c'est celui-là qui s'exprime et non l'autre si le chien est hétérozygote. Il existe des cas de dominance incomplète quand deux allèles différents s'expriment tous les deux plus ou moins pour un locus donné. Par convention, les allèles dominants sont écrits en majuscules, les allèles récessifs en minuscules.

Les différents locus :

Locus A (Agouti) : Répartition de l'eumélanine et de la phéomélanine.

* 4 allèles : $A^y > a^w > a^t > a$ (ordre de dominance)

→ A^y : Donne un rouge plus ou moins charbonné, parfois pas du tout. Il doit exister des gènes modulateurs qui influence l'importance du charbonné (plus ou moins foncé et étendu).

→ a^w : Alternance d'eumélanine et de phéomélanine en bandes sur le poil, avec un poil clair sur certaines zones comme le ventre, le museau, les cuisses (un peu comme la localisation des marques feu sur un chien noir et feu)... C'est le phénotype sauvage appelé « gris loup ». On le retrouve entre autre chez les chiens-loups et les spitzs.

→ a^t : Noir et feu, récessif sur tout sauf le noir récessif. Il existe probablement des allèles modificateurs (non encore connus), au locus E par exemple, qui interviendraient pour réduire l'étendue du noir avec la croissance et former juste un manteau plus ou moins foncé et étendu, dans le cas de robes à manteau, comme c'est le cas du berger allemand ou du

beagle. Une fois adulte, la différence avec un chien charbonné peut être difficile à faire. Il faut donc savoir si le chiot est né noir et feu ou non.

→ **a** : Noir récessif, pas de rouge présent du tout, c'est un génotype très rare. On le retrouve notamment chez le berger allemand ou le puli.

Un chien A^Y/A^Y , A^Y/a^w , A^Y/a^t ou A^Y/a sera donc fauve charbonné, porteur ou non de gris-loup, noir et feu ou noir récessif.

Un chien a^w/a^w , a^w/a^t ou a^w/a sera gris-loup, porteur ou non de noir et feu ou noir récessif.

Un chien a^t/a^t ou a^t/a sera noir et feu, porteur ou non de noir récessif.

Un chien a/a sera noir.



Locus K (BlackK): Touche l'eumélanine

* 3 allèles : $K^B > k^{Br} > k^Y$

→ K^B : Chien noir uni, dominant sur tous les allèles de la série A (pas d'expression de ce gène).

→ k^{Br} : Chien bringé. Permet l'expression des allèles de la série A, mais les parties rouges de la robe seront bringées.

→ k^Y : Chien non noir uni, expression de la série A.

Un chien K^B/K^B , K^B/k^{Br} , K^B/k^Y sera de couleur unie par de l'eumélanine (noir, marron, bleu ou beige selon les allèles présents aux locus B et D).

Un chien k^{Br}/k^{Br} ou k^{Br}/k^Y sera bringé. Il est probable qu'ici aussi il y ait une dominance incomplète et qu'un chien k^{Br}/k^{Br} possède plus de bringeures qu'un chien K^B/k^Y .

Un chien k^Y/k^Y laissera les allèles de gène A s'exprimer librement, sans bringeures associées



Locus E (Extension) : Touche la répartition de l'eumélanine

* 4 allèles : $E^m > E > E^B > e$

→ E^m : Masque foncé plus ou moins étendu sur le museau, la tête et les oreilles, pouvant descendre sur le poitrail et le ventre.

→ E : Pas de masque.

(→ E^B : Couleurs grizzli et domino, retrouvées uniquement chez le saluki et le lévrier afghans.)

→ e : Rouge récessif, aucun poil noir dans la robe, chaque poil noir d'origine est transformé en rouge, la couleur des yeux et de la truffe n'est pas affectée.

Un chien E^m/E^m , E^m/E ou E^m/e aura un masque plus ou moins étendu (d'autres gènes doivent intervenir là aussi car l'extension du masque ne semble pas corrélée au nombre de copies de l'allèle E^m).

Un chien E/E ou E/e n'aura pas de masque.

Un chien e/e sera obligatoirement rouge quel que soient les autres allèles des autres gènes. Les poils noirs seront transformés en rouge. Seuls les poils blancs pourront être aussi présents.



Locus B (Brown) : Change la couleur de l'eumélanine

* 2 allèles : $B > b$

→ B : Code une eumélanine noire.

→ b : L'eumélanine devient marron au lieu de noire. La mutation touche également la truffe qui devient foie (dans diverses nuances), les muqueuses qui ne peuvent être noires, et les yeux qui deviennent plus clairs. Il existerait différents allèles b^s , b^d , b^c , responsables en partie des nuances dans les robes chocolat, mais ce ne serait pas le seul facteur influençant la couleur du marron. On retrouve cette couleur dans de nombreuses races dont le labrador, le berger australien ou encore le doberman.

Un chien B/B ou B/b sera noir, porteur ou non de chocolat.

Un chien b/b sera chocolat.



Locus C (Chinchilla): Intervention d'un autre gène de dilution

Très mal connu à l'heure actuelle. Ce gène est suspecté de diluer préférentiellement la phéomélanine de façon récessive et d'être également à l'origine de l'albinisme. Il existerait probablement au moins 3 allèles qui seraient : $C^+ > c^{ch} > c^a$.

- C^+ : Pas de dilution de la phéomélanine.
- c^{ch} : Dilution de la phéomélanine. Chien blanc/crème
- c^a : Chien albinos.

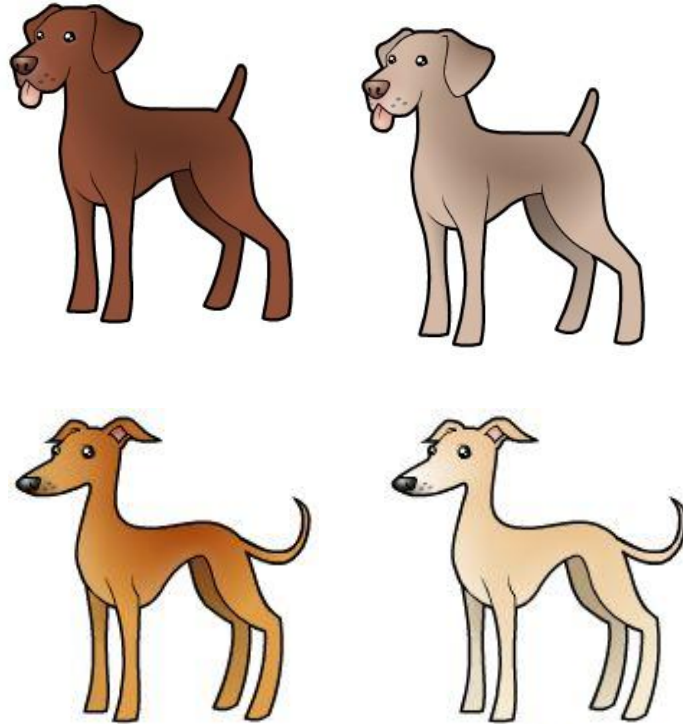
Locus D (Dilution): Modifie l'intensité de l'eumélanine et de la phéomélanine

* 2 allèles : $D > d$

- D : Pigment normal, pas de dilution.
- d : Pigment dilué, le noir devient bleu, le marron devient beige et rouge devient sable. La mutation touche également la truffe qui devient grise (dans diverses nuances), les muqueuses et les yeux qui s'éclaircissent. On retrouve cette mutation dans de nombreuses races comme le whippet, le cane corso ou le staffordshire bull terrier par exemple.

Un chien D/D ou D/d sera noir, chocolat ou rouge, porteur ou non de bleu, beige ou sable.
Un chien d/d sera bleu, beige ou sable.





Locus G (Grisonnement): Concerne l'intensité de l'eumélanine au court du temps

* 2 allèles : **G > g**

Ce gène affecte uniquement l'eumélanine. Les chiots naissent noirs ou marron et un grisonnement progressif de la robe se fait avec le temps. Ce gène n'affecte pas le masque, ni la truffe ou les muqueuses. On le trouve chez le Kerry Blue Terrier, le Briard ou le Cairn Terrier par exemple.

→ **G** : Grisonnement progressif de la robe avec le temps.

→ **g** : Pas d'éclaircissement de la robe dans le temps.

Un chien G/G ou G/g aura une robe qui grisonne avec le temps, de façon plus ou moins accentuée.

Un chien g/g n'aura pas de modification de sa robe au cours du temps.





Locus I (Intensité): Joue sur la richesse de la phéomélanine et l'intensité du rouge

Les allèles ne sont pas encore connus. Ce gène jouerait sur l'intensité de la phéomélanine uniquement, allant d'un crème voire blanc, à un rouge soutenu.



Locus M (Merle): Touche l'intensité de l'eumélanine

* 2 allèles : **M** > **m**

Ce gène dilue par « patches » uniquement l'eumélanine.

→ **M** : Chien merle, l'eumélanine est répartie sous forme de patches noirs ou marron sur une base diluée, bleu ou beige. Les patches sont répartis de façon aléatoire. Les chiens homozygotes M sont majoritairement blancs. La double mutation est souvent associée à des problèmes de surdité et cécité et il n'est donc pas recommandé de marier deux chiens merles.

→ **m** : Expression normale de l'eumélanine, pas de répartition en patches.

La quantité de noir ou de dilué sur une robe merle est très variable, allant d'un chien pratiquement entièrement dilué, à un chien pratiquement sans zone diluée.

On retrouve cette robe chez le berger australien, le teckel ou le beauceron par exemple. Une robe merle peut être assez difficile à reconnaître parfois, selon les allèles présents sur les autres locus de coloration.

Un chien M/M sera majoritairement blanc avec quelques zones merles.
 Un chien M/m sera merle.
 Un chien m/m ne sera pas merle.



Locus H (Harlequin): Modifie l'expression du gène merle

* 2 allèles : H > h

Ce gène ne s'exprime que sur les chiens merles, et touche aussi bien l'eumélanine que la phéomélanine en créant des patchs dans les zones rouges.

→ H : Transforme les zones diluées entre les patchs d'un chien merle, en blanc. H est létal à l'état homozygote chez les embryons.

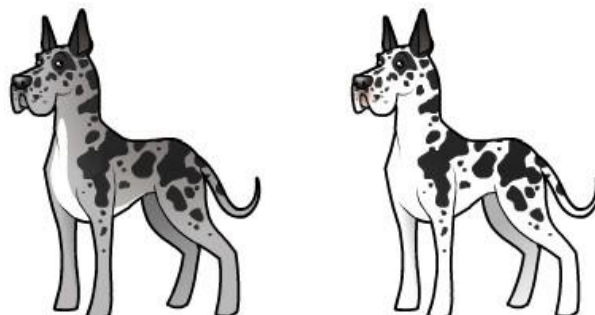
→ h : Pas de changement de l'expression du gène merle.

On le retrouve entre autre chez le dogue allemand (robe harlequin).

Un chien merle H/h aura une robe harlequin.

Un chien merle h/h n'aura pas de modification de sa robe.

Un chien non merle n'aura pas de modification de sa robe, qu'il soit H/h ou h/h.



Locus S (Spotting): Panachure blanche se superposant aux autres couleurs

* 4 allèles : $S > s^i > s^p > s^w$

Il s'agit de la série de la panachure blanche. Elle s'exprime dans tous les cas et par-dessus tous les autres gènes.

→ S : Pas de panachure blanche

→ s^i : Panachure irlandaise : sur le cou, le museau, le poitrail, les pieds et le bout de la queue.

→ s^p : Panachure pie, plus de 50% de blanc si homozygote, moins si hétérozygote avec S ou s^i .

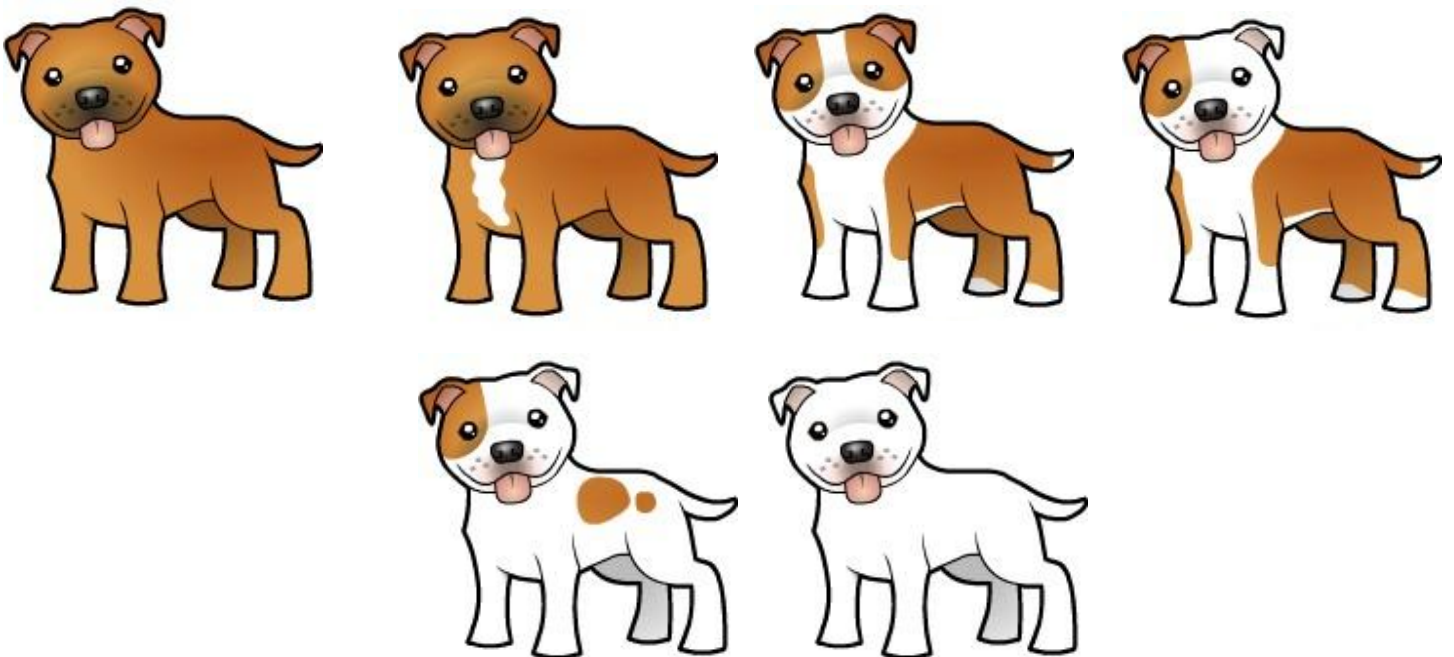
→ s^w : Panachure blanche très envahissante voire totale.

C'est un gène à dominance incomplète, c'est-à-dire qu'un chien S/s^w présentera du blanc en quantité limitée au lieu de ne pas présenter de blanc du tout si le gène avait été à dominance complète. De même, le marquage d'un chien homozygote s^i/s^i peut être le même qu'avec un hétérozygote S/s^p ou S/s^w .

Des études récentes ont montré qu'au locus S , le véritable allèle s^i n'existait pas. Il s'agit en fait d'un allèle de panachure dite « pseudo-irlandaise ». Dans de nombreuses races, la panachure pseudo-irlandaise peut être obtenue chez les chiens S/s^p alors que les chiens s^p/s^p sont blanc envahissant (exemple du Boxer).

La véritable panachure irlandaise rencontrée par exemple chez le Border Collie, le Shetland ou le Berger Australien n'est pas due au gène S . Un autre gène est en cause, inconnu à ce jour.

Les chiens avec une panachure blanche importante présentent une augmentation du risque de surdité (uni ou bilatérale), allant de paire avec l'augmentation de la panachure et pouvant atteindre jusqu'à 20% des chiens à forte panachure blanche.



Locus R (Roan) : Modifie l'aspect de la panachure blanche

* 2 allèles : $R > r^+$

Ce gène entraîne l'apparition d'un mélange uniforme de poils blancs et colorés sur les zones de panachure blanche, pouvant donner l'effet d'une couleur diluée dans certains cas. Parfois les poils colorés sont tellement denses qu'il est difficile de deviner qu'il s'agit d'une panachure. Les poils colorés apparaissent vers 4 semaines d'âge (les chiots naissent sans poils colorés dans le panachure blanche). Les poils prennent la couleur que le chien aurait s'il n'y avait pas de panachure.

→ R : Présence du mélange de poils colorés et blancs dans les zones de panachure blanche.

→ r^+ : Pas de poils colorés dans les zones blanches.

On retrouve ce phénotype chez le bouvier australien, le cocker ou le basset bleu de Gascogne par exemple.



Locus T (Ticking): Modifie l'aspect de la panachure blanche

* 2 allèles : $T > t^+$

Tout comme le gène R, ce gène s'exprime uniquement sur les zones de panachure blanche, en entraînant l'apparition de petites taches circulaire de couleur. La couleur des taches est celle de la couleur que les poils auraient s'il n'y avait pas de panachure. En générale les taches se concentrent d'avantage sur la tête et les pattes et apparaîtront d'abord à ces endroits avant d'apparaître ailleurs sur le corps. Là aussi l'apparition des taches se fait vers 4 semaines d'âge et les chiots naissent sans.

→ T : Apparition de petites taches rondes dans les zones à panachure blanche.

→ t^+ : Pas de tache présente dans les zones à panachure blanche.

Ici aussi la dominance est probablement incomplète si bien qu'un chien de génotype T/t^+ possèdera quelques taches dans sa panachure blanche, mais moins qu'un chien T/T .

On retrouve ce gène dans de nombreuses races, à des degrés plus ou moins importants, comme le setter anglais, le pointer ou les braques par exemple.

Les taches du dalmatien trouvent leur origine probablement dans ce gène, bien que l'on ne sache pas encore l'allèle responsable.



Locus Tw (Tweed) : Modifie l'aspect de la couleur merle

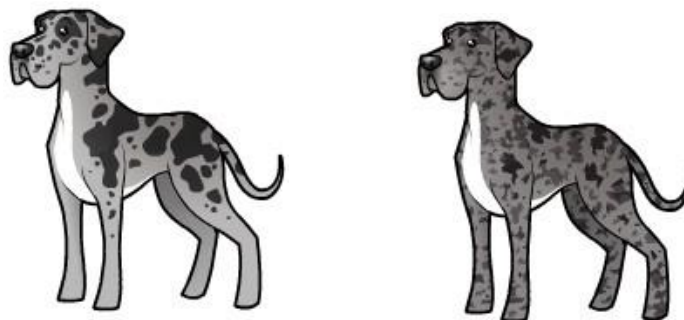
* 2 allèles : $Tw^T > tw$

Ce gène s'exprime également uniquement chez les chiens merles (comme le gène harlequin).

→ Tw^T : Transforme les zones diluées de la robe merle en grandes taches à frontières « lisses » et de différentes nuances. C'est un allèle assez rare.

→ tw : Taches diluées petites et déchiquetées. Il s'agit probablement du type d'origine.

On retrouve ce phénotype chez le berger australien ou le catahoula léopard par exemple.



Interactions entre les différents gènes :

-Le gène **S** s'exprime toujours quelque soit les autres allèles des autres gènes.

-Les gènes **T** et **R** s'expriment uniquement quand il y a de la panachure (gène S).

-Les gènes **B**, **D**, **G** et **M** s'expriment toujours sur l'eumélanine, quelque soit les autres allèles des autres gènes.

-Le gène **I** s'exprime toujours sur la phéomélanine quelque soit les autres allèles des autres gènes.

-Les gènes **H** et **Tw** s'expriment uniquement sur un chien merle (gène M).

-Le gène **E** s'exprime toujours, mais peut être masquée par S, et est modulé par I qui joue sur l'intensité de la phéomélanine.

- Le gène **K** s'exprime toujours mais peut être masqué dans le cas d'un chien e/e pour le gène E.
- Le gène **A** ne s'exprime que si le chien ne possède pas l'allèle K^B du gène K.

Remarque :

L'ordre des allèles à regarder pour déterminer la robe d'un chien est :

- Gène E, puis K puis A.
- Gènes B, D, G, M qui modulent la couleur des pigments.
- Gènes H et Tw dans le cas d'un chien merle.
- Gène S
- Gènes T et R dans le cas de la présence d'une panachure blanche.

Le détail des gènes I et C ne sont pas connus, néanmoins on peut les placer au même niveau que les gènes B, D, G et M dans l'ordre des gènes à regarder.

Application au staffie :

→ **Locus A :** L'allèle présent dans la race est A^Y (charbonné, plus ou moins visible selon les staffies). La couleur gris-loup, allèle A^W , n'est pas présente dans la race. Certains staffies sont porteurs de noir et feu, allèle a^t . Le noir récessif, allèle a , est très rare et probablement pas présent dans la race. La plupart des staffies sont donc A^Y/A^Y , et quelques uns A^Y/a^t (porteurs de noir et feu).

→ **Locus K :** Le noir uni étant absent de la race, ce sont les allèles k^{Br} et k^Y qui sont présents ici. Les combinaisons possibles sont donc k^{Br}/k^{Br} pour un staffie bringé non porteur de rouge, k^{Br}/k^Y pour un staffie bringé porteur de rouge, et k^Y/k^Y pour un staffie rouge.

→ **Locus E :** Les combinaisons présentées dans la race pour ce gène sont : E^m/E^m ou E^m/E pour les staffies masqués, et E/E pour les staffies non masqués. Au vue de la transmission des couleurs, l'allèle e est probablement minoritaire, et les staffies e/e rares. Il doit également y avoir quelques staffies E^m/e ou E/e .

→ **Locus B :** Le chocolat n'étant pas une couleur reconnue dans la race, il n'y a donc quasiment pas de staffie b/b . La majorité des staffies sont donc B/B , et certains sont B/b (porteurs de chocolat).

→ **Locus C :** Allèles inconnus, mais il est peu probable que le staffie possède cette dilution. Les staffies seraient donc C^+/C^+ .

→ **Locus D :** La dilution est présente chez le staffie, les différents cas rencontrés sont D/D pour un staffie non dilué non porteur de dilution, D/d pour un staffie non dilué porteur de dilution, et d/d pour un staffie dilué.

→ **Locus G :** Le grisonnement ne fait pas partie des couleurs présentées dans la race. Chaque staffie est donc g/g pour ce gène.

→ **Locus M :** Le merle n'est pas une couleur présente dans la race, tout staffie est donc m/m sur pour ce gène.

→ **Locus H :** Pas de merle dans la race, donc le gène H ne s'exprime pas, mais il est probable que tous les staffies soient h/h pour ce gène.

→ **Locus I :** Allèles inconnus, mais différents allèles doivent exister dans la race au vue des nombreuses nuances de rouge.

→ Locus S : La panachure blanche est présente dans la race, à divers degrés. On peut donc retrouver toutes les combinaisons possibles selon les marquages et la quantité de blanc dans la robe (S/S , S/s^i , S/s^p , S/s^w , s^i/s^i , s^i/s^p , s^i/s^w , s^p/s^p , s^p/s^w et s^w/s^w).

→ Locus R : N'ayant jamais observé ce marquage en staffie, je suppose que la plupart des staffies sont donc r^+/r^+ pour ce gène.

→ Locus T : Certains staffies présentent des petites taches sur leur panachure blanche (à ne pas confondre avec les tavelures qui sont des taches de peau). L'allèle T serait donc présent dans la race. Les combinaisons possibles seraient donc T/T , T/t^+ et t^+/t^+ selon les cas.

→ Locus Tw : Le merle n'étant pas une couleur présente chez le staffie, le gène tweed ne s'exprime pas, néanmoins on peut penser que tous les staffies sont tw/tw .

Sources :

-Kaelin C.B. and Barsh G.S. Genetic of Pigmentation in Dogs and Cats, *Annual Review of Animal Biosciences*, Janv 2013. 1:125–156:

<http://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev-animal-031412-103659>

-Site anglais sur la génétique des couleurs de robes des chiens (MAJ jun 2012) :

<http://www.doggenetics.co.uk/index.htm>

-Site américain sur la génétique des couleurs de robes des chiens (MAJ oct-2012) :

<http://homepage.usask.ca/~schmutz/dogcolors.html>